

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος

Κων. Δ. Ζάρπας

Διδακτορική Διατριβή

«Μελέτη της δυναμικής πληθυσμών της αφίδας *Aphis gossypii* Glover»

Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Ιούνιος 2006

«Μελέτη της δυναμικής πληθυσμών της αφίδας *Aphis gossypii* Glover»

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

- Τσιτσιπής Ιωάννης (Καθηγητής Εντομολογίας, Π.Θ., Επιβλέπων)
- Λυκουρέσης Διονύσιος (Καθηγητής Εντομολογίας, Γ.Π.Α., Τμ. Φ.Π., Μέλος)
- Προφήτου-Αθανασιάδου Δήμητρα (Καθηγήτρια Εντομολογίας, Α.Π.Θ., Τμ. Γεωπονίας, Μέλος)

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

- Τσιτσιπής Ιωάννης (Καθηγητής Εντομολογίας, Π.Θ., Επιβλέπων)
- Λυκουρέσης Διονύσιος (Καθηγητής Εντομολογίας, Γ.Π.Α., Τμ. Φ.Π.)
- Προφήτου-Αθανασιάδου Δήμητρα (Καθηγήτρια Εντομολογίας, Α.Π.Θ., Τμ. Γεωπονίας)
- Οικονομόπουλος Αριστείδης (Καθηγητής Εντομολογίας, Παν. Κρήτης, Τμ. Βιολογίας)
- Σταμόπουλος Δημήτριος (Καθηγητής Εφαρμοσμένης Εντομολογίας, και ιδιαίτερα των μεγάλων καλλιεργειών και των αποθηκευμένων προϊόντων, Π.Θ., Τμ. Γεωπονίας Ζ.Π.)
- Κωβαίος Δημήτριος (Καθηγητής Γενικής και Εφαρμοσμένης Ακαρολογίας και Εντομολογίας, Α.Π.Θ., Τμ. Γεωπονίας)
- Παπαδόπουλος Νικόλαος (Επ. Καθηγητής Γεωργικής Εντομολογίας, Π.Θ.)

Κωνσταντίνος Δ. Ζάρπας

«Μελέτη της δυναμικής πληθυσμών της αφίδας *Aphis gossypii* Glover»

(Διδακτορική διατριβή)

Περίληψη

Η παρούσα μελέτη πραγματεύεται τη δυναμική και τη χωροταξική κατανομή φυσικών πληθυσμών της αφίδας *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) σε αγρό βαμβακιού έκτασης 18 στρεμμάτων στη Μαγνησία κατά τα έτη 1997-1999. Σε αυτούς τους πληθυσμούς μελετήθηκε και η επίδραση σημαντικών φυσικών εχθρών, η βιολογία των οποίων εξετάστηκε σε ελεγχόμενες συνθήκες εργαστηρίου. Σε αγρό απαλλαγμένο από χημικές επεμβάσεις εφαρμόστηκε συστηματική δειγματοληψία τεσσάρων φύλλων από δύο επίπεδα προσημειωμένων φυτών δύο φορές την εβδομάδα για την περίοδο από Ιούνιο έως Οκτώβριο και γινόταν έλεγχος για παρουσία αφίδων. Τα αρπακτικά καταγράφονταν με τινάγματα φυτών σε ειδικό τούλι. Για κάθε δειγματοληψία υπολογίστηκαν ο μέσος όρος, η διακύμανση και ο συντελεστής μεταβλητότητας. Επίσης, έγινε έλεγχος προσαρμογής της αρνητικής διωνυμικής κατανομής με χρήση του δείκτη διασποράς k και έλεγχος εφαρμογής του νόμου του Taylor, καθώς και συσχέτιση διακυμάνσεων πληθυσμών αφίδων και αρπακτικών.

Τα αποτελέσματα γενικά συμφωνούν με το πρότυπο των δύο κυμάτων προσβολών της αφίδας του βαμβακιού στην Ελλάδα και δεν υποδεικνύουν την ανάγκη αντιμετώπισης των αφίδων σε νεαρά φαινολογικά στάδια του φυτού, αφού αυτό ανακάμπτει γρήγορα λόγω βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων. Η διασπορά των πληθυσμών της αφίδας *A. gossypii* στο βαμβάκι έγινε μέσω ομαδοποιήσεων-συναθροίσεων (πρότυπα υπερδιασποράς αφίδων) και όχι τυχαία ή ομοιόμορφα, τουλάχιστο στις μεγάλες πυκνότητες, γεγονός που επιβεβαιώθηκε με τις τιμές του δείκτη ομαδοποίησης b της εξίσωσης του Taylor να είναι μεγαλύτερες του 2, και με τις πολύ χαμηλές τιμές του δείκτη διασποράς k της αρνητικής διωνυμικής κατανομής. Επίσης, βρέθηκε καθ' ύψος ανισοκατανομή των αφίδων στα φυτά, πράγμα που έχει άμεση επίπτωση στην εφαρμογή χημικών επεμβάσεων. Τα αρπακτικά Coccinellidae και Chrysopidae επέδειξαν τάση συγκέντρωσης σε περιοχές με ομαδοποιήσεις αφίδων, φαινόμενο που υποδηλώνει αντίδραση των αρπακτικών ως αποτέλεσμα είτε της μακροχρόνιας παραμονής τους σε ένα φύλλο είτε της συσσωρευτικής δράσης πολλών ατόμων που αποικίζουν και μετακινούνται από φυτό σε φυτό. Οι χωρο-χρονικές συσχετίσεις διακυμάνσεων φυσικών πληθυσμών αφίδων και αρπακτικών αναδεικνύουν

τα μελετηθέντα είδη ως σημαντικούς παράγοντες θνησιμότητας για την αφίδα, ιδίως σε περιόδους απουσίας χημικών επεμβάσεων.

Η μελέτη αγρού υποστηρίχθηκε από τη μελέτη του αναπαραγωγικού δυναμικού της αφίδας στο εργαστήριο σε έξι ποικιλίες βαμβακιού κατά τα έτη 1997-1998. Τα πειράματα αφορούσαν τον εγκλωβισμό ατομικών αφίδων σε κλωβούς εκτροφής και την καταγραφή γεννήσεων, θανάτων, διάρκειας ανάπτυξης και επιβίωσης. Υπολογίστηκαν δημογραφικά χαρακτηριστικά και συσχετίστηκαν με το διαφορετικό βαθμό τριχοφυΐας των ποικιλιών του βαμβακιού.

Οι ποικιλίες επηρέασαν το αναπαραγωγικό δυναμικό των αφίδων, και κατά συνέπεια, την αύξηση των πληθυσμών τους. Οι ποικιλίες στις οποίες οι αφίδες επέδειξαν χαμηλό αναπαραγωγικό δυναμικό διαθέτουν χαμηλή πυκνότητα τριχώματος, ενώ οι πιο ευαίσθητες στην προσβολή αφίδων (υψηλό αναπαραγωγικό δυναμικό) είναι γενικά ποικιλίες υψηλής τριχοφυΐας. Η παρουσία τριχών δεν επηρέασε αρνητικά τη σχετική προσβολή από την αφίδα, και πιθανώς εμπλέκονται άλλοι παράγοντες. Οι διαφορές στην ευπάθεια των φυτών στις προσβολές αφίδων εξηγήθηκαν εν μέρει μέσω της γενεαλογίας των ποικιλιών, καθώς ποικιλίες με κοινό πρόγονο εμφάνισαν παρόμοια ομαδοποίηση ως προς την τριχοφυΐα.

Επιπλέον, μελετήθηκε η συμβολή των αρπακτικών στον έλεγχο των φυσικών πληθυσμών των αφίδων, η βιολογία και τα δημογραφικά χαρακτηριστικά τους, και για πρώτη φορά στην Ελλάδα (κατά τα έτη 1998-2000) η δράση τους πάνω στην αφίδα σε ελεγχόμενες συνθήκες εργαστηρίου. Τα αρπακτικά εκτράφηκαν κατά ζεύγη τελείων σε μικρούς κλωβούς για το κυρίως πείραμα και καταγράφηκαν η προνυμφική ανάπτυξη, η θνησιμότητα και η κατανάλωση αφίδων, και εκτιμήθηκαν η γονιμότητα και η διάρκεια ζωής τελείων, καθώς και τα δημογραφικά χαρακτηριστικά τους.

Τα τρία είδη εμφάνισαν διαφορετικά δημογραφικά και βιολογικά χαρακτηριστικά. Τα είδη *C. carnea* και *H. convergens* είχαν μικρότερη διάρκεια ανάπτυξης και μακροζωία. Το *C. septempunctata* παρουσίασε μεγάλη αδηφαγία και ενδοειδική παραλλακτικότητα στην περίοδο προωοτοκίας του. Η μελέτη αυτή τονίζει τη σημασία των τριών φυσικών εχθρών ως δυνητικών παραγόντων ελέγχου της αφίδας του βαμβακιού, αφού κάθε είδος έδειξε διαφορετικά συγκριτικά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων και θα μπορούσε να είναι ωφέλιμο σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους.

Τέλος, διερευνήθηκε η ύπαρξη μορφολογικής διαφοροποίησης μεταξύ ελληνικών πληθυσμών της αφίδας *A. gossypii* που προέρχονταν από διαφορετικούς ξενιστές κατά τα έτη 2002-2004. Παρθενογενετικές σειρές δημιουργήθηκαν από δείγματα ατομικών αφίδων και διατηρήθηκαν σε κοινό φυτό-ξενιστή. Χρησιμοποιήθηκε η πολυπαραγοντική μορφομετρική Ανάλυση Κανονικών Μεταβλητών (Canonical Variates Analysis, CVA) σε δεδομένα μήκους 13 χαρακτηριστικών του σώματος της αφίδας που μετρήθηκαν με ειδικό μικροσκόπιο.

Από την ανάλυση αποδείχθηκε η ύπαρξη μίας μορφολογικά διαφορετικής μορφής του *A. gossypii* στην Ελλάδα που αποικίζει φυτά Compositae, στατιστικά διακριτής από αυτή που αποικίζει φυτά Malvaceae και Cucurbitaceae. Οι δύο μορφές εμφανίζουν γενετικές διαφορές· γι' αυτό, απαιτείται η απόδοση διαφορετικής ταξινομικής κατηγορίας σε καθεμιά (π.χ. φυλή, υποείδος κ.λπ.). Ο διαχωρισμός γενοτύπων του *A. gossypii* προσαρμοσμένων σε διαφορετικούς ξενιστές και η ύπαρξη μορφολογικών διαφορών ανάμεσα σε αυτούς έχει ταξονομικό και οικολογικό ενδιαφέρον με πρακτική διάσταση όσον αφορά στη φυτοπροστασία.

Ο συνδυασμός των επιμέρους αποτελεσμάτων της διατριβής παρείχε πρωτότυπη γνώση για τη δυναμική των φυσικών πληθυσμών της αφίδας του βαμβακιού και πληροφορίες για τη δραστηριότητα των φυσικών της εχθρών. Βέβαια, η δυναμική φυσικών πληθυσμών εντόμων σε ένα ανοικτό αγροοικοσύστημα, όπως αυτό του βαμβακιού, δεν περιγράφεται εύκολα· ωστόσο, η μελέτη της συμβάλλει στην ανάπτυξη στρατηγικών αντιμετώπισης στα πλαίσια της ολοκληρωμένης διαχείρισης εχθρών των φυτών.

Πρόλογος

Η διατριβή αυτή πραγματεύεται τη δυναμική και τη χωροταξική κατανομή φυσικών πληθυσμών της αφίδας του βαμβακιού, *Aphis gossypii* Glover, σε αγρό βαμβακιού. Η μελέτη υποστηρίζεται από εργαστηριακά πειράματα, που αφορούν σε πεδία της βιολογίας και της δημογραφίας της αφίδας, καθώς και σημαντικών φυσικών εχθρών της.

Η διατριβή αποτελείται από δύο μέρη. Στο γενικό μέρος παρατίθεται σε πέντε ενότητες η βιβλιογραφική ανασκόπηση των αφίδων εν γένει (βιολογία, οικολογία, δυναμική πληθυσμών και μορφολογική παραλλακτικότητα), και ιδιαίτερα της αφίδας του βαμβακιού, καθώς και των σημαντικών φυσικών εχθρών της. Ακόμη, στο μέρος αυτό γίνεται λόγος για την καλλιέργεια του βαμβακιού και για μερικές ευρέως διαδεδομένες, οικονομικής σημασίας, ελληνικές ποικιλίες. Στο ειδικό μέρος παρουσιάζονται σε τέσσερις ενότητες η πειραματική μεθοδολογία και τα αποτελέσματα της έρευνας, τα οποία αναλύονται και συζητούνται σε συνάρτηση με δεδομένα της παγκόσμιας βιβλιογραφίας.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα τη διατριβή μου Καθηγητή Εντομολογίας κ. Ιω. Α. Τσιτσιπή για την καθοδήγηση και τη βοήθειά του κατά τη διάρκεια του πειραματισμού, καθώς και για τις πολύτιμες υποδείξεις και προτάσεις του για τη διόρθωση της διατριβής. Επίσης, τον ευχαριστώ, γιατί μου δίδαξε τον επιστημονικά ορθό τρόπο σκέψης, έκφρασης και γραπτής παρουσίασης θεμάτων που άπτονται του αντικειμένου της εντομολογίας, και εν γένει την ενδεδειγμένη λεπτομέρεια με την οποία οφείλει ο σύγχρονος επιστήμονας να αντιμετωπίζει κάθε ερευνητικό πεδίο στο οποίο εμπλέκεται.

Επίσης, εκφράζω τις ευχαριστίες μου στο Δρα κ. Ιω. Τ. Μαργαριτόπουλο για την υποστήριξη και καθοδήγησή του στα τελευταία στάδια περάτωσης της διατριβής μου και δημοσίευσης τμημάτων της σε έγκριτα περιοδικά, και ιδίως για τη σημαντική συμβολή του στη στατιστική επεξεργασία και στην ερμηνεία πειραματικών δεδομένων και ειδικών αναλύσεων.

Ευχαριστώ ακόμη το Δρα κ. Φ. Ξανθόπουλο, Ερευνητή του Ινστιτούτου Βάμβακος και Βιομηχανικών Φυτών Σίνδου, για την ευγενική προσφορά σπόρων, εμπειρικών δεδομένων τριχοφυΐας των φύλλων και γενεαλογίας των ποικιλιών βαμβακιού, τα οποία με βοήθησαν ουσιαστικά στην ερμηνεία της επίδρασης του τριχώματος των φύλλων πάνω στο αναπαραγωγικό δυναμικό της αφίδας του βαμβακιού.

Ευχαριστίες εκφράζω και στα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής και της επταμελούς εξεταστικής Επιτροπής για τις πολύτιμες υποδείξεις τους στη διόρθωση της διατριβής αυτής.

Ακόμη, θερμά ευχαριστώ το θείο μου Φιλόλογο κ. Νικόλαο Κατοίκο για τη γλωσσική επιμέλεια της διατριβής, και ιδιαίτερα για την ορθή στίξη του λόγου.

Ξεχωριστά ευχαριστώ και τον βαμβακοπαραγωγό Αγίου Γεωργίου Βελεστίνου κ. Δημ. Κόκκαλη, που πρόθυμα διέθεσε για πειραματισμό τη φυτεία του, συμφωνώντας να μην πραγματοποιήσει χημικούς ψεκασμούς.

Τέλος, δεν τολμώ να προσπεράσω την άοκνη συμπαράσταση και ηθική στήριξη των γονέων μου, Δημητρίου και Λαμπρινής Ζάρπα, Δασκάλων, σε κάθε στάδιο εκπόνησης της διατριβής, καθώς και τη συμπαράσταση, αλλά και την ουσιαστική βοήθεια του αδελφού μου Παναγιώτη Ζάρπα, Χημικού, στη διαδικασία καταγραφής πρωτογενών πειραματικών δεδομένων στον αγρό κατά τα έτη 1998-1999, διαδικασία που αλλιώς θα φάνταζε χρονικά ακατόρθωτη στα ιδιαίτερα απαιτητικά πλαίσια του πειραματισμού που πραγματοποιήθηκε.

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

	<i>Σελίδες</i>
Περίληψη	III-V
Πρόλογος	VI
Ευχαριστίες	VII
Κατάλογος εικόνων, πινάκων και σχημάτων	XI-XII
<hr/>	
Εισαγωγή	1-3
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
Κεφάλαιο 1ο Αφίδες	5
Η αφίδα <i>Aphis gossypii</i> Glover.....	8
Κεφάλαιο 2ο Η καλλιέργεια βαμβακιού - Σημαντικές ελληνικές ποικιλίες	12
Κεφάλαιο 3ο Μελέτη δυναμικής πληθυσμών αφίδων.....	17
Κεφάλαιο 4ο Τα αρπακτικά των οικογενειών Coccinellidae και Chrysopidae.....	37
Κεφάλαιο 5ο Μορφολογική παραλλακτικότητα στα έντομα.....	53
Σκοπός της διατριβής	57
<hr/>	
ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
Κεφάλαιο 1ο Δυναμική πληθυσμών της αφίδας <i>Aphis gossypii</i> στο βαμβάκι	59-97
Εισαγωγή	59
Υλικά και Μέθοδοι	61
Αποτελέσματα	68
Συζήτηση	87
Κεφάλαιο 2ο Μελέτη αναπαραγωγικού δυναμικού της αφίδας <i>Aphis</i> <i>gossypii</i> σε διαφορετικές ποικιλίες βαμβακιού	98-112

Εισαγωγή	.....	98
Υλικά και Μέθοδοι	.....	100
Αποτελέσματα	.....	104
Συζήτηση	.....	108
Κεφάλαιο 3ο	Μελέτη των αρπακτικών <i>Coccinella septempunctata</i> , <i>Hippodamia convergens</i> (Coleoptera: Coccinellidae) και <i>Chrysoperla carnea</i> (Neuroptera: Chrysopidae) και της δράσης τους επί της αφίδας <i>Aphis gossypii</i> σε συνθήκες εργαστηρίου	113-140
Εισαγωγή	.....	113
Υλικά και Μέθοδοι	.....	115
Αποτελέσματα και Συζήτηση	.....	120
Κεφάλαιο 4ο	Μελέτη μορφολογικής παραλλακτικότητας σε πληθυσμούς της αφίδας <i>Aphis gossypii</i> από διαφορετικούς ξενιστές	141-155
Εισαγωγή	.....	141
Υλικά και Μέθοδοι	.....	143
Αποτελέσματα	.....	148
Συζήτηση	.....	150
<hr/>		
Γενική Συζήτηση - Συμπεράσματα	.....	156-161
<hr/>		
Βιβλιογραφία	.....	162-189
Παράρτημα	.....	190-200
Α΄ Πίνακες	.....	192
Β΄ Σχήματα	.....	198
Abstract	.....	201-203
<hr/>		

Κατάλογος Εικόνων

	Σελίδες
Μορφές της αφίδας <i>Aphis gossypii</i>	9
Μορφές σταδίων του είδους <i>Coccinella septempunctata</i>	40
Μορφές σταδίων του είδους <i>Hippodamia convergens</i>	44
Μορφές σταδίων του είδους <i>Chrysoperla carnea</i>	47
Μόνιμο παρασκεύασμα (slide) της αφίδας <i>Aphis gossypii</i>	145
Πλευρική όψη άπτερης αφίδας με μετρήσιμα μορφολογικά χαρακτηριστικά	146
Μικροσκόπιο αντίθεσης φάσης για μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών αφίδων.....	147

Κατάλογος Πινάκων

	Σελίδες
Σύνολα αφίδων και αρπακτικών που καταγράφηκαν στον αγρό.....	69
Συσχέτιση πληθυσμών αφίδων με πληθυσμούς αρπακτικών.....	73
Κατανομή αφίδων ανά φυτικό τμήμα.....	79
Πυκνότητα τριχώματος ποικιλιών βαμβακιού και δημογραφικά χαρακτηριστικά πληθυσμών της αφίδας <i>Aphis gossypii</i>	105-108
Νυμφική θνησιμότητα δύο παρθενογενετικών σειρών του <i>Aphis gossypii</i>	107
Θνησιμότητα ατελών σταδίων δύο πληθυσμών των αρπακτικών <i>Coccinella septempunctata</i> , <i>Hippodamia convergens</i> και <i>Chrysoperla carnea</i>	122
Βιβλιογραφική ανασκόπηση δεδομένων βιολογίας και δημογραφίας για τα είδη <i>Coccinella septempunctata</i> , <i>Hippodamia convergens</i> και <i>Chrysoperla carnea</i>	123-124
Διάρκεια ανάπτυξης ατελών σταδίων σε διάφορα είδη αρπακτικών κολεοπτέρων.....	125
Διάρκεια ανάπτυξης ατελών σταδίων δύο πληθυσμών των αρπακτικών <i>Coccinella septempunctata</i> , <i>Hippodamia convergens</i> και <i>Chrysoperla carnea</i>	128
Κατανάλωση αφίδων <i>Aphis gossypii</i> από προνύμφες των αρπακτικών <i>Coccinella septempunctata</i> , <i>Hippodamia convergens</i> και <i>Chrysoperla carnea</i>	130
Δημογραφικά χαρακτηριστικά δύο πληθυσμών των αρπακτικών <i>Coccinella septempunctata</i> , <i>Hippodamia convergens</i> και <i>Chrysoperla carnea</i>	133
Εργαστηριακά εκτρεφόμενες παρθενογενετικές σειρές της αφίδας <i>Aphis gossypii</i>	144
Κανονικοί συντελεστές και ποσοστά συνολικής παραλλακτικότητας της ανάλυσης CVA για παρθενογενετικές σειρές <i>Aphis gossypii</i>	150
Μέσος αριθμός αφίδων και αρπακτικών ανά γραμμή και θέση δειγματοληψίας στον αγρό.....	192-193
Μέσος αριθμός αφίδων και αρπακτικών ανά φυτό επί της γραμμής στον αγρό.....	194
Εκτίμηση παραμέτρων παλινδρόμησης για εφαρμογή της εξίσωσης Taylor.....	195
Αποτελέσματα Ανάλυσης Παραλλακτικότητας για την επίδραση των παραγόντων «ποικιλία» και «παρθενογενετική σειρά» στο αναπαραγωγικό δυναμικό της αφίδας <i>Aphis gossypii</i>	196

Κατάλογος Σημμάτων

	Σελίδες
Σχέδιο πειραματικού αγρού βαμβακιού.....	64
Συνδιακύμανση πληθυσμών αφίδων και αρπακτικών.....	70-71
Μέσοι αριθμοί αφίδων και αρπακτικών ανά γραμμή δειγματοληψίας.....	74
Κατανομή πληθυσμών αφίδων και αρπακτικών ανά φυτό επί της γραμμής δειγματοληψίας.....	75
Χάρτες χωροταξικής κατανομής αφίδων και αρπακτικών στον αγρό.....	77-78
Πληθυσμιακή διακύμανση αφίδων ανά φυτικό τμήμα στα τρία έτη δειγματοληψίας.....	80
Προσαρμογή μοντέλου Taylor στα δεδομένα αφίδων και αρπακτικών.....	81-83
Μεταβολή του δείκτη διασποράς (k) της αρνητικής διωνυμικής κατανομής.....	84
Κατανομή συχνοτήτων μέσου αριθμού αφίδων ανά φύλλο στα τρία έτη δειγματοληψίας.....	85
Συμμεταβολή της εκτιμηθείσας παραμέτρου k της αρνητικής διωνυμικής κατανομής και του μέσου όρου αφίδων ανά περίπτωση δειγματοληψίας.....	86
Κατάταξη ποικιλιών βαμβακιού ανάλογα με την πυκνότητα τριχώματος φύλλου.....	105
Κλωβοί εκτροφής αφίδων και Coccinellidae.....	116
Κύλινδρος εκτροφής τελείων του <i>Chrysoperla carnea</i>	118
Επιβίωση και περίοδος προωσοκίας των αρπακτικών <i>Coccinella septempunctata</i> , <i>Hippodamia convergens</i> και <i>Chrysoperla carnea</i>	132-135
Κύμανση της παρατηρούμενης και προβλεπόμενης γονιμότητας θηλυκών των αρπακτικών <i>Coccinella septempunctata</i> , <i>Hippodamia convergens</i> και <i>Chrysoperla carnea</i>	137
Αποτελέσματα μορφομετρικής ανάλυσης CVA.....	149
Πληθυσμιακή κατανομή στον αγρό αφίδων και αρπακτικών ανά εβδομάδα δειγματοληψίας.....	198-199
Κατανομές συχνοτήτων μέσου όρων αφίδων ανά περίπτωση δειγματοληψίας.....	199
Κατανομές συχνοτήτων μέσου αριθμού αρπακτικών ανά θέση δειγματοληψίας.....	200
Θερμοκρασιακά και βροχομετρικά δεδομένα περιοχής Νέας Αγχιάλου Μαγνησίας.....	200

Εισαγωγή

Οι αφίδες είναι έντομα γνωστά με τα κοινά ονόματα μελίγκρα, ψείρα, μελούρα και φυτόψειρα. Ξεχωρίζουν από τα άλλα φυτοφάγα έντομα λόγω των αποτελεσματικών μηχανισμών διασποράς και εύρεσης ξενιστή, καθώς και της χρησιμοποίησης από τα περισσότερα είδη του χυμού των φυτών ως πηγή τροφής και της παρθενογένεσης.

Οι πτερωτές αφίδες που αποικίζουν τις καλλιέργειες προσγειώνονται ατομικά και σε μικρή περιοχή η κατανομή τους στο χώρο θεωρείται ότι είναι τυχαία. Η ανάπτυξη αποικιών αφίδων γύρω από σημεία προσγείωσης πτερωτών γρήγορα οδηγεί σε δομές ομαδοποιημένης (aggregated, contagious) (Robert *et al.* 1988) ή αλλιώς συναθροιστικής (Λυκάκης 1996) κατανομής. Στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, ο χαρακτήρας ομαδοποίησης τείνει να ελαττώνεται, διότι η δομή των αποικιών αφίδων αρχίζει να εκφυλίζεται μέσω της πίεσης των φυσικών εχθρών, της παραγωγής πτερωτών και άλλων ρυθμιστικών παραγόντων. Στην αρχή της προσβολής της καλλιέργειας η κατανομή των αφίδων συχνά ακολουθεί την κατανομή Poisson, ακόμη και σε δενδρώδεις καλλιέργειες. Στο τέλος της προσβολής και κατά τις εξάρσεις, είναι δυνατό η κατανομή να ταιριάζει απευθείας με σειρές κανονικών κατανομών, όπως π.χ. η κανονική ή η κανονική λογαριθμική (Southwood 1978, Robert *et al.* 1998).

Η αφίδα *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) προσβάλλει τα φυτά-ξενιστές σε νεαρό στάδιο την άνοιξη και λιγότερο το φθινόπωρο. Στο βαμβάκι, η μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού εμφανίζεται τους μήνες Απρίλιο και Μάιο. Απομυζά χυμούς από τα νέα φύλλα και από τους βλαστούς, ενώ παράλληλα εκκρίνει μελίτωμα (ζαχαρώδες απέκκριμα), στο οποίο αναπτύσσονται σαπροφυτικοί μύκητες προκαλώντας καπνιά, που μαυρίζει το φυτό, ενώ παράλληλα μειώνει τη φωτοσύνθεση. Έτσι προκαλεί ανάσχεση ανάπτυξης· οι άκρες των νέων φύλλων γυρίζουν προς τα κάτω, ενώ ορισμένα φυτάρια νεκρώνονται. Επίσης, μειώνεται η βλαστική ικανότητα και το βάρος των σπόρων· υποβαθμίζονται ακόμη οι νηματουργικές ιδιότητες των ινών και μειώνεται η εμπορική αξία του βαμβακιού. Γενικά, οικονομική ζημία στα φυτά-ξενιστές προκαλείται, όταν οι πληθυσμοί των αφίδων είναι μεγάλοι και τα ωφέλιμα έντομα λίγα (Τόλης 1988).

Η εν λόγω αφίδα αποτελεί επίσης σημαντικό φορέα αρκετών ιών των καλλιεργούμενων φυτών (Blackman & Eastop 2000).

Η βιολογική ερμηνεία της χωροταξικής κατανομής της αφίδας του βαμβακιού σε συνθήκες αγρού είναι δύσκολη· κι αυτό γιατί οι παράγοντες περιβάλλοντος και συμπεριφοράς των αφίδων δεν είναι πάντα μετρήσιμοι. Οι διαφορές στην πυκνότητα, έως ένα συγκεκριμένο όριο, αντικατοπτρίζουν κυρίως το διαφορετικό μέγεθος αποικισμού των φύλλων από ιπτάμενα άτομα άλλων αγρών, αλλά πιθανότατα τα υψηλά ποσοστά θνησιμότητας κρατούν χαμηλό τον πληθυσμό στα προσβεβλημένα φύλλα (Karatos *et al.* 1996). Σε μερικές περιόδους (π.χ. Ιούνιο και μέσα Αυγούστου) όμως οι συνθήκες για την ανάπτυξη ενός πληθυσμού είναι ιδανικές, λόγω π.χ. της χαμηλής θνησιμότητας, και μία τέτοια κατάσταση ευνοεί τη δημιουργία νέων αποικιών σε ήδη προσβεβλημένα φύλλα.

Η Ελλάδα κατέχει ηγετική θέση στην καλλιέργεια βαμβακιού στην Ευρώπη, γεγονός που έχει μεγάλη οικονομική και κοινωνική σημασία. Η καταπολέμηση του *A. gossypii* ως εχθρού του βαμβακιού βασίζεται κυρίως στη χρήση εντομοκτόνων ουσιών. Όμως, η ανάπτυξη ανθεκτικότητας πληθυσμών της αφίδας *A. gossypii* σε ένα μεγάλο εύρος εντομοκτόνων σε πολλές περιοχές του κόσμου και στην Ελλάδα επιβάλλει την ανάπτυξη εναλλακτικών στρατηγικών αντιμετώπισης του εντόμου, συμβατών με την Ολοκληρωμένη Διαχείριση Εχθρών, όπως π.χ. τη χρήση ανθεκτικών ποικιλιών, τη γενετική βελτίωση, τη διαχείριση φυσικών εχθρών κ.λπ.

Η δράση των φυσικών εχθρών της αφίδας στο βαμβάκι έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές, αλλά ελάχιστα σε ελληνικούς πληθυσμούς. Αρπακτικά των οικογενειών Coccinellidae (Coleoptera) και Chrysopidae (Neuroptera) αποτελούν σημαντικούς παράγοντες θνησιμότητας της αφίδας *A. gossypii* (Canard & Principi 1984, Hodek & Honěk 1996). Τα αρπακτικά αυτά διαθέτουν διαφορετικά βιολογικά, οικολογικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά το καθένα· γι' αυτό, πρέπει η χωρο-χρονική τους εξάπλωση και η αποτελεσματικότητά τους να εξετάζονται συνδυασμένα, καθώς είναι δυνατό αυτά να συνδράμουν στην καταπολέμηση των αφίδων σε διαφορετικά χρονικά σημεία της καλλιεργητικής περιόδου.

Η χρήση ποικιλιών βαμβακιού με διαφορετικά τεχνικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά είναι δυνατό να επηρεάζει το αναπαραγωγικό δυναμικό της αφίδας *A.*

gossypii. Ποικιλίες με διαφορετικό βαθμό χνόωσης των φύλλων και με περιεκτικότητα σε τανίνες ή σε γκοσυπόλη έχει βρεθεί ότι σχετίζονται με διαφορετική απόδοση σε απογόνους της αφίδας (Weathersbee *et al.* 1994, Mansour *et al.* 1997, Du *et al.* 2004). Επομένως, η χρήση επιλεγμένων ποικιλιών βαμβακιού είναι δυνατό να αποτελέσει εναλλακτική ή συμπληρωματική λύση στη χημική καταπολέμηση της αφίδας αυτής.

Η ύπαρξη γενοτύπων της αφίδας *A. gossypii* με συγκεκριμένη προσαρμογή σε φυτά-ξενιστές έχει βρεθεί ότι αντανακλάται σε μετρήσιμες μορφολογικές διαφορές, ότι οφείλεται σε επίδραση του περιβάλλοντος, αλλά ότι έχει συνήθως και γενετική βάση (Blackman 1987, Blackman & Spence 1994). Έτσι, διάφορες ομάδες γενοτύπων μπορούν να σταθούν ως ευδιάκριτες ταξινομικές οντότητες, π.χ. φυλές, υποείδη κ.λπ. (Jaenike 1981, Guldmond *et al.* 1994), και εκτός από το ταξονομικό τους ενδιαφέρον μπορούν να αντανακλούν οικολογικές διαστάσεις που έχουν αντίκτυπο στη φυτοπροστασία του βαμβακιού (π.χ. φυτά ως πηγή αφίδων, ιών και φυσικών εχθρών). Η μελέτη φαινοτυπικής και γενετικής παραλλακτικότητας με σύγχρονες στατιστικές και μοριακές τεχνικές αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την επίλυση προβλημάτων που αφορούν σε στενά συσχετιζόμενα τάξα αφίδων.

Γενικά, η εξάπλωση των πληθυσμών της αφίδας *A. gossypii* στο βαμβάκι γίνεται μέσω ομαδοποιήσεων με τη μορφή μικρών εστιών (συνάθροιση αφίδων), και όχι τυχαία ή ομοιόμορφα, τουλάχιστον στις μεγάλες πυκνότητες. Η μελέτη της δυναμικής πληθυσμών εχθρών και ωφέλιμων εντόμων σε ένα ανοικτό αγροοικοσύστημα, όπως αυτό του βαμβακιού επικουρεί στην ανάπτυξη στρατηγικών αντιμετώπισης, στα πλαίσια της φιλοσοφίας της ολοκληρωμένης διαχείρισης εχθρών των φυτών.

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

Αφίδες

Εισαγωγή

Οι αφίδες ανήκουν στην υπεροικογένεια Aphidoidea, στη σειρά Sternorrhyncha της τάξης Hemiptera. Στην οικογένεια Aphididae έχουν περιγραφεί περίπου 4.700 είδη αφίδων (Remaudière & Remaudière 1997). Ο μεγαλύτερος αριθμός ειδών αφίδων απαντάται στις εύκρατες περιοχές, όπου το 25% των φυτικών ειδών προσβάλλονται από αφίδες. Υπάρχουν για σχεδόν 280 εκατομμύρια χρόνια και από την αρχή είχαν μικρό μέγεθος και αναπαράγονταν παρθενογενετικά (Dixon 1998). Από τα περιγραφέντα είδη αφίδων περίπου 450 είδη έχουν καταγραφεί παγκοσμίως σε καλλιεργούμενα φυτά, αλλά μόνο 100 θεωρούνται είδη οικονομικής σημασίας (Blackman & Eastop 2000).

Είναι μικρόσωμα έντομα μήκους 1-7 mm. Έχουν συνήθως μακριά πόδια με διάρθρους ταρσούς, μακρύ ρύγχος και κεραίες που αποτελούνται από ένα έως έξι άρθρα. Το σώμα τους είναι συνήθως μαλακό. Οι πτερωτές μορφές έχουν δύο ζεύγη διαφανών πτερυγών. Τα περισσότερα είδη είναι πολυμορφικά. Εκτός από τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της υπεροικογένειας στην οποία ανήκουν, οι πιο πολλές αφίδες έχουν στο νωτιαίο τεργίτη του 5ου κοιλιακού δακτυλίου ένα ζεύγος σωληνόμορφων αποφύσεων, που ονομάζονται σιφώνια ή κεράτια· στην άκρη της κοιλιάς έχουν μία απόφυση, την ουρίτσα ή ουρά (cauda). Ρόλος των σιφωνίων είναι η απελευθέρωση φερομόνης συναγεμίου, όταν προσβληθεί ή εκτεθεί σε κίνδυνο η αφίδα από κάποιο εχθρό· έτσι προκαλείται διασπορά των υπολοίπων αφίδων που βρίσκονται πλησίον της (Dixon 1998).

Ζουν κυρίως σε τρυφερούς βλαστούς και τρυφερά φύλλα διαφόρων φυτών. Μερικά είδη είναι ριζόβια (προσβάλλουν τις ρίζες) ή φυλλόβια και ριζόβια μαζί (προσβάλλουν και φύλλα και ρίζες), και αρκετά είναι κηκιδόβια, δηλαδή ζουν μέσα σε κηκίδες που δημιουργούνται στο φύλλωμα των φυτών ξενιστών τους, όπου τρέφονται, όπως π.χ. το είδος *Pemphigus betae* Doane (Hemiptera: Aphididae). Ζουν συνήθως σε ομάδες το ένα κοντά στο άλλο με την κεφαλή συνήθως προς τη βάση του βλαστού ή του φύλλου. Πολλά είδη δημιουργούν πυκνές αποικίες και την άνοιξη μπορεί να καλύψουν ολόκληρο

το κορυφαίο μέρος των νέων βλαστών ορισμένων φυτών. Είναι έντομα στρατηγικής "r" γι' αυτό, αποικίζουν γρήγορα και αποτελεσματικά τους ξενιστές τους. Τα θηλυκά των παρθενογενετικών γενεών είναι στις περισσότερες αφίδες ζωοτόκα, ενώ της γενιάς που αναπαράγεται εγγενώς είναι ωοτόκα (Dixon 1998).

Οι αφίδες είναι μυζητικά έντομα και τρέφονται σχεδόν συνεχώς καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους. Αφαιρούν μεγάλη ποσότητα χυμού από τα φυτά και το νύγμα πολλών ειδών προκαλεί συστροφή των φύλλων. Τα άφθονα μελιτώδη απεκκρίματα ορισμένων ειδών ρυπαίνουν το φύλλωμα και τους καρπούς και ευνοούν την ανάπτυξη καπνιάς, που δημιουργείται από ανάπτυξη σαπροφυτικών μυκήτων. Σε πολλά είδη έχουν αναπτυχθεί σχέσεις συμβίωσης με μυρμήγκια, τα οποία συλλέγουν τα μελιτώδη απεκκρίματα, προστατεύοντας τις αφίδες από διάφορους εχθρούς (Dixon 1973).

Οι αφίδες είναι από τις κυριότερες κατηγορίες εντόμων που μεταδίδουν στα φυτά παθογόνους ιούς. Ορισμένα είδη είναι φορείς πολλών ιών και προκαλούν σοβαρές ζημιές στα καλλιεργούμενα φυτά (Blackman & Eastop 2000). Οι πυκνοί συνήθως πληθυσμοί τους, ο μεγάλος αριθμός γενεών κατ' έτος, που συχνά ξεπερνά τις 10, και η μετάδοση ιών στα φυτά κατατάσσουν τις αφίδες ανάμεσα στους πιο βλαβερούς εχθρούς των καλλιεργούμενων φυτών.

Οι αφίδες είναι άφθονες κυρίως την άνοιξη και το φθινόπωρο, και γενικά σε μετρίως θερμό και υγρό καιρό. Την άνοιξη τα παρθενογενετικά θηλυκά αναπαράγονται ταχύτατα, καθώς οι συγκεκριμένες καιρικές συνθήκες και τα άφθονα τρυφερά φύλλα και βλαστοί ευνοούν την ανάπτυξή τους. Σε κλίματα όπως της Ελλάδας, οι θερμοί και ξηροί μήνες του καλοκαιριού δεν ευνοούν τη συνεχή αναπαραγωγή των αφίδων και οι πληθυσμοί τους τότε περιορίζονται σημαντικά. Στην Ελλάδα το μέγιστο του αριθμού των ειδών αφίδων όπως και των πληθυσμών τους παρατηρείται κατά το μήνα Μάιο (Tsitsipis *et al.* 1998a).

Οι αφίδες έχουν ένα μεγάλο αριθμό φυσικών εχθρών, που συμβάλλουν στον έλεγχο των πληθυσμών τους. Οι σπουδαιότεροι είναι έντομα. Μεταξύ αυτών υπάρχουν είδη Διπτέρων (Syrphidae, Cecidomyiidae), Νευροπτέρων (Chrysopidae, Hemerobiidae), Κολεοπτέρων (Coccinellidae, Carabidae, Staphyllinidae) και Υμενοπτέρων (Proctotrupidae, Chalcididae, Braconidae, Aphidiidae). Επιπλέον, υπάρχουν είδη που ανήκουν στα αραχνοειδή, καθώς και σε taxa μυκήτων, όπως είδη των γενών *Empusa*,

Entomophthora και *Verticillium*.

Βιολογικός κύκλος των αφίδων

Στα ετερόοικα (μεταναστευτικά) είδη αφίδων τα χειμερινά ωά γεννιούνται στο φλοιό του κορμού του κύριου ξενιστή το φθινόπωρο. Η εκκόλαψη των ωών γίνεται την άνοιξη και προκύπτουν άπτερα παρθενογενετικά θηλυκά, που λέγονται θεμελιωτικά ή ιδρυτικά άτομα (*fundatrix*). Τα άπτερα αναπαράγονται παρθενογενετικά και τα άτομα επακόλουθων παρθενογενετικών γενεών παρουσιάζουν προοδευτικές μορφολογικές μεταβολές (Lees 1966). Μετά από έναν αριθμό γενεών γεννιούνται τα πτερωτά παρθενογενετικά θηλυκά (*alatae fundatrigeniae*), που διασκορπίζονται σε φυτά που ανήκουν στο ίδιο είδος με τον κύριο ξενιστή, ή μεταναστεύουν σε δευτερεύοντες ποώδεις ξενιστές. Εκεί την άνοιξη και το καλοκαίρι η μια παρθενογενετική γενιά διαδέχεται την άλλη. Όμως, εκτός από άπτερες μορφές παράγονται και πτερωτά παρθενογενετικά θηλυκά (*alatae alienicolae*), που μεταναστεύουν σε άλλα φυτά, όπου συνεχίζουν την παρθενογενετική αναπαραγωγή. Στα Aphididae παράγονται στο δευτερεύοντα ξενιστή πτερωτά θηλυτόκα (*gynoparae*) και πτερωτά αρσενικά κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου. Αυτά θα μεταναστεύσουν στον κύριο ξενιστή, όπου τα θηλυτόκα θα γεννήσουν τα έμφυλα ωοτόκα θηλυκά (*oviparae*), τα οποία συζεύγνυνται με τα αρσενικά και εναποθέτουν τα χειμερινά ωά. Τα θηλυκά που επιστρέφουν στον πρωτεύοντα ξενιστή πολλές φορές παρουσιάζουν μορφολογικές διαφορές από αυτά που μεταναστεύουν την άνοιξη στους δευτερεύοντες ξενιστές (Blackman & Eastop 2000).

Στα μονόοικα (μη μεταναστευτικές αφίδες) είδη, π.χ. στην *Aphis rumicis* L. (Hemiptera: Aphididae) ο ετήσιος κύκλος πραγματοποιείται στο ίδιο φυτό ή σε φυτά του ίδιου είδους. Το φθινόπωρο άπτερα παρθενογενετικά θηλυκά (φυλογόνα: *sexuparae*) θα γεννήσουν ωοτόκα και αρσενικά, που είναι συνήθως άπτερα αφού, δε χρειάζεται να μεταναστεύσουν, για να συμπληρωθεί ο βιολογικός τους κύκλος. Τα περισσότερα μονόοικα είδη σε ποώδη φυτά πιστεύεται ότι εξελίχθηκαν μέσα από την ετεροοικία, ενώ αρκετά από αυτά παρουσιάζουν μεγάλη συγγένεια με ετερόοικα είδη, που χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο ποώδες φυτό ως δευτερεύοντα ξενιστή (Dixon 1998).

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των αφίδων είναι η τηλεσκοπική παραγωγή των γενεών, συνδυασμένη με την ζωοτοκία. Δηλαδή, η ανάπτυξη του εμβρύου (γενεά 3) μέσα σε άλλο σε έμβρυο (γενεά 2) αρχίζει πριν ακόμη το τελευταίο γεννηθεί από τη

μητέρα του (γενεά 1), ενώ με την ενηλικίωση της μητέρας το έντομο (γενεά 2) είναι έτοιμο να γεννηθεί. Τα χαρακτηριστικά αυτά επιτρέπουν την ανάπτυξη μεγάλων πληθυσμών, ενώ παράλληλα οδηγούν στη μείωση της μέσης διάρκειας γενιάς των αφίδων, με αποτέλεσμα να αυξάνονται γρήγορα οι πληθυσμοί τους. Επίσης, το χαρακτηριστικό της τηλεσκοπικής παραγωγής έχει ως αποτέλεσμα, να συμπληρώνουν οι αφίδες την ανάπτυξή τους σε χρόνο τρεις φορές μικρότερο από άλλα ισομεγέθη έντομα και οι πληθυσμοί τους να επιτυγχάνουν ρυθμούς αύξησης όμοιους με αυτούς μικρότερων ζώων, όπως είναι τα ακάρεα (Dixon 1998).

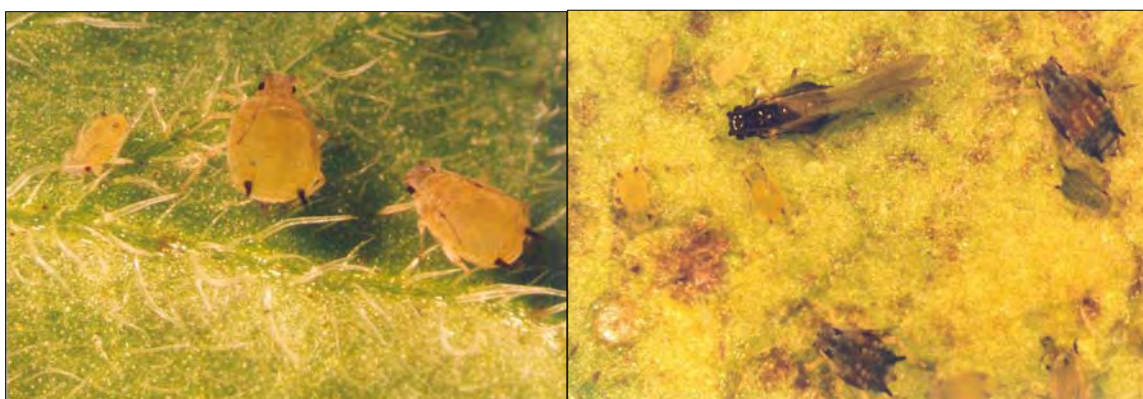
Συχνά, κατά τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου των αφίδων εμφανίζεται το φαινόμενο της ανολοκυκλικότητας, δηλαδή της ανικανότητας για σεξουαλική αναπαραγωγή. Έχουν βρεθεί είδη αφίδων, που είναι αποκλειστικά ανολοκυκλικά και αναπαράγονται όλο το χρόνο παρθενογενετικά. Επιπλέον, υπάρχουν είδη μερικώς ανολοκυκλικά. Στα μερικώς ανολοκυκλικά είδη οι ανολοκυκλικοί γενότυποι είτε βρίσκονται στην ίδια περιοχή μαζί με ολοκυκλικούς είτε σε άλλες περιοχές του εύρους εξάπλωσης του είδους (Blackman & Eastop 2000). Αν και οι ανολοκυκλικοί γενότυποι έχουν την ικανότητα να αποκτήσουν ανθεκτικότητα στα εντομοκτόνα, να αποικίσουν ανθεκτικές ποικιλίες και να παρουσιάσουν υψηλότερο ρυθμό αύξησης από ό,τι οι αντίστοιχοι ολοκυκλικοί, μόνο το 3% των ειδών είναι αποκλειστικά ανολοκυκλικά (Blackman 1980). Από την άλλη πλευρά, φαίνεται ότι η σεξουαλική αναπαραγωγή προσδίδει σημαντικές δυνατότητες προσαρμογής και επιβίωσης στις αφίδες. Ανεξάρτητα από τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του ενός ή του άλλου τρόπου αναπαραγωγής, φαίνεται ότι ο πολυμορφισμός που παρουσιάζουν διάφορα είδη αφίδων προσδίδει σε αυτές μια μεγαλύτερη ικανότητα επιβίωσης, καθώς μπορούν να προσαρμόζονται εύκολα σε διάφορα περιβάλλοντα.

Η αφίδα *Aphis gossypii* Glover

Συστηματική κατάταξη: Ανήκει στην υπεροικογένεια Aphidoidea, στην οικογένεια Aphididae, στο γένος *Aphis*, στο είδος *gossypii* και στην τάξη Hemiptera.

Περιγραφή: Το άπτερο ζωοτόκο παρθενογενετικό θηλυκό έχει συνήθως κίτρινο ή κιτρινοπράσινο χρώμα και διαστάσεις 1,2-2 x 0,9 mm. Σε πολλές περιπτώσεις το χρώμα του είναι πράσινο τεφρό, σκούρο πράσινο-πρασινόμαυρο ή πρασινοκίτρινο. Τα ενήλικα άτομα με μεγάλο μέγεθος έχουν σκούρο πράσινο χρώμα, σχεδόν μαύρο. Όμως, τα

ενήλικα άτομα που παράγονται σε πολυπληθείς, συνωστισμένες αποικίες, σε υψηλές θερμοκρασίες, έχουν μήκος μικρότερο από 1 mm, ενώ το χρώμα τους είναι ανοιχτό κίτρινο (εικόνα 1), σχεδόν άσπρο (Blackman & Eastop 2000). Οι οφθαλμοί τους είναι σκούρου καστανού χρώματος, ενώ οι κεραίες τους είναι πιο κοντές από το σώμα τους και δε φτάνουν μέχρι τη βάση των σιφώνιων. Τα σιφώνια είναι μαύρα κι έχουν μήκος 14-23% του μήκους του σώματος. Η πτερωτή μορφή έχει μικρότερο μέγεθος. Συγκεκριμένα, έχει διαστάσεις 1,35 x 0,65 mm και άνοιγμα πτερύγων 5,1 mm (Blackman & Eastop 2000).



Εικόνα 1. Αφίδα *Aphis gossypii*: Άπτερες μορφές (apterae) αριστερά, πτερωτά (alatae) και πτερόμορφες νύμφες (alatiform nymphs) δεξιά

Γεωγραφική εξάπλωση: Απαντάται σχεδόν σε όλες τις χώρες που έχουν ηπειρωτικό ή υποτροπικό κλίμα, και κατά συνέπεια σε όλες τις παραμεσόγειες χώρες (Blackman & Eastop 2000).

Εύρος ξενιστών: Είναι πολυφάγο είδος κι έχει μεγάλο εύρος ξενιστών. Οι Leonard *et al.* (1971) ανέφεραν το είδος σε 200 φυτά ξενιστές, ενώ οι Remaudière & Autrigue (1985) παρατήρησαν το είδος στο Μπουρούντι σε 83 διαφορετικά είδη φυτών, που άνηκαν σε 35 διαφορετικές οικογένειες. Ο Eastop (1958) το αναφέρει σε 60 είδη στη Δυτική Αφρική και σε 15 οικογένειες φυτών στην Ανατολική Αφρική. Στην Ιαπωνία οι Higuchi & Miyazaki (1969) το βρήκαν σε φυτά που ανήκουν σε 100 οικογένειες, ενώ ο Cottier (1953) το βρήκε σε 20 οικογένειες στην Αυστραλία. Συνολικά, έχουν καταγραφεί

περισσότεροι από 900 ξενιστές παγκοσμίως (Inaizumi 1980). Αποτελεί σημαντικό εχθρό για το βαμβάκι και τα κολοκυνθοειδή. Επιπλέον, προσβάλλει τα φυτά του γένους *Citrus* (εσπεριδοειδή), το καφεόδεντρο, το κακάο, τη μελιτζάνα, τη μπάμια, την πατάτα, διάφορα λαχανοκομικά είδη και άλλα.

Βιολογία: Έχει πολλές γενιές το έτος. Ο Paddock εξέθρεψε 60 γενιές κατά τη διάρκεια ενός έτους (Τζανακάκης 1980, Τσιτσιπής 1999). Η *A. gossypii* ευνοείται από σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλή σχετικά υγρασία. Οι συγκεκριμένες συνθήκες απαντώνται στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των βαμβακόφυτων (Τόλης 1988). Παρ' όλα αυτά, είναι σχετικά ανθεκτικό είδος σε θερμό και ξηρό καλοκαίρι, σε αντίθεση με πολλά είδη αφίδων. Στην Ευρώπη παρατηρούνται ανολοκυκλικοί πληθυσμοί. Όμως, ο Kring (1959) έδειξε ότι στην Αμερική αποτελεί ολοκυκλικό είδος, που διαχειμάζει με τη μορφή ωού και χρησιμοποιεί ως πρωτεύοντες ξενιστές τα είδη *Catalpa bignonioides* Walt. (Bignoniaceae) και *Hibiscus syriacus* L. (Malvaceae). Οι Inaizumi (1980) και Zhang & Zhong (1990) έδειξαν ότι οι πληθυσμοί του *A. gossypii* στην Ιαπωνία και Κίνα διαχειμάζουν επίσης ως ωά σε διαφορετικούς ξενιστές (*Rhamnus* spp. (Rhamnaceae), *Zanthoxylum simulans* Hance (Rutaceae), *Celastrus orbiculatus* Thunb. (Celastraceae), *Rubia cordifolia* L. (Rubiaceae), *Punica granatum* L. (Punicaceae) και *H. syriacus* (Malvaceae)), επιβεβαιώνοντας, ότι ο βιολογικός κύκλος του είδους *A.gossypii* έχει υψηλή παραλλακτικότητα.

Ζημιές: Εμφανίζεται κυρίως στην κάτω επιφάνεια των φύλλων. Προσβάλλει τα φυτά ξενιστές σε νεαρό στάδιο την άνοιξη και λιγότερο το φθινόπωρο. Σε διάφορα φυτά-ξενιστές, και κυρίως στο βαμβάκι, η μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού εμφανίζεται κατά το τέλος της άνοιξης με αρχές του θέρους (Tsitsipis *et al.* 1998a). Απομυζά χυμούς από τα νέα φύλλα και τους βλαστούς, ενώ παράλληλα εκκρίνει μελίτωμα (ζαχαρώδες απέκκριμα) σε μεγάλες ποσότητες με αποτέλεσμα το φράξιμο των στοματίων των φύλλων. Στο μελιτώδες έκκριμα αναπτύσσεται καπνιά που μαυρίζει το φυτό, ενώ παράλληλα μειώνει τη φωτοσύνθεση. Ως συνέπεια της προσβολής έχουν αναφερθεί από πολλούς συγγραφείς σε πολλές βαμβακοπαραγωγικές περιοχές σημαντική μείωση φυλλικής επιφάνειας, βιομάζας (ίνας και σπόρου), καθώς και σοβαρή ποιοτική υποβάθμιση μέσω ρύπανσης της ίνας από μελιτώματα των αφίδων και δευτερογενείς μυκητολογικές προσβολές (Rosenheim *et al.* 1997, Slosser *et al.* 2002).

Ταξινομική κατάσταση: Στις διάφορες περιοχές του κόσμου η *A. gossypii* εμφανίζεται με ένα απροσδιόριστο αριθμό ανολοκυκλικών σειρών, κάποιες από τις οποίες μπορεί να παρουσιάζουν μια συγκεκριμένη προσαρμογή σε φυτά-ξενιστές. Για παράδειγμα, το είδος εμφανίζεται στο χρυσάνθεμο και στο αγγούρι στα θερμοκήπια της Δυτικής Ευρώπης. Όμως, οι αφίδες από το χρυσάνθεμο δεν αποικίζουν το αγγούρι και αντίστροφα. Παρ' όλο που οι φυλές μπορούν να εκτραφούν και σε βαμβάκι, αυτή που τρέφεται στο χρυσάνθεμο μπορεί να παράγει έμφυλα άτομα κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες (Guldemon *et al.* 1994), ενώ η φυλή του χρυσάνθεμου αναφέρεται και ως ανεξάρτητο είδος με το όνομα *A. parvus* Theobald. Το συγκεκριμένο παράδειγμα αποδεικνύει ότι σε κάποιες περιπτώσεις ίσως είναι απαραίτητο, διαφορετικοί πληθυσμοί της *A. gossypii* να θεωρηθούν ως ευδιάκριτες ταξινομικές οντότητες.

Ανθεκτικότητα σε εντομοκτόνα: Στην Ελλάδα, η καταπολέμηση της *A. gossypii* βασίζεται κυρίως στη χρήση εντομοκτόνων ουσιών. Κατά το 2003, 6,5 τόνοι δραστικών ουσιών διαφόρων εντομοκτόνων χρησιμοποιήθηκαν για την προστασία από αυτή την αφίδα στο βαμβάκι (Bayer CropScience Ελλάς A.B.E.E., προσωπική επικοινωνία). Όμως, η ανάπτυξη ανθεκτικότητας πληθυσμών της αφίδας *A. gossypii* σε ένα μεγάλο εύρος εντομοκτόνων έχει αναφερθεί σε πολλές περιοχές του κόσμου (Grafton-Cardwell 1991, Kerns & Gaylor 1992, Ahmad *et al.* 2003) και στην Ελλάδα (Ioannidis 1999, Nauen & Elbert 2003). Η ανησυχητική αυτή κατάσταση επιβάλλει την ανάπτυξη εναλλακτικών στρατηγικών αντιμετώπισης του εντόμου, συμβατών με την Ολοκληρωμένη Διαχείριση Εχθρών, όπως είναι η χρήση ανθεκτικών ποικιλιών, η γενετική βελτίωση, η διαχείριση φυσικών εχθρών κ.λπ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Η καλλιέργεια βαμβακιού - Σημαντικές ελληνικές ποικιλίες

Γενικά

Το βαμβάκι ανήκει στο γένος *Gossypium* της οικογένειας Malvaceae. Το *Gossypium hirsutum* L. είναι το κυρίως καλλιεργούμενο είδος σήμερα (upland cotton). Η καλλιέργεια του βαμβακιού επηρεάζει την οικονομική ανάπτυξη και ευημερία σε πολλές χώρες του κόσμου, αφού είναι φυτό που παράγει φυσική ίνα με μοναδικές φυσικές ιδιότητες για πολλές χρήσεις· παράλληλα, ο σπόρος είναι πλούσια πηγή λαδιού και πρωτεΐνης για τη διατροφή του ανθρώπου και των ζώων. Το 2004 καλλιεργήθηκε σε έκταση περίπου 353 εκατομμυρίων στρεμμάτων παγκοσμίως με ετήσια παραγωγή περίπου 25 εκατομμύρια τόνους. Οι κύριες χώρες παραγωγής ήταν το 2005 η Κίνα, οι ΗΠΑ, η πρώην Ε.Σ.Σ.Δ., το Πακιστάν και η Ινδία, καλύπτοντας συνολικά το 72% της παγκόσμιας παραγωγής (Cotton World Statistics 2005).

Παρ' όλο τον ανταγωνισμό που δέχεται το βαμβάκι από τις τεχνητές ίνες, η παγκόσμια κατανάλωσή του παρουσιάζει συνεχή και σταθερή αύξηση εξαιτίας της στροφής που παρουσιάζει η προτίμηση της κατανάλωσης προς τις φυσικές ίνες, που διαθέτουν καλύτερες ιδιότητες (Γαλανοπούλου 1995). Ανάμεσα στα φυτά μεγάλης καλλιέργειας το βαμβάκι αποτελεί μία από τις πιο δυναμικές καλλιέργειες εντατικής και εκτατικής εκμετάλλευσης, ίσως το πρώτο από άποψη συναλλαγματικής αξίας αγροτικό προϊόν στην Ελλάδα.

Η Ελλάδα κατέχει ηγετική θέση στην καλλιέργεια του βαμβακιού στην Ευρώπη (με δεύτερη την Ισπανία) και την ένατη θέση σε παραγωγή παγκοσμίως μετά τις χώρες Κίνα, Η.Π.Α., Ινδία, Πακιστάν, Βραζιλία, Ουζμπεκιστάν, Τουρκία, και Αυστραλία. Επίσης, το 2005 κατείχε την πέμπτη θέση παγκοσμίως σε εξαγωγές με 260.000 τόνους (μετά τις ΗΠΑ, την Ινδία, το Ουζμπεκιστάν και την Αυστραλία). Το 2002, παρήγαγε 375.000 τόνους ίνας ή το 2% της παγκόσμιας παραγωγής, ενώ στην Ελλάδα το 2005 το βαμβάκι καλλιεργήθηκε σε έκταση περίπου 3.700.000 στρέμματα ή στο 18% της συνολικής καλλιεργήσιμης έκτασης, με μέση στρεμματική απόδοση 385 κιλά (Cotton World Statistics 2005). Περίπου 100.000 αγροτικές και 80.000 αστικές οικογένειες

εμπλέκονται στην καλλιέργεια και κατεργασία του προϊόντος, γεγονός που αναδεικνύει την οικονομική και κοινωνική σημασία της εν λόγω καλλιέργειας (Avgoulas & Koutrou 1997).

Στα τελευταία χρόνια η απελευθέρωση του εμπορίου σπόρων οδήγησε στην εισαγωγή ενός μεγάλου αριθμού ποικιλιών στην Ελλάδα. Από αυτές ο βαμβακοπαραγωγός έπρεπε να επιλέξει την εκάστοτε ιδανική, για να την καλλιεργήσει. Όμως, η γενοτυπική έκφραση επηρεάζεται από το περιβάλλον και έτσι περιορίζεται η έκφραση του πλήρους γενετικού δυναμικού και δυσχεραίνεται η εμπειρική αξιολόγησή τους (Bradow & Bauer 1998). Επομένως, η επιλογή της εκάστοτε ιδανικής ποικιλίας αποτελεί μία δύσκολη απόφαση.

Εδώ και πολλά χρόνια οι γενετιστές και οι βελτιωτές έχουν διαπιστώσει μία αρνητική συσχέτιση μεταξύ απόδοσης και αντοχής ίνας και κατέβαλαν προσπάθειες να την ανατρέψουν (Green & Culp 1990). Σε μία μελέτη έξι διαφορετικών γενοτύπων βαμβακιού έγινε προσπάθεια να διευκρινιστούν οι περίπλοκες σχέσεις μεταξύ απόδοσης ίνας, μήκους και αντοχής (Coyle & Smith 1997, Smith & Coyle 1997). Ιδιότητες του εδάφους, όπως υδατοπεριεκτικότητα, πορώδες, αερισμός και λίπανση επηρεάζουν τις ιδιότητες της ίνας του βαμβακιού (Gormus 2002). Οι παραγωγοί αναζητούν σε μία ποικιλία υψηλές αποδόσεις, πρωιμότητα, ανθεκτικότητα στις ασθένειες κ.λπ. Οι ποικιλίες που κατέχουν τέτοια ζητούμενα δεν είναι απαραίτητα ιδανικές για τις σύγχρονες κλωστοϋφαντουργικές βιομηχανίες. Αυτές ενδιαφέρονται για καλά τεχνολογικά χαρακτηριστικά ίνας. Το μήκος της ίνας επηρεάζει την ομαλότητα της πλέξης του νήματος (Avgoulas *et al.* 2005) και οι εκκοκκιστές προτιμούν ποικιλίες με υψηλή παραγωγικότητα ίνας.

Εχθροί βαμβακιού

Οι εχθροί και η διαχείρισή τους είναι αναπόσπαστο κομμάτι εξέλιξης της βιομηχανίας του βαμβακιού. Αρθρόποδα, παθογόνα του φυτού, νηματώδεις και ζιζάνια είναι άμεσα ή έμμεσα υπεύθυνα για τη σημαντική μείωση στην απόδοση και την ποιότητα της ίνας, καθώς αυξάνουν το κόστος παραγωγής. Οι γλυκές εκκρίσεις των νεκταρίων του βαμβακιού, το μαλακό περιεχόμενο των αναπτυσσόμενων καρυδιών και σπόρων, τα πλατιά χυμώδη φύλλα και η συνεχής αύξηση του φυτού κάνει το βαμβάκι ιδιαίτερα ελκυστικό στα έντομα. Αναφέρονται δεκάδες επιβλαβή έντομα, τα οποία είναι

καταστρεπτικά για την παραγωγή (Γαλανοπούλου 1995). Οι σπόροι και τα μικρά βαμβακόφυτα προσβάλλονται από μία σειρά πολυφάγων εντόμων, όπως είναι οι σιδηροσκώληκες, οι αγρότιδες κ.ά., ενώ ο βλαστός είναι πιο ευαίσθητος την περίοδο που είναι πράσινος και τρυφερός. Το φύλλο είναι το μέρος του φυτού που προσβάλλεται από το μεγαλύτερο αριθμό εχθρών. Τα περισσότερα έντομα είναι μασητικά (Coleoptera, Lepidoptera, Orthoptera). Πολλά Hemiptera και ακάρεα απομυζούν χυμούς. Τα πιο βλαπτικά αρθρόποδα είναι τα τζιτζικάκια, οι αφίδες, οι αλευρώδεις και οι τετράνυχοι. Οι εχθροί αυτοί εξασθενίζουν τα φυτά. Ειδικά τα τζιτζικάκια φαίνεται ότι εμποδίζουν τη λειτουργία των αγγείων, ενώ οι αφίδες και οι αλευρώδεις εκκρίνουν άφθονο μελίτωμα, που παρεμποδίζει τη λειτουργία των φύλλων και την ανάπτυξη του φυτού. Ορισμένα μυζητικά έντομα (αφίδες, αλευρώδεις) μεταδίδουν κιόλας στα φυτά ιούς, που παραμορφώνουν τα φύλλα. Οι ανθοφόροι οφθαλμοί προσβάλλονται από πολλά έντομα, όπως είναι το πράσινο σκουλήκι, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), το ρόδινο σκουλήκι, *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lepidoptera: Gelechiidae) και το αγκαθωτό σκουλήκι, *Earias insulana* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae). Τα Ημίπτερα *Lygus* spp. (Hemiptera: Miridae), που είναι μυζητικά έντομα, προσβάλλουν νεαρούς οφθαλμούς, χτένια και άνθη, τα οποία καταστρέφουν. Τα πράσινα καρύδια (κάψες) προσβάλλονται κυρίως από προνύμφες Λεπιδοπτέρων και μυζητικά Ημίπτερα, όπως είδη της οικογένειας Pentatomidae, *Lygus* spp. κ.ά., προκαλώντας άμεσες και έμμεσες ζημιές (νεκρώσεις ιστών και μετάδοση παθογόνων μυκήτων, Τόλης 1988).

Μερικές από τις ποικιλίες βαμβακιού που καλλιεργούνται στην Ελλάδα (1995-σήμερα) (Ανώνυμος 1999, 2004).

Acala-SJ2: Ποικιλία πρώιμη, αμερικανικής, ισραηλινής και ισπανικής προέλευσης, με μεγάλη προσαρμοστική ικανότητα σε διάφορες εδαφοκλιματικές συνθήκες. Είναι η πιο διαδεδομένη παγκοσμίως ποικιλία βαμβακιού. Η Acala-SJ2 είναι πολύ ανθεκτική στην ξηρασία, και ακόμη στις αδρομυκώσεις και στις προσβολές από παθογόνα εδάφους των γενών *Verticillium* και *Fusarium*. Μπορεί να καλλιεργηθεί με επιτυχία σε όλες τις κατηγορίες εδαφών και είναι κατάλληλη για μηχανική συλλογή. Προσαρμόζεται πολύ καλά στην κεντρική και νότια Ελλάδα και θεωρείται ιδανική για σπορά υπό κάλυψη. Είναι ποικιλία με πολύ δυναμική παραγωγή.

Άρια: Ποικιλία παραγωγής της εταιρείας Stoneville USA, πιο πρόιμη από την Acala-SJ2 κατά 7-12 ημέρες. Χαρακτηρίζεται από μεγάλο αριθμό καρυδιών, το μεγαλύτερο ποσοστό των οποίων ανοίγει σε μικρό χρονικό διάστημα. Προσαρμόζεται σε όλους τους τύπους εδαφών, έχει υψηλές και ιδιαίτερα σταθερές αποδόσεις, καθώς και άριστα τεχνολογικά χαρακτηριστικά. Θεωρείται η ποικιλία με τη μεγαλύτερη αντοχή στις αδρομυκώσεις και μπορεί να καλλιεργηθεί με επιτυχία σε όλες τις περιπτώσεις, ακόμη και σε εδάφη με βαρύτατα προβλήματα αδρομύκωσης.

Εύα: Πρόιμη ελληνική ποικιλία του Ινστιτούτου Βάμβακος, μέσου βιολογικού κύκλου, κατάλληλη για εκείνες τις περιοχές της χώρας, όπου οι συνθήκες δεν επιτρέπουν την πρόιμη σπορά και την όιμη συγκομιδή. Θεωρείται ιδανική ποικιλία για τη Μακεδονία και τη Θράκη, καθώς συνδυάζει μεγάλη πρωιμότητα και υψηλές αποδόσεις. Έχει μέτρια ως ικανοποιητική ανθεκτικότητα στην αδρομύκωση.

Ζέτα-2: Ελληνική ποικιλία του Ινστιτούτου Βάμβακος. Είναι η πρώτη σε έκταση καλλιεργούμενη ποικιλία στην Ελλάδα, σχετικά όιμη (οιμότερη της Σίνδος-80 κατά 15 ημέρες), αλλά πολύ παραγωγική. Είναι πολύ ανθεκτική στις αδρομυκώσεις και αντέχει στην ξηρασία (μπορεί να ποτίζεται σε αραιότερα χρονικά διαστήματα, αλλά με μεγαλύτερες δόσεις νερού). Είναι άριστα προσαρμοσμένη στις συνθήκες καλλιέργειας της Στερεάς Ελλάδας, και κυρίως του Θεσσαλικού κάμπου, όπου και σποροπαράγεται.

Ζέτα-5: Πολύ ανθεκτική στις αδρομυκώσεις, ελληνική ποικιλία του Ινστιτούτου Βάμβακος, για περιοχές με έντονο πρόβλημα. Είναι πιο πρόιμη ποικιλία από τη Ζέτα-2 κατά 4-5 ημέρες. Είναι πολύ παραγωγική ποικιλία με μεγάλα καρύδια, ιδανική, όπως αναφέρεται, για τη Θεσσαλία. Η Ζέτα-5 πρέπει να ποτίζεται σε συχνότερα χρονικά διαστήματα, αλλά με μικρότερες δόσεις νερού.

Κορίνα: Ελληνική ποικιλία του Ινστιτούτου Βάμβακος. Είναι πολύ παραγωγική ποικιλία (συναγωνίζεται τη Ζέτα-2 σε αποδόσεις), ανθεκτική στην αδρομύκωση. Είναι ενδιάμεσης πρωιμότητας των Ζέτα-2 και 4S και οιμότερη της Σίνδος-80 κατά μια εβδομάδα. Βαθύρριζη ποικιλία με υψηλή φυτρωτική ικανότητα, ενώ στα συνεκτικά (βαριά) εδάφη αυξάνει την απόδοσή της. Φυτό με ισχυρό στέλεχος και αντοχή στο ψύχος. Έχει δοκιμαστεί σε όλο το εδαφοκλιματικό περιβάλλον της Μακεδονίας και Θεσσαλίας, όπου απέδειξε τη σταθερότητά της.

Σίνδος-80: Ελληνική ποικιλία του Ινστιτούτου Βάμβακος, κατάλληλη για μηχανική συλλογή, μια που έχει συγκεντρωμένη καρποφορία. Σε περιοχές με μικρή βλαστική περίοδο δίνει πολύ μεγάλες αποδόσεις. Αναφέρεται ότι είναι ιδανική για καλλιέργεια στη Μακεδονία, τη Θράκη και τη δυτική Ελλάδα με άριστα τεχνολογικά χαρακτηριστικά, ιδανική για νήματα πλεκτικής.

Οι Avgoulas *et al.* (2005) σε συγκριτική μελέτη πέντε ελληνικών ποικιλιών στη Θεσσαλία και τη Βοιωτία, ως προς την παραγωγικότητα και την ποιότητα ίνας αναφέρουν τις Alegria, Αγία και Vered 171 ως 5-12 μέρες πιο πρώιμες από την Acala-SJ2 και τη Ζέτα-2 ως την οψιμότερη από όλες. Όλες αυτές οι ποικιλίες θεωρείται ότι διαθέτουν υψηλή παραγωγικότητα και υψηλή ανοχή σε αδρομυκώσεις και αδροβακτηριώσεις και αποδίδουν καλά σε εδάφη προσβεβλημένα από τέτοια παθογόνα, με την Αγία να έχει τη μεγαλύτερη και την Alegria τη μικρότερη ανοχή. Επίσης, οι Ζέτα-2 και Acala-SJ2 παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στην ξηρασία.

Οι Polychronides *et al.* (1998) μελέτησαν την επίδραση των επιπέδων άρδευσης και αζωτούχου λίπανσης στην ανάπτυξη, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και την παραγωγικότητα των ποικιλιών βαμβακιού Ζέτα-2 και Κορίνα. Βρέθηκε ότι η χαμηλή άρδευση δεν επηρέασε την παραγωγή σπόρου και ίνας. Αντίστροφα, επηρέασε θετικά την πρωιμότητα της ποικιλίας Ζέτα-2. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η λίπανση και η άρδευση μπορεί να είναι χαμηλού επιπέδου και να συνάδουν με τη φιλοσοφία της επιβεβλημένης πλέον χρήσης μειωμένων εισροών στις καλλιέργειες, χωρίς να προκαλούν σημαντική παραλλακτικότητα στην αναλογία κόστους-κέρδους. Το γεγονός αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία σε περιπτώσεις αντίξοων κλιματικών συνθηκών, όπου απαιτείται πρωίμηση παραγωγής από τις καλλιεργούμενες ποικιλίες.

Οι ελληνικές ποικιλίες βαμβακιού έχουν διάφορα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την απόδοση της αφίδας, όπως είναι η ύπαρξη χνόωσης, τριχών ή αλληλοχημικών ουσιών, π.χ. συγκέντρωση γκοσυπόλης, τανινών κ.λπ. (Weathersbee *et al.* 1995, Mansour *et al.* 1997, Du *et al.* 2004). Είναι άξιο έρευνας το γεγονός της διαφορετικής απόδοσης ποικιλιών με διαφορετικά χαρακτηριστικά και η συσχέτισή της με διαφορές στο αναπαραγωγικό δυναμικό αφίδων, γεγονός που δεν έχει διερευνηθεί μέχρι σήμερα. Έτσι, η έρευνα θα συμβάλει στην ορθολογική επιλογή ποικιλιών με τα βέλτιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά για συγκεκριμένα αγροοικοσυστήματα βαμβακιού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

Μελέτη δυναμικής πληθυσμών αφίδων

Γενικά

Οι πληθυσμοί των εντόμων μπορούν να μεταβάλλονται σε μέγεθος στη διάρκεια σχετικά μικρών χρονικών περιόδων, ανάλογα με τις αλλαγές στους ρυθμούς γεννήσεων, τη θνησιμότητα και τις μεταναστεύσεις. Κάτω από ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες, κάποια είδη διαθέτουν την ικανότητα να αυξάνουν τους πληθυσμούς τους σε υψηλά επίπεδα μέσα σε σύντομα χρονικά διαστήματα, δεδομένης της μικρής διάρκειας γενιάς και του υψηλού αναπαραγωγικού ρυθμού. Κάτω από δυσμενείς συνθήκες, οι πληθυσμοί μπορούν ουσιαστικά να εξαφανίζονται για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Αυτή η δυνατότητα για σημαντική και μετρήσιμη αλλαγή του μεγέθους ενός πληθυσμού καθιστά τα έντομα δυνητικώς «χρήσιμους δείκτες» περιβαλλοντικών αλλαγών, συχνά δε σοβαρούς εχθρούς ανθρωπίνων δραστηριοτήτων και «αξιόλογους μηχανικούς» ιδιοτήτων του οικοσυστήματος, οι οποίες επίσης μπορούν να επηρεάζουν παγκόσμιες περιβαλλοντικές καταστάσεις (Schowalter 2000). Ο ρόλος των εντόμων ως εχθρών έχει προκαλέσει τη διεξαγωγή ενός τεράστιου όγκου έρευνας προς την κατεύθυνση της διερεύνησης των παραγόντων που επηρεάζουν τη δυναμική των πληθυσμών τους, της ανάπτυξης μοντέλων πρόγνωσης πληθυσμιακών εξάρσεων και, σχετικά πρόσφατα, της αξιολόγησης της σημασίας των πληθυσμών τους για τις ιδιότητες του οικοσυστήματος. Συνεπώς, οι μέθοδοι και τα περιγραφικά πρότυπα πληθυσμιακών αλλαγών, αναφορικά με έντομα-εχθρούς οικονομικής σημασίας, βρίσκονται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος για μελέτη.

Διακύμανση πληθυσμών

Αν οι κλιματικές συνθήκες αλλάζουν σε ευνοϊκά επίπεδα για τους ρυθμούς ανάπτυξης πληθυσμών ενός είδους εντόμου, οι ρυθμοί αυτοί αυξάνονται έως ότου ρυθμιστικοί παράγοντες ελαττώνουν και τελικά μηδενίζουν τους ρυθμούς αύξησης. Μερικοί πληθυσμοί μπορούν να αυξηθούν μέχρι και 10^5 φορές (Mason 1996), αλλά οι περισσότεροι αυξάνονται πολύ λιγότερο (Berryman 1981). Το πλάτος και η συχνότητα των διακυμάνσεων χρησιμοποιούνται, για να περιγράψουν τρία γενικά πρότυπα

πληθυσμιακής διακύμανσης: Οι *σταθεροί* (*stable*) πληθυσμοί παραλλάσσουν λίγο στο χρόνο, ενώ οι *επιδρομικοί* (*irruptive*) και οι *κυκλικοί* (*cyclic*) επιδεικνύουν μεγάλες διακυμάνσεις στο χρόνο. Οι επιδρομικοί πληθυσμοί αυξάνονται σποραδικά σε μέγιστα ύψη και ακολουθεί περίοδος εξασθένησης. Στη δημιουργία της μορφής αυτής πληθυσμών συντελούν διάφοροι συνδυασμοί βιολογικών χαρακτηριστικών του είδους, ενώ οι πληθυσμοί αυτοί δείχνουν γενικά να ελέγχονται από έναν ή λιγοστούς παράγοντες. Για παράδειγμα, είδη των τάξεων *Lepidoptera* και *Hymenoptera* (*Symphyla*) τείνουν να γίνουν κοινωνικά (αγελαία), έχουν μία γενιά το έτος και είναι ευαίσθητα σε αλλαγές της ποιότητας ή της διαθεσιμότητας συγκεκριμένων πόρων, χαρακτηριστικά που δεν έχουν είδη με σταθερές ή κυκλικές πληθυσμιακές διακυμάνσεις (Nothnagle & Schultz 1987, Larsson *et al.* 1993). Οι κυκλικοί πληθυσμοί εμφανίζουν σταθερές χρονικές διακυμάνσεις. Οι κυκλικές μορφές διακυμάνσεων έχουν δημιουργήσει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στους πληθυσμιακούς οικολόγους και ίσως αντανακλούν μία ποικιλία αλληλεπιδρώντων παραγόντων. Ισχυρές κυκλικές διακυμάνσεις αφθονίας παρατηρούνται σε είδη με πολλές γενιές το έτος, όπως οι αφίδες. Οι πληθυσμοί των αφίδων συσχετίζονται, μεταξύ άλλων, με περιόδους έντονης μεταφοράς θρεπτικών στοιχείων μέσα στα φυτά (Dixon 1985). Επομένως, οι πληθυσμοί των περισσότερων ειδών κορυφώνονται την άνοιξη, όταν τα θρεπτικά στοιχεία μετατοπίζονται προς τη ζωηρή βλάστηση στο φυτό και κάποιοι (π.χ. αυτοί που τρέφονται σε φυλλοβόλα δένδρα) κορυφώνονται πάλι το φθινόπωρο, όταν τα συστατικά αναρροφούνται σε άλλα σημεία λόγω της γήρανσης του φυλλώματος.

Οι αλλαγές στο μέγεθος ενός πληθυσμού περιγράφονται από τέσσερις διακριτές φάσεις (Mason & Luck 1978). Η *ενδημική φάση* (*endemic phase*) είναι το χαμηλό επίπεδο πληθυσμού που διατηρείται μεταξύ των *εξάρσεων* (*outbreaks*), οι οποίες προκαλούνται από μία *διαταραχή* (*disturbance*) ή από μία *περιβαλλοντική αλλαγή* που επιτρέπει την αύξηση του πληθυσμού πάνω από το ανώτερο *όριο διαφυγής* (*release threshold*). Το όριο αυτό απεικονίζει το μέγεθος στο οποίο η *αναπαραγωγική ορμή* (*reproductive momentum*) οδηγεί σε διαφυγή, έστω και ενός τμήματος από φυσιολογικούς ρυθμιστικούς παράγοντες, π.χ. τη θήρευση. Επάνω από το όριο διαφυγής η επιβίωση είναι αρκετά υψηλή και ο πληθυσμός συνεχίζει να αυξάνεται ανεξέλεγκτα (*φάση διαφυγής*, *release phase*). Κατά την περίοδο αυτή η διασπορά κορυφώνεται και ο

πληθυσμός διασπείρεται προς άλλα κατάλληλα σημεία του ενδιαίτηματος. Οι πόροι βαθμιαία περιορίζονται και οι βιολογικοί παράγοντες (αρπακτικά, παρασιτοειδή, παθογόνα) αντιδρούν σε αυξημένες αναλογίες πυκνότητας λείας-θηρευτή και κατάσταση στρες. Κατόπιν, η αύξηση του πληθυσμού ελαττώνεται και η αφθονία φτάνει στο μέγιστο (*peak*). Η συνεχής θήρευση και οι επιζωοτικές ασθένειες επιταχύνουν την εξασθένηση της πληθυσμιακής πυκνότητας (*decline*). Ο διαειδικός ανταγωνισμός και οι ρυθμοί θήρευσης ακολουθούν επίσης πτωτική τάση, έως ότου ο πληθυσμός να εισέλθει ξανά στην ενδημική φάση. Οι πληθυσμιακές εξάρσεις με τη μορφή που περιγράφηκαν πιο πάνω έχουν γίνει συχνότερες και εντονότερες σήμερα σε καλλιέργειες ή φυσικές μονοκαλλιέργειες, όπου είτε οι πόροι τροφής είναι σχετικά απεριόριστοι ή υπάρχει συνεχής πίεση εφαρμογής παραγόντων διαταραχής του πληθυσμού, π.χ. εφαρμογής αγροχημικών (Schowalter 2000).

Παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος του πληθυσμού

Η δυναμική των πληθυσμών επηρεάζεται από ένα εύρος ενδογενών και εξωγενών παραγόντων. Οι ενδογενείς περιλαμβάνουν τον ενδοειδικό ανταγωνισμό, τον κανιβαλισμό και το γεγονός της τοπικότητας της προσβολής (*territoriality*), ενώ οι εξωγενείς τις αβιοτικές συνθήκες και την επίδραση άλλων ειδών. Πληθυσμοί που εμφανίζουν ευρείες διακυμάνσεις ίσως διακρίνονται από ασθενή δυναμικότητα να ρυθμίζουν την ενδογενή τους αύξηση, π.χ. μέσω μειωμένων γεννήσεων ως αντίδραση στο συνωστισμό. Αυτοί όμως οι πληθυσμοί είναι δυνατό να ρυθμίζονται και από άλλους εξωγενείς παράγοντες, όπως είναι η διαθεσιμότητα τροφής, η θήρευση κ.λπ. Αυτοί επηρεάζουν το μέγεθος του πληθυσμού με δύο τρόπους: 1. Αν το ποσοστό των οργανισμών που επηρεάζεται από ένα παράγοντα είναι σταθερό για οποιαδήποτε πληθυσμιακή πυκνότητα ή το αποτέλεσμα δράσης του παράγοντα δεν εξαρτάται από την πληθυσμιακή πυκνότητα, τότε ο εξωγενής παράγοντας είναι *ανεξάρτητος της πυκνότητας* (*density-independent*). 2. Αν το ποσοστό των οργανισμών που επηρεάζεται από τον παράγοντα ποικίλλει ανάλογα με την πυκνότητα ή το αποτέλεσμα της δράσης του παράγοντα εξαρτάται από την πυκνότητα, τότε ο παράγοντας είναι *πυκνο-εξαρτώμενος* (*density-dependent*) (Prtice 1997). Γενικά, το μέγεθος του πληθυσμού παραλλάσσει λόγω αβιοτικών παραγόντων, όπως είναι το κλίμα ή οι περιβαλλοντικές διαταραχές, αλλά

διατηρείται στα όρια της ισορροπίας εξαιτίας πυκνο-εξαρτώμενων βιοτικών παραγόντων (Schowalter 2000).

Πυκνο-εξαρτώμενοι βιοτικοί εξωγενείς παράγοντες

Τέτοιοι παράγοντες θεωρούνται κυρίως οι παράγοντες φυσικού βιολογικού ελέγχου (biocontrol agents), δηλαδή οι δράσεις των αρπακτικών, των παρασίτων / παρασιτοειδών και των παθογόνων επάνω στα έντομα (van den Bosch *et al.* 1982, Price 1997). Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραπάνω παραγόντων έχουν περιγραφεί από πολλούς ερευνητές. Όσο ο ανταγωνισμός για πεπερασμένους πόρους εντείνεται, τόσο λιγότερα άτομα λαμβάνουν ικανοποιητικούς πόρους τροφής για επιβίωση, αναπαραγωγή και διασπορά. Επίσης, οι ρυθμοί θήρευσης και το αναπαραγωγικό δυναμικό των αρπακτικών τυπικά αυξάνονται όσο η αφθονία λείας αυξάνεται (functional / numerical response), έως κάποιο όριο στο οποίο οι φυσικοί εχθροί φτάνουν σε κορεσμό τροφής. Συνήθως όμως σε φυσικές συνθήκες η απόκριση των αρπακτικών δείχνει κάποια *χρονική υστέρηση (time lag)* και έτσι η συνάθροισή τους καθυστερεί. Το ίδιο συμβαίνει και με τη λήξη αναπαραγωγής των φυσικών εχθρών, η οποία καθυστερεί σε σχέση με την έναρξη μείωσης της λείας.

Ρυθμιστικοί μηχανισμοί

Όταν το μέγεθος του πληθυσμού υπερβαίνει τον αριθμό των ατόμων που μπορούν να υποστηριχθούν από υπάρχοντες πόρους, ο ανταγωνισμός και άλλοι παράγοντες ελαττώνουν το μέγεθος, ώσπου να φτάσει σε ισορροπία με τη διαθεσιμότητα πόρων. Το συγκεκριμένο μέγεθος του πληθυσμού σε ισορροπία, που μπορεί να διατηρείται από τη διαθεσιμότητα αυτή, ονομάζεται *φέρουσα δυναμικότητα* ή *βιοχωρητικότητα (carrying capacity)* του περιβάλλοντος / οικοσυστήματος (K). Η φέρουσα δυναμικότητα δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από παράγοντες που επηρεάζουν τόσο την αφθονία, όσο και την καταλληλότητα των αναγκαίων πόρων, συμπεριλαμβανόμενης και της έντασης του ανταγωνισμού με άλλα είδη, που επίσης χρησιμοποιούν τους ίδιους πόρους. Οι θεωρίες που επικρατούν για τον τρόπο ρύθμισης των πληθυσμών είναι η “bottom-up” (περιορισμός πόρων), η “top-down” (διαδοχική ελάττωση τροφής) και οι “lateral factors” (πλευρικοί παράγοντες). Στους τελευταίους εντάσσονται ο ανταγωνισμός, η τοπικότητα της προσβολής, ο κανιβαλισμός και η πυκνο-εξαρτώμενη διασπορά (Schowalter 2000).

Οι Harrison & Carruccino (1995) συγκέντρωσαν στοιχεία από 60 μελέτες ρυθμιστικών μηχανισμών πληθυσμών και ανέφεραν ότι στο 89% των περιπτώσεων βρέθηκε ο τύπος “bottom-up”. Παρ’ όλα αυτά, όποιοι και να είναι οι εμπλεκόμενοι παράγοντες, που ευθύνονται για την προσέγγιση ορίων διαφυγής ή εξαφάνισης πληθυσμών, αποτελούν κύρια αντικείμενα μελέτης οικολόγων πληθυσμών και διαχείρισης πόρων οικοσυστημάτων.

Δυναμική πληθυσμών αφίδων

Οι πληθυσμοί των αφίδων μπορούν να φτάσουν σε πολύ μεγάλους αριθμούς στις καλλιέργειες. Π.χ., ένα στρέμμα καλλιεργούμενης φασολιάς μπορεί να φέρει πληθυσμούς της τάξης των 400 εκατομμυρίων αφίδων *Aphis fabae* Scopoli, ενώ η αφίδα *Metopolophium dirhodum* Walker μπορεί να προσβάλει με πληθυσμό 220 ατόμων ένα στέλεχος σιταριού ή 100 εκατομμυρίων ατόμων ένα στρέμμα. Επίσης, έχει καταγραφεί η ύπαρξη 28.000 ενηλίκων αρπακτικών *Coccinella septempunctata* L. ανά στρέμμα σιταριού να τρέφεται με *Sitobion avenae* Fabricious, ενώ το αντίστοιχο μέγιστο κατέγραψε 20 εκατομμύρια ανά στρέμμα (Dixon 1998).

Οι πληθυσμοί των αφίδων έχουν μελετηθεί κυρίως επί φυτών σε καλλιέργειες συγκεκριμένης έκτασης, και πολύ σπανιότερα, οι εναέριοι πληθυσμοί τους. Οι συχνά λεπτομερείς μελέτες δυναμικής επάνω σε φυτά καλύπτουν μόνο ένα ελάχιστο τμήμα του πληθυσμού και του εύρους αυτών των ιδιαίτερα κινητικών μικροσκοπικών εντόμων. Παρ’ όλα αυτά, με συνδυασμό των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων, είναι δυνατό να εκτιμηθεί τι καθορίζει τόσο την κατανομή των πληθυσμών στα φυτά, όσο και την εξάπλωση ενός είδους σε ευρείες περιοχές, για να μελετηθεί η δυναμική πληθυσμών (Dixon 1998).

Εναέριοι πληθυσμοί

Αναρροφητικές παγίδες αναρροφούν πληθυσμούς αφίδων σε ύψος 12-20μ σε καθημερινή βάση για περισσότερα από 35 χρόνια σε γεωργικές περιοχές κυρίως της βόρειας και δυτικής Ευρώπης, αλλά και της Ελλάδας (Τσιτσιπής και συνεργάτες 2003) με στόχο την παρακολούθηση και πρόγνωση της διακύμανσης των πληθυσμών σημαντικών ειδών αφίδων. Έτσι, συγκεντρώθηκαν τεράστιες βάσεις δεδομένων, πολύτιμων όχι μόνο

για μελέτες δυναμικής πληθυσμών, αλλά και για οικολογικές μελέτες, που αφορούν στη ρύθμιση πληθυσμών και προτύπων βιολογικού κύκλου.

Εξαιτίας των ιδιαίτερα υψηλών αναπαραγωγικών ρυθμών και των αλληλοεπικαλυπτόμενων γενεών, οι αφίδες συχνά γίνονται αφθονότατες, γεγονός που αποτελεί εμπόδιο στις αναλύσεις δυναμικής πληθυσμών, και που συνήθως αποφεύγεται με τη χρήση των ετήσιων αριθμών συλλήψεων πτερωτών αφίδων. Μελέτες πολυετών δεδομένων κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι αφίδες εμφανίζουν μεγαλύτερη πυκνοεξαρτώμενη ρύθμιση πληθυσμών σε σχέση με άλλα τάξα (π.χ. λεπιδόπτερα), πράγμα που μπορεί να εξηγηθεί εν μέρει και λόγω του κατά κανόνα υψηλότερου ενδογενούς ρυθμού αύξησης των αφίδων. Με τη χρήση ετησίων συνόλων συλλήψεων σε μελέτες εναέριων πληθυσμών ενισχύεται η αντίληψη ότι η ρύθμιση των πληθυσμών τους γίνεται από χρόνο σε χρόνο, αντίθετα με ότι πιστεύεται για αντίστοιχες μελέτες αφίδων σε φυτά. Εδώ τα θέματα χρειάζονται κάποια αποσαφήνιση (Dixon 1998).

Πληθυσμοί στα φυτά

Η δυναμική πληθυσμών αφίδων στα φυτά δεν είναι πάντα εύκολο να μελετηθεί με χρήση μαθηματικών εξισώσεων, όπως στα αναλυτικά μοντέλα, εξαιτίας των αλληλοεπικαλυπτόμενων γενεών, των μη σταθερών ηλικιακών δομών και της ικανότητας των πτερωτών να διασπείρονται στο χώρο. Οι περισσότερες αναλύσεις δυναμικής πληθυσμών αφίδων στα φυτά περιλαμβάνουν λεπτομερή και μεγάλα μοντέλα προσομοίωσης, αποτελούμενα από σειρά επαναλαμβανόμενων μαθηματικών πράξεων. Παρ' όλο που λίγοι πληθυσμοί αφίδων έχουν μελετηθεί επί μακρόν σε μελέτες χρονοσειρών, οι πληθυσμοί σε ποώδεις και ξυλώδεις ξενιστές αρχίζουν να αποκαλύπτουν πρότυπα στις αλλαγές της αφθονίας τους από χρόνο σε χρόνο· έτσι, προκύπτει κάποια κατανόηση των υποκείμενων εξελικτικών διαδικασιών. Πάντως, για τον πολύ βασικό λόγο της συνέχειας του ξενιστή στον ίδιο χώρο επί μακρόν, οι μελέτες με τα πιο πολυετή δεδομένα είναι αυτές των ειδών αφίδων σε ορισμένα είδη δένδρων (Dixon 1998).

Ενδοειδική και διαειδική παραλλακτικότητα δυναμικής πληθυσμών αφίδων

Ενδοειδική παραλλακτικότητα στην αφθονία αφίδων

Μερικά δένδρα προσβάλλονται τακτικά από αφίδες, άλλα σε μεγάλο και άλλα σε πολύ μικρότερο βαθμό από έτος σε έτος. Υπήρχε μία τάση να αποδίδονται αυτές οι διαφορές είτε στην ανοχή του φυτού είτε στην έκθεση των αφίδων στις καιρικές συνθήκες. Στην περίπτωση π.χ. της αφίδας *Myzocallis boernerii* Stroyan, τα δύο είδη δένδρων-ξενιστών με διαφορετικό ποσοστό προσβολής είναι πανομοιότυπα ως προς την επιτυχία των αφίδων να εναλλάσσουν την ασεξουαλική με τη σεξουαλική αναπαραγωγή, και ως προς την επιβίωση των διαχειμαζόντων αβγών. Παρ' όλα αυτά, τα φύλλα του περισσότερο προσβεβλημένου είδους αρχίζουν να ωριμάζουν και να πέφτουν δύο εβδομάδες νωρίτερα από ό,τι του άλλου, με συνέπεια, ενώ ο αναπαραγωγικός ρυθμός των αφίδων στα δύο είδη να είναι παρόμοιος για το διάστημα μέχρι το φθινόπωρο, από εκεί και πέρα να αυξάνεται αυτός στο προκείμενο είδος. Αυτό μεταφράζεται σε διαφορές γονιμότητας και επιβίωσης.

Σε άλλα είδη, π.χ. στο *Drepanosiphum platanoidis* (Shrank) η αιτιολογία των διαφορών επιβίωσης στα δύο είδη δένδρων εστιάζεται στην επιτυχία εγκατάστασης της ίδιας της αφίδας κάθε άνοιξη από διαχειμαζόντα αβγά. Η έκπτυξη οφθαλμών στο είδος με τη μικρότερη προσβολή συμβαίνει πολύ αργά και κάποιες από τις εκκολαφθείσες αφίδες επιβιώνουν, για να αποικίσουν μη πεσμένα φύλλα.

Συνοψίζοντας, η φαινολογία των δένδρων, και ειδικότερα τόσο ο χρόνος ωρίμασης των φύλλων σχετιζόμενος με την εναλλαγή τύπων αναπαραγωγής, όσο και ο χρόνος της έκπτυξης των οφθαλμών, σχετιζόμενος με εκκόλαψη αβγών, εμπλέκονται στον καθορισμό της διαφοράς της αφθονίας των αφίδων σε διαφορετικά είδη δένδρων-ξενιστών. Επιπροσθέτως, θεωρείται ότι απομονωμένα δένδρα υποστηρίζουν λιγότερες αφίδες, διότι ανέχονται πολύ περισσότερες απώλειες από διασπορά από ό,τι δένδρα που αναπτύσσονται σε συστοιχίες (Dixon 1998).

Διαειδική παραλλακτικότητα στην αφθονία αφίδων

Η πληθυσμιακή πυκνότητα ισορροπίας ενός είδους εξετάζεται ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ του ενδογενούς ρυθμού αύξησης (r_m) και της ισχύος του πυκνο-εξαρτώμενου παράγοντα, που δρα πάνω στο είδος. Οι φυσικοί εχθροί δε φαίνεται να έχουν τόσο σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της αφθονίας αφίδων που αποικίζουν φυλλοβόλα είδη δένδρων. Δεν υπάρχει απόδειξη ότι διαφέρει η αποτελεσματικότητα των φυσικών εχθρών των διαφόρων ειδών αφίδων. Επομένως, διαφορές μεταξύ ειδών αφίδων

στο ρυθμό αύξησης φαίνεται να αποτελούν τη βασική αιτία των διαφορών στη σχετική αφθονία των αφίδων. Οι πραγματικοί ρυθμοί αύξησης εξαρτώνται κυρίως από την πιθανότητα εύρεσης ενός ξενιστή.

Όλα τα παραπάνω συνηγορούν στο συμπέρασμα ότι η αφθονία του φυτού-ξενιστή αποτελεί κυρίαρχο παράγοντα καθορισμού της δυναμικής πληθυσμών των αφίδων (Dixon & Kindlmann 1990).

Δυναμική πληθυσμών αφίδων και ο ρόλος των φυσικών εχθρών

Δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι οι φυσικοί εχθροί των αφίδων μπορούν να ελαττώσουν τους ενδογενείς ρυθμούς αύξησης των αφίδων, μερικές φορές πολύ δραστικά. Λαμπρό παράδειγμα επιτυχούς ελέγχου εντόμου από έντομο είναι αυτό της δράσης το κολεοπτέρου *Rodolia cardinalis* Mulsant στο κοκκοειδές *Icerya purchasi* Maskell. Παρ' όλη την επιτυχία του τελευταίου παραδείγματος, τα αρπακτικά Coccinellidae δεν έχουν αποδειχθεί γενικά επιτυχείς παράγοντες ελέγχου των αφίδων (Hodek 1973) για λόγους που πηγάζουν από τη δυναμική της αλληλεπίδρασης αφίδων-αρπακτικών και από τις επιπτώσεις αυτής στην απόδοση των αρπακτικών (Kindlmann & Dixon 1993). Τα αρπακτικά αυτά εκμεταλλεύονται αποικίες αφίδων, που είναι ανομοιόμορφα κατανεμημένες και, σχετικά με το χρόνο προνυμφικής ανάπτυξης, σχετικά βραχύβιες. Οι προνύμφες κινδυνεύουν από ασιτία, αν η διαθεσιμότητα των αφίδων στη συγκεκριμένη αποικία, που τα αρπακτικά εκμεταλλεύονται, ελαττώνεται σημαντικά πριν από την ολοκλήρωση της ανάπτυξής τους. Η περίοδος για την οποία η αποικία μπορεί να ανεχθεί τις προνύμφες εξαρτάται από τον αριθμό των τελευταίων. Δηλαδή, η προνυμφική επιβίωση είναι μικρή, όταν αποτίθενται πολλά αβγά ή πολύ αργά. Έτσι, οι αφίδες αρχίζουν να διασπείρονται και οι προνύμφες που επιβίωσαν, τείνουν να γίνονται μικρόσωμες, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την επιβίωσή τους το χειμώνα (Zhou *et al.* 1995) και το δυναμικό γονιμότητας (Dixon & Guo 1993).

Πειράματα εργαστηρίου και αγρού έχουν δείξει ότι υπάρχει ένα κατώτατο όριο πληθυσμιακής πυκνότητας των αφίδων για ωτοκία, το οποίο καθορίζεται από τον ελάχιστο αριθμό αφίδων που απαιτείται για την επιβίωση των προνυμφών πρώτου σταδίου (Dixon 1959, Honěk 1978). Πειράματα αγρού υποδηλώνουν επίσης ότι η έναρξη της ωτοκίας συμβαίνει πριν από το μέγιστο της αφθονίας των αφίδων, όπως αυτό προσδιορίζεται από τη θεωρία, δηλαδή τα πιο πάνω αρπακτικά φαίνεται ότι διαθέτουν

την ικανότητα να εκτιμούν την ηλικία της αποικίας. Όσον αφορά στη λήξη της ωοτοκίας, πειραματικά δεδομένα δείχνουν ότι εδώ ο μηχανισμός δεν είναι μόνο η πληθυσμιακή ουδός, αλλά κυρίως ο κανιβαλισμός των αβγών. Αν τα τέλεια ωοτοκούν σε μία αποικία για παρατεταμένο χρονικό διάστημα, η επιβίωση των αβγών που εναποτίθενται τελευταία πιθανότατα να είναι ιδιαίτερα χαμηλή, διότι αυτά κινδυνεύουν να γίνουν λεία των παλαιότερων προνυμφών. Τα αρπακτικά αυτά εμφανίζονται να αποτρέπονται από την ωοτοκία μέσω χημικών ερεθισμάτων σχετιζόμενων με προνύμφες του ίδιου είδους, που τα κάνει να αντιδρούν σε ερεθίσματα που επηρεάζουν την απόδοσή τους (π.χ. ρυθμοί λήψης τροφής, εκδύματα αφίδων και μελιτώματα), τα οποία καταδεικνύουν την αφθονία των αφίδων και τη σχετική «ισχύ» κάθε αποικίας. Ένα άλλο πλεονέκτημα περιορισμού των αβγών που εναποτίθενται σε μία αποικία αφίδων είναι η επιβίωση των μεγαλύτερων ηλικιακά προνυμφών και το σχετικά αυξημένο μέγεθος αυτών (Dixon 1998).

Είναι πιθανό ότι τα αφιδοφάγα αρπακτικά γενικά έχουν παρόμοια δυναμική ελέγχου αποικιών αφίδων. Εμπειριστατωμένες μελέτες έχουν δείξει ότι κάποια είδη Syrphidae αποφεύγουν να ωοτοκούν σε αποικίες αφίδων που βρίσκονται σε οριακή κατάσταση έναρξης εκκένωσης (Kan & Sasakawa 1986). Κάποια άλλα Syrphidae κάνουν το ίδιο σε αποικίες που περιέχουν επίσης προνύμφες άλλων ειδών της ίδιας οικογένειας. Όπως στα Coccinellidae, έτσι και στα Chrysopidae τα τέλεια είναι απρόθυμα να ωοτοκήσουν σε περιοχές «μολυσμένες» από χημικούς διεγέρτες που δηλώνουν προνυμφική παρουσία (Ruzicka 1994).

Τεχνικές δειγματοληψίας αφίδων

Η αξιολόγηση των πληθυσμών των αφίδων στις καλλιέργειες εμπεριέχει μερικές ειδικές δυσκολίες, που προκύπτουν από τις αλληλοεπικαλυπτόμενες γενιές, από την ταχύτατη αύξηση και εξάπλωση των αποικιών, από την τάση να αυξάνονται οι μικρές συναθροίσεις αφίδων και από την ικανότητα των πτερωτών μορφών να διασπείρονται. Όλοι αυτοί οι παράγοντες προκαλούν αστάθεια στη χωροταξική κατανομή των πληθυσμών των αφίδων (Dixon 1998).

Οι ερευνητές που μελετούν τη βιολογία των αφίδων ενδιαφέρονται για τη χωροταξική τους κατανομή και την εξέλιξή τους στο χρόνο, καθώς και για τις σχέσεις μεταξύ πληθυσμιακής πυκνότητας και απόδοσης της καλλιέργειας. Επομένως, πρέπει να χρησιμοποιούν εντατικές και επίπονες μεθόδους που απαιτούν υψηλό βαθμό ακρίβειας

για την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Αντίθετα, οι επόπτες που ενδιαφέρονται μόνο για τη φυτοπροστασία αρκούνται μόνο σε μία γρήγορη εκτίμηση των επιπέδων πληθυσμών των αφίδων. Ενίοτε αποσκοπούν μόνο σε μία λήψη απόφασης για το αν η οικονομική ουδός έχει προσεγγιστεί ή όχι. Συνεπώς, δε χρειάζεται πάντα λεπτομέρεια στη μέτρηση, αλλά απλοποιημένη μεθοδολογία. Οι δύο αυτές απόψεις αποτελούν διαδοχικά βήματα σε μία βασική και εφαρμοσμένη ερευνητική διαδικασία. Αντίστροφα, κάθε τεχνική δειγματοληψίας είναι ακόμη αρκετά εμπειρική και εξαρτάται κυρίως από την επιλογή και υλοποίηση του σχεδίου δειγματοληψίας (Robert *et al.* 1988).

Βασικοί τύποι δειγματοληψίας αφίδων και εντόμων εν γένει είναι η τυχαία δειγματοληψία (random sampling), η συστηματική δειγματοληψία (systematic sampling) και η διαδοχική δειγματοληψία (sequential sampling) (Southwood 1978, Robert *et al.* 1988), που παρουσιάζονται εκτενέστερα σε επόμενη παράγραφο.

Θεμελιώδεις οικολογικές διεργασίες και οι συνέπειές τους στις κατανομές δειγμάτων αφίδων

Οι καλλιέργειες αποικίζονται από πτερωτές αφίδες που προσγειώνονται ανεξάρτητα και όταν αναφέρεται σε μικρή περιοχή, η χωροταξική τους κατανομή θεωρείται ότι είναι τυχαία. Παρ' όλα αυτά, σε μεγάλες εκτάσεις που περιλαμβάνουν την επιρροή των άκρων και τυχόν φρακτών στην καλλιέργεια, καθώς και άλλες πηγές ετερογένειας είναι δυνατό να παρατηρηθούν στα πρότυπα της προσβολής των αφίδων. Επιπλέον, η ανάπτυξη αποικιών γύρω στα σημεία προσγείωσης πτερωτών αφίδων, οδηγεί συνήθως σε χωροταξικές δομές ομαδοποιημένης (aggregated, Southwood 1978) ή αλλιώς συναθροιστικής (Λυκάκης 1996) κατανομής. Αυτές οι αρχικές συναθροίσεις ατόμων τείνουν να εξαπλώνονται με τρεις διακριτούς τρόπους, ήτοι μετακινήσεις άπτερων επάνω στα αρχικά φυτά, πτερωτών από φυτό σε φυτό, δημιουργώντας δευτερογενείς εστίες, και μετακίνηση αφίδων που γεννήθηκαν στις αρχικές αποικίες. Τελικά, όταν συμβαίνει μια πληθυσμιακή έξαρση, μια ομοιόμορφη (ή αλλιώς ομοιομερής, Λυκάκης 1996) κατανομή των εντόμων μπορεί να προέλθει από συναθροίσεις που συνενώνονται και από εξειδικευμένα πρότυπα συμπεριφοράς. Στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, ο χαρακτήρας ομαδοποίησης τείνει να ελαττώνεται, καθώς η δομή των αποικιών αφίδων αρχίζει να εκφυλίζεται μέσω της πίεσης των φυσικών εχθρών, της παραγωγής πτερωτών και άλλων ρυθμιστικών παραγόντων. Αυτή η

συνολική εικόνα ισχύει γενικά για τα περισσότερα είδη αφίδων που προσβάλλουν ετήσιες καλλιέργειες, αλλά με πολλές παραλλαγές. Αυτή προσφέρει μεγαλύτερη κατανόηση του ερωτήματος γιατί οι κατανομές αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου μέσα σε μία καλλιεργητική περίοδο και γιατί τα πρωτόκολλα δειγματοληψιών πρέπει να τροποποιούνται ανάλογα. Αυτό έχει αποδειχθεί ότι συμβαίνει τόσο σε φυσικούς πληθυσμούς, όσο και σε τεχνητά εγκατεστημένες αποικίες. Κατά την αρχική φάση της προσβολής της καλλιέργειας η κατανομή των αριθμών των αφίδων ανά δειγματοληπτική μονάδα συχνά ακολουθεί την κατανομή Poisson, ακόμη και σε δενδρώδεις καλλιέργειες. Αυτή η περίοδος διαρκεί συνήθως 2-3 εβδομάδες. Καθώς οι αποικίες αυξάνονται σε όγκο, οι κατανομές τείνουν να γίνονται σύνθετες, και συνήθως σχετίζονται με το λογαριθμικό μοντέλο Poisson, με πιο γνωστό αυτό της αρνητικής διωνυμικής κατανομής. Στο τέλος της προσβολής και κατά τις εξάρσεις, είναι δυνατό η κατανομή να ταιριάζει απευθείας με σειρές κανονικών κατανομών, όπως είναι η κανονική ή η κανονική λογαριθμική. Αλλά αυτές οι περιπτώσεις είναι σπάνιες και συμβαίνουν αργά στην περίοδο· είναι ακόμη πρόσκαιρες και χωρίς πρακτικό ενδιαφέρον (Robert *et al.* 1988).

Σχέσεις μέσου όρου και διακύμανσης

Μια λεπτομερής γνώση του τύπου της κατανομής είναι συχνά χρήσιμη. Ένα προσεγγιστικό μοντέλο είναι ενδιαφέρον, μόνο αν εμπλέκεται η παράμετρος πυκνότητα με μεγάλη ακρίβεια. Σε αυτή την περίπτωση, είναι αρκετή η γνώση της συσχέτισης της διακύμανσης με το μέσο όρο, για να αναπτυχθεί ένα σχέδιο δειγματοληψίας. Π.χ. η κατανομή Poisson καταλήγει σε μία συσχέτιση $s^2 = \mu$, με την κατανομή σύμφωνα με την εξίσωση του Taylor (1961, 1965, 1970) να είναι η κλασικότερη εφαρμογή ($s^2 = a\bar{x}^b$). Η τελευταία έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον σε μελέτες αφίδων, με κύριο παράδειγμα αυτό της *A. fabae* (Taylor 1970), καθώς και άλλων ειδών αφίδων σιτηρών.

Δυναμική πληθυσμών της αφίδας *Aphis gossypii*

Παγκόσμιες μελέτες

Η παγκόσμια βιβλιογραφία έχει να επιδείξει αρκετές μελέτες για τη διερεύνηση της δυναμικής πληθυσμών και της βιολογίας της *A. gossypii* στο βαμβάκι. Το 1990-91 στη Λουιζιάνα (περιοχές Stoneville και Greenville) των Η.Π.Α. οι μηνιαίες

δειγματοληψίες (O'Brien *et al.* 1993) έδειξαν ότι η αύξηση των πληθυσμών σχετίζεται περισσότερο με την έναρξη της άνθησης παρά με πρώιμους ψεκασμούς. Επίσης, ο μύκητας *Neozygites fresenii* (Nowakowski) επέδρασε σημαντικά στη μείωση των πληθυσμών αμέσως μετά την έναρξη αύξησής τους, ιδίως στα μέσα προς τα κατώτερα τμήματα των φυτών. Επίσης, σε φυτά σε δύο αγρούς με τις ποικιλίες “DES 119” και “DPL 50” βρέθηκε ότι οι πληθυσμοί των αφίδων αυξήθηκαν απότομα περί τα τέλη Ιουνίου-αρχές Ιουλίου (έναρξη άνθησης) και συνεχίστηκαν μέχρι τα μέσα Αυγούστου, ανεξάρτητα από την εφαρμογή ή όχι εντομοκτόνων, γεγονός που υποδηλώνει ότι η φαινολογία του φυτού μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο στις πληθυσμιακές εξάρσεις των αφίδων. Επίσης, βρέθηκε ότι η κατανομή των πληθυσμών των αφίδων στο φυτό ήταν σημαντικά υψηλότερη στα μέσα της κόμης για όλη την περίοδο, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον τρόπο και χρόνο ενδεχόμενων χημικών επεμβάσεων. Εξάλλου, το ευνοϊκότερο μικροπεριβάλλον σε τέτοια σημεία της κόμης για μυκητολογικές προσβολές των αφίδων είναι δυνατό να συνεισφέρει στη φυσική ρύθμιση των πληθυσμών αφίδων. Οι Celini & Vaillant (2004), σε μελέτη της χωρο-χρονικής κατανομής πληθυσμών της *A. gossypii* για τέσσερα έτη στο *G. hirsutum* στην περιοχή Bangui (Κ. Αφρική), βρήκαν ότι η χρονική εξέλιξη του αριθμού των αφίδων ακολούθησε μη γραμμική συμμεταβολή και έδειξε μια ταχύτατη αύξηση των πληθυσμών κατά τις πρώτες οκτώ εβδομάδες της καλλιέργειας του βαμβακιού. Η υπερδιασπορά (overdispersion) των αφίδων βρέθηκε να είναι σημαντική κατά τη διάρκεια σχεδόν όλης της περιόδου. Οι ίδιοι συγγραφείς μελέτησαν τρία μοντέλα διασποράς πληθυσμών: Το μοντέλο του Iwao και ο νόμος του Taylor περιγράφουν τη σχέση μεταξύ της μέσης τιμής (m) και της διασποράς (σ^2) των αφίδων, και αυτό του Nachman τη συνάρτηση της μέσης τιμής με το ποσοστό (p) των μη προσβεβλημένων φυτών βαμβακιού από αφίδες. Η ομαδοποίηση των αφίδων αυξάνεται με την πληθυσμιακή πυκνότητα, ενώ τα τέσσερα έτη της μελέτης αποδεικνύουν τη σταθερότητα του μοντέλου του Taylor. Το μοντέλο $\sigma^2 = 45m^{1.3}$ συνιστάται, όταν οι περιβαλλοντικές και καλλιεργητικές συνθήκες είναι παρόμοιες με αυτές της παρούσας μελέτης.

Μελέτες σε ελληνικούς πληθυσμούς

Η αφίδα *A. gossypii* αποτελεί συχνά σοβαρό εχθρό του βαμβακιού στην Ελλάδα. Τα πρόβλημα φαίνεται να σχετίζεται με την αλόγιστη εφαρμογή αφιδοκτόνων και

εντομοκτόνων που προορίζονται για άλλους εχθρούς της καλλιέργειας, αλλά έχει επιβλαβείς συνέπειες πάνω στους πληθυσμούς των φυσικών εχθρών της αφίδας *A. gossypii*. Πτερωτές μορφές της αφίδας προσβάλλουν τα νεαρά φυτά βαμβακιού περί τα μέσα Μαΐου και στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου παράγονται αρκετές αλληλοεπικαλυπτόμενες γενιές άπτερων μορφών. Οι πτερωτές μορφές παράγονται είτε κατά το τέλος της περιόδου, οπότε τα γερασμένα φυτά δεν προτιμώνται από τις αφίδες, οι οποίες αλλάζουν ξενιστές, είτε σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή που η πυκνότητα των πληθυσμών των αφίδων αυξάνεται υπερβολικά.

Σε μελέτη δυναμικής πληθυσμών της αφίδας σε αγρούς βαμβακιού στη Μαγνησία κατά τα έτη 1992-1997 (Karatos *et al.* 1998) φάνηκε σε όλες τις περιπτώσεις απότομη αύξηση των πληθυσμών των αφίδων μετά την εγκατάσταση της καλλιέργειας και σε πρώιμα στάδια ανάπτυξης των φυτών (τέλη Μαΐου). Στη συνέχεια, και έως τα μέσα Ιουλίου, οι πληθυσμοί ήταν σχετικά χαμηλοί, ενώ στη συνέχεια ακολούθησαν σταδιακή αύξηση με αποκορύφωμα στα μέσα Αυγούστου. Κατά το υπόλοιπο διάστημα μέχρι και τα τέλη Οκτωβρίου, η δυναμική των πληθυσμών εξαρτήθηκε από τις εφαρμογές ευρέως φάσματος εντομοκτόνων (κυρίως πυρεθρινών) εναντίον του ρόδινου σκόληκα σε παρακείμενους αγρούς. Κατά τα έτη 1994-1995, που πραγματοποιήθηκαν τρεις ή τέσσερις τέτοιοι ψεκασμοί, οι πληθυσμοί των αφίδων διατηρήθηκαν μέχρι και το τέλος της περιόδου σε υψηλά επίπεδα. Σε αντίθετες περιπτώσεις, οι πληθυσμοί ελαττώθηκαν από τα τέλη Αυγούστου και σταδιακά μηδενίστηκαν.

Στο πιο πάνω παράδειγμα, εκτιμάται ότι δύο κυρίως παράγοντες έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη δυναμική των πληθυσμών των αφίδων στους παραπάνω αγρούς: 1. Η δράση των αρπακτικών (κυρίως Coccinellidae και Anthocoridae) και 2. Οι δευτερογενείς προσβολές των αγρών από πτερωτές αφίδες προερχόμενες από παρακείμενους αγρούς ή άλλους ξενιστές.

Ανάπτυξη στρατηγικών δειγματοληψίας και ανάλυσης δεδομένων πληθυσμών αφίδων

Γενικά

Η δειγματοληψία αφίδων παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα για μία σειρά αιτιών, μία από τις οποίες είναι η συχνά ασταθής και συσσωρευτική χωροταξική κατανομή, που για την πλειονότητα των πληθυσμιακών πυκνοτήτων περιγράφεται από το

μοντέλο της αρνητικής διωνυμικής κατανομής (negative binomial model, Robert *et al.* 1988). Μελέτες σχετικές με την ανάπτυξη προγράμματος δειγματοληψίας αφίδων έχουν γίνει για αρκετά είδη αφίδων, όπως είναι οι αφίδες σιτηρών (Dean 1973, Feng & Nowierski 1992), ζαχαρότευτλου (Sylvester & Cox 1961), σέλινου (Godfrey & Chaney 1995), πεύκου (Chilima & Leather 2001), οι αφίδες *A. fabae* (Taylor 1970), *Acyrtosiphon pisum* (Harris) και *Therioaphis trifolii* f. *maculata* (Monell) (Pennachio & Tremblay 1986) και άλλες, οι οποίες αφορούσαν κυρίως στη χωροταξική κατανομή και δυναμική (π.χ. Celini & Vaillant 2004) των πληθυσμών των αφίδων και στην ανάπτυξη διαδοχικής δειγματοληψίας (sequential sampling). Ειδικά για την αφίδα *A. gossypii* λίγα δεδομένα είναι διαθέσιμα τόσο για την Ελλάδα, όσο και παγκοσμίως σχετικά με την ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών προγραμμάτων δειγματοληψίας, και γενικότερα πληθυσμιακών μελετών. Σχετική μελέτη είναι αυτή των Karatos *et al.* (1996).

Μελέτες ελληνικών πληθυσμών στο βαμβάκι

Στην Ελλάδα, στα πλαίσια μελέτης των Karatos *et al.* (1996), έγινε προσπάθεια ανάπτυξης ενός σχεδίου βασιζόμενου στη μέθοδο της τυχαίας δειγματοληψίας (stratified random sampling technique) για τη μελέτη της δυναμικής πληθυσμών της αφίδας στο βαμβάκι. Πληθυσμιακές μελέτες της αφίδας αυτής έχουν πραγματοποιηθεί στην Κεντρική Ελλάδα, με σκοπό να παρέχουν τη βάση για ανάπτυξη στρατηγικών ολοκληρωμένης διαχείρισης εχθρών. Όπως ισχύει γενικά στις καλλιέργειες, τέτοιες μελέτες απαιτούν τεχνικές δειγματοληψίας που ελαχιστοποιούν το κόστος και εξασφαλίζουν την αξιοπιστία της εκτίμησης του πληθυσμού.

Στην παραπάνω εργασία βρέθηκε ότι η κατανομή των πληθυσμών της αφίδας στο φυτό δεν είναι τυχαία σε σχέση με το ύψος. Στην αρχή και το τέλος της περιόδου (Μάιος-Ιούνιος, Οκτώβριος) τα ανώτερα τμήματα του φυτού είναι εντονότερα προσβεβλημένα από ό,τι τα κατώτερα, αλλά αυτή η σχέση αλλάζει περί τα μέσα καλοκαιριού (Ιούλιος-Αύγουστος). Επομένως, τα δείγματα για την εκτίμηση της μέσης πληθυσμιακής πυκνότητας πρέπει να λαμβάνονται ανάλογα με το ύψος του φυτού. Το βέλτιστο μέγεθος της δειγματοληπτικής μονάδας βρέθηκε να είναι τα δέκα φύλλα, αλλά στην αρχή της περιόδου, όταν ο αριθμός των φύλλων ανά φυτό είναι μικρός, πρέπει να υιοθετείται μικρότερη δειγματοληπτική μονάδα, ή ακόμη ολόκληρο το φυτό να θεωρείται ως μονάδα. Ο αριθμός των απαιτούμενων δειγμάτων για μία επιθυμητή

ακρίβεια προσέγγισης (π.χ. 10% του τυπικού σφάλματος) βρέθηκε να σχετίζεται ισχυρά με την πληθυσμιακή πυκνότητα, και συγκεκριμένα λιγότερα δείγματα αρκούν σε υψηλές πυκνότητες. Αυτό είναι το αποτέλεσμα μεταξύ της μέσης τιμής και της διακύμανσης της πληθυσμιακής πυκνότητας, όπως αυτό εκφράζεται από την τιμή του συντελεστή b στην έκφραση του νόμου του Taylor (Taylor's power law: $s^2 = a \bar{x}^b$). Σε χαμηλές πυκνότητες, η υιοθέτηση του παραπάνω επιπέδου ακριβείας προσέγγισης οδηγεί σε πολύ υψηλά επίπεδα δειγμάτων, άρα μικρότερη ακρίβεια πρέπει να γίνεται αποδεκτή.

Μελέτες χωροταξικής κατανομής της αφίδας *Aphis gossypii*

Η χωροταξική κατανομή έχει μελετηθεί για πολλά είδη αφίδων (Taylor 1970, Dean 1973, Godfrey & Chaney 1995, Winder *et al.* 1999, Nault *et al.* 2004), ενώ για την *A. gossypii* οι Karatos *et al.* (1994-1998) αναφέρουν πληροφορίες για πληθυσμούς της Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα, σε φυτεία βαμβακιού μελετήθηκε η χωροταξική κατανομή χρησιμοποιώντας τρεις δείκτες: Το νόμο του Taylor (1961), την παράμετρο k της αρνητικής διωνυμικής κατανομής (Elliot 1977) και το δείκτη διασποράς (I_d) του Morisita (1962). Εκφράστηκαν απόψεις σχετικά με την πιθανή σχέση των αλλαγών στη χωροταξική κατανομή του πληθυσμού κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και σε σχέση με την πυκνότητα και τη δράση της φυσικής θνησιμότητας. Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής δείχνουν ότι η διασπορά των ατόμων της αφίδας στο βαμβάκι στις περισσότερες περιπτώσεις ακολουθεί την αρνητική διωνυμική κατανομή (negative binomial distribution) με τις τιμές του k να διαφέρουν ανάλογα με τη μέση πυκνότητα πληθυσμού, γεγονός που επιβεβαιώνει τη χρήση του k για την περιγραφή των αλλαγών της χωροταξικής κατανομής των πληθυσμών του *A. gossypii*. Η γραφική αναπαράσταση της σχέσης μεταξύ του k και της μέσης πυκνότητας του πληθυσμού είναι συνήθως καμπύλη (Taylor *et al.* 1979), όμως το τμήμα της καμπύλης πάνω από μια συγκεκριμένη πυκνότητα πληθυσμού ανά φύλλο (ένα άτομο), που αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγματοληπτικών περιπτώσεων, δείχνει ότι είναι συνήθως γραμμική (Karatos *et al.* 1996). Γι' αυτό, εκφράζεται επιφύλαξη για το ακριβές σχήμα της καμπύλης, αν και αυτή η σχέση δείχνει μια μείωση στο βαθμό συνάθροισης (aggregation), καθώς η πυκνότητα πληθυσμού αυξάνεται από πολύ χαμηλές τιμές έως περίπου δύο άτομα ανά φύλλο. Σε υψηλότερες πυκνότητες ο βαθμός συνάθροισης αυξάνεται σημαντικά. Έτσι, η ένταση της συνάθροισης είναι μικρότερη σε μέσες

πληθυσμιακές πυκνότητες από ό,τι σε χαμηλές και υψηλές. Εξαιτίας της ισχυρής αλληλοσυσχέτισης μεταξύ του k και της μέσης πυκνότητας (Karandinos 1976, Southwood 1978), ο υπολογισμός ενός «κοινού» k (k_c) δεν είναι εφικτός, όπως σε άλλες περιπτώσεις (Taylor 1984).

Η βιολογική ερμηνεία της χωροταξικής κατανομής ενός είδους σε συνθήκες αγρού είναι πάντα δύσκολη εξαιτίας παραγόντων περιβάλλοντος και συμπεριφοράς αφίδων, οι οποίοι δεν είναι μετρήσιμοι, αλλά μόνο περιγράφουν την κατάσταση ενός πληθυσμού. Οι διαφορές στην πυκνότητα έως ένα συγκεκριμένο όριο (δύο άτομα ανά φύλλο) αντικατοπτρίζουν κυρίως το διαφορετικό μέγεθος αποικισμού των φύλλων από ιπτάμενα άτομα άλλων αγρών, αλλά πιθανότατα τα υψηλά ποσοστά θνησιμότητας κρατούν χαμηλό τον πληθυσμό στα προσβεβλημένα φύλλα (Karatos *et al.* 1996). Το γεγονός αυτό εξηγεί τη μείωση της συνάθροισης σε περιόδους με χαμηλές πληθυσμιακές πυκνότητες. Σε μερικές περιόδους (π.χ. Ιούνιο και μέσα Αυγούστου) όμως οι συνθήκες για την ανάπτυξη ενός πληθυσμού είναι ιδανικές, λόγω π.χ. της χαμηλής θνησιμότητας, κατάσταση που ευνοεί τη δημιουργία αποικιών σε ήδη προσβεβλημένα φύλλα, και εξαιτίας της «διάχυσης» της προσβολής δεν είναι αξιοπρόσεκτες, εκτός και αν υπάρξει σύγχρονη αύξηση του πληθυσμού και του βαθμού συνάθροισης (αύξηση αποικιών).

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων των Karatos *et al.* (1994-1998) δίνουν μια πρώτη ένδειξη ότι σε απουσία χημικής καταπολέμησης η περιβαλλοντική πίεση πάνω στην αφίδα του βαμβακιού είναι πολύ μεγάλη και δεν επιτρέπει τη δημιουργία αποικιών. Στο τέλος του βιολογικού κύκλου του βαμβακιού, όταν η προστασία απέναντι σε εχθρούς του καρυδιού παύει και η καλλιέργεια είναι ασφαλής, υπάρχει γενικά μια ανανέωση στον πληθυσμό των αφίδων που προκαλείται από παραμένοντες πληθυσμούς κάτω από τα φύλλα στο κάτω και το μεσαίο μέρος, εκεί όπου η θρεπτική αξία μειώνεται. Τα έντομα μεταναστεύουν προς τα άκρα και προς τα φύλλα, όπου βρίσκουν ικανοποιητικής θρεπτικής αξίας χυμούς. Έτσι, όμως, προκαλούν σημαντική ζημιά στις ίνες εξαιτίας των μελιτωδών απεκκριμάτων που αφήνουν (Leclant & Deguine 1994).

Η κατανομή της *A. gossypii* πάνω σε ένα φυτό δεν είναι τυχαία όσον αφορά το ύψος, αλλά δεν παρατηρήθηκε και κάποια σταθερή σχέση του εντόμου με κάποιο συγκεκριμένο μέρος του φυτού κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Στα μέσα του καλοκαιριού, όταν η θερμοκρασία είναι συνήθως υψηλή, το χαμηλότερο τμήμα του

φυτού είναι πιο πολύ προσβεβλημένο από το πάνω μέρος (Karatos *et al.* 1996). Σε άλλες όμως περιόδους, και ειδικότερα στο ξεκίνημα της καλλιεργητικής περιόδου (αργά το Μάιο ή αρχές Ιουνίου) η αύξηση των πληθυσμών της αφίδας γίνεται κυρίως στα πολύ μικρά φύλλα του πάνω μέρους των φυτών. Πολλοί παράγοντες θα μπορούσαν να είναι υπεύθυνοι γι' αυτό το φαινόμενο, όπως είναι η διαφορετική επιβίωση και το αναπαραγωγικό δυναμικό ή η διασπορά-αποικισμός. Αλλά όποιοι και αν είναι αυτοί, η εφαρμογή για τη στρατηγική δειγματοληψίας είναι η ίδια. Τα δείγματα κάποιες φορές λαμβάνονται αναλογικά με το ύψος του φυτού (Karatos *et al.* 1996).

Στην τυχαία (simplified random sampling) ή στρωματοποιημένη τυχαία (stratified random sampling) δειγματοληψία από τα διάφορα μεγέθη των δειγματοληπτικών μονάδων, αυτή των δέκα φύλλων βρέθηκε ότι ελαχιστοποιεί τη διακύμανση στις περισσότερες των περιπτώσεων (Karatos *et al.* 1996). Ο γενικός κανόνας είναι: Όσο μικρότερη είναι η δειγματοληπτική μονάδα, τόσο πιο υψηλή είναι η ακρίβεια για την ίδια τιμή (Southwood 1978). Φαίνεται όμως ότι αυτός ο κανόνας δεν ισχύει σε αυτή την περίπτωση, πιθανότατα διότι με πολύ μικρό δείγμα (π.χ. τέσσερα φύλλα ανά φυτό) ο αριθμός των δειγματοληπτικών μονάδων με κανένα άτομο αφίδας αυξάνεται, και μαζί αυξάνεται και η διακύμανση. Στην αρχή της περιόδου, για παράδειγμα, όταν ο αριθμός των φύλλων ανά φυτό είναι πολύ μικρός, μια μικρότερη δειγματοληπτική μονάδα μπορεί να υιοθετηθεί, ή ακόμη καλύτερα ολόκληρο το φυτό να θεωρηθεί δειγματοληπτική μονάδα (Southwood 1978, Karatos *et al.* 1996). Οι παράμετροι που καθορίζουν το βέλτιστο αριθμό δειγμάτων είναι ο μέσος όρος και η διακύμανση της πυκνότητας πληθυσμού, οποιαδήποτε μέθοδος και αν ακολουθηθεί (Karandinos 1976), ενώ ο γενικός κανόνας είναι: Όσο μικρότερη είναι η δειγματοληπτική μονάδα, τόσο πιο υψηλή είναι η ακρίβεια για την ίδια τιμή (Southwood 1978).

Μοντέλα περιγραφής αλληλεπιδράσεων λείας-αρπακτικού

Γενικά - Οικολογία - Αύξηση πληθυσμών εντόμων

Σε έναν πληθυσμό εντόμων η ποσοτική ανάλυση των χαρακτηριστικών των πληθυσμών ιδιαίτερα σε σχέση με την αύξησή του, την επιβίωση και την κίνησή του καλείται δημογραφία και σκοπό έχει την ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών των πληθυσμών με τη μορφή *ειδικών πινάκων ζωής*. Ο Malthus (1798) αναφέρει γενικευμένα

ότι οι πληθυσμοί αυξάνονται με γεωμετρική πρόοδο, σε αντίθεση με την τροφή που αυξάνεται κατά αριθμητική πρόοδο, με αποτέλεσμα να αυξάνεται περισσότερο ο πληθυσμός σε σχέση με τους διαθέσιμους πόρους, έως ένα σημείο, και τελικά αυτός να χάνεται. Η αύξηση ενός πληθυσμού (N) εντόμου κατά ένα σταθερό παράγοντα στη μονάδα του χρόνου (t) εκφράζεται γενικά με τη γνωστή διαφορική εξίσωση:

$$\frac{dN}{dt} = rN$$

όπου N είναι ο αριθμός ατόμων σε έναν πληθυσμό και r ο ενδογενής (στιγμιαίος) ρυθμός αύξησης (Luck 1984, Price 1997). Η γρήγορη αυτή αύξηση ελέγχεται από παράγοντες θνησιμότητας (π.χ. αρπακτικά, παράσιτα, καιρός) ή από μειωμένο αναπαραγωγικό δυναμικό. Ο παράγοντας r όμως τροποποιείται κατά παράγοντα, που μειώνεται με την αύξηση του πληθυσμού μέχρι του σημείου που μπορεί να υπάρξει επιβίωση με την υπάρχουσα τροφή (φέρουσα δυναμικότητα ή βιοχωρητικότητα, K) και έτσι η εξίσωση γράφεται ως εξής:

$$\frac{dN}{dt} = rN\left(1 - \frac{N}{K}\right)$$

η οποία εκφράζεται με μια σιγμοειδή ή λογιστική καμπύλη (Luck 1984, Price 1997).

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι ανάλυσης των πινάκων ζωής για την εκτίμηση της επίδρασης των διαφόρων ενδογενών και εξωγενών πηγών θνησιμότητας πάνω στο ρυθμό της αύξησης του πληθυσμού, όπως είναι οι πίνακες ζωής ειδικών ηλικιών (age-specific life-tables) για το εργαστήριο και τον αγρό, η ανάλυση των παραγόντων κλειδιών (key-factor analysis) και οι πίνακες ζωής ποικίλλοντος χρόνου. Στους πίνακες ζωής εργαστηρίου η δράση των βιολογικών συνήθως παραμέτρων δε λαμβάνεται υπόψη· γι' αυτό και η χρήση τους περιορίζεται σε θεωρητικές μελέτες. Στον αγρό επιζητείται διαχωρισμός παραγόντων θνησιμότητας, που επιδρούν σε ένα είδος και γι' αυτό η αντίστοιχη ανάλυση περιλαμβάνει λεπτομερείς δειγματοληψίες με καταγραφή των νεκρών ατόμων και των αιτίων θανάτου. Η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως σε έντομα χωρίς διακριτές επικαλυπτόμενες γενιές. Σε περίπτωση επικαλυπτόμενων γενιών (π.χ. αφίδες) χρησιμοποιείται η ανάλυση της σχέσης μεταξύ έντασης των παραγόντων και της πυκνότητας του ξενιστή (mortality factor-analysis) και ανάλυση που αποσυνδέει τις δράσεις γέννησης-θανάτου και αναπτύσσει μοντέλα για τη δυναμική των πληθυσμών του

είδους (μοντέλα δυναμικής πληθυσμών). Τα μοντέλα δεν έχουν εφαρμοστεί στο χωράφι, αλλά δίνουν μια ιδέα του τι μπορεί να συμβαίνει στους πληθυσμούς με αλληλεπιδράσεις. Είναι όμως αμφίβολης χρησιμότητας για ανάλυση πληθυσμών αγρού.

Μοντέλο Lotka-Volterra

Από τα μοντέλα περιγραφής αλληλεπιδράσεων λείας-αρπακτικού αυτό των Lotka-Volterra απαντάται συνηθέστερα σε θεωρητικές μελέτες αγρού. Οι Lotka (1925) και Volterra (1926) ανεξάρτητα ανέπτυξαν τα πρώτα μοντέλα που πραγματεύονταν εξειδικευμένα την αλληλεπίδραση αρπακτικού-λείας. Υπέθεσαν ότι: 1. Ο ρυθμός μεταβολής του πληθυσμού (N_1) της λείας (dN_1/dt) είναι συνάρτηση του ενδογενούς ρυθμού αύξησής του (r) και του ρυθμού με τον οποίο η λεία αφαιρείται από τον πληθυσμό ($\gamma_1 N_1 N_2$) και 2. Ο ρυθμός μεταβολής του πληθυσμού (N_2) του αρπακτικού (dN_2/dt) είναι συνάρτηση του ρυθμού θανάτων του αρπακτικού σε απουσία λείας ($-d$), καθώς και του ενδογενούς ρυθμού αύξησης του πληθυσμού του αρπακτικού ανά μονάδα καταναλισκόμενης λείας ($\gamma_2 N_1 N_2$). Η σταθερά γ_1 εκφράζει το ποσοστό των επαφών μεταξύ λείας-αρπακτικού, που αποδεικνύονται θανάσιμες για τη λεία, ή αλλιώς το μέτρο της ικανότητας άμυνας της λείας, και η σταθερά γ_2 εκφράζει την ικανότητα με την οποία το αρπακτικό μετατρέπει την καταναλωθείσα λεία σε απογόνους του ή αλλιώς την αποτελεσματικότητα της επιθετικότητας (offence) του αρπακτικού (Volterra 1926). Έτσι, οι αντίστοιχες εξισώσεις γράφονται ως εξής:

$$\frac{dN_1}{dt} = rN_1 - \gamma_1 N_1 N_2 \quad \text{και} \quad \frac{dN_2}{dt} = -dN_2 + \gamma_2 N_1 N_2.$$

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι το περιγραφέν μοντέλο βασίζεται σε έναν αριθμό απλοποιημένων υποθέσεων επιπροσθέτως με αυτές της απλής λογιστικής εξίσωσης. 1. Σε κατάσταση απουσίας θήρευσης, ο πληθυσμός της λείας αυξάνεται εκθετικά και απεριόριστα. 2. Ο ρυθμός θανάτων ($-d$) των αρπακτικών είναι σταθερός και ανεξάρτητος από την πυκνότητα και την ηλικία. 3. Η αποτελεσματικότητα σύλληψης της λείας είναι ανεξάρτητη από την ηλικία του αρπακτικού ή της λείας. 4. Η αποτελεσματικότητα της μετατροπής της καταναλωθείσας λείας σε απογόνους αρπακτικού είναι σταθερή και ανεξάρτητη από την ηλικία του αρπακτικού ή της λείας. 5. Οι κινήσεις

και οι επαφές μεταξύ λείας και αρπακτικού είναι τυχαίες. 6. Ο χρόνος που απαιτείται για την κατανάλωση της λείας είναι αμελητέος. 7. Η όρεξη του αρπακτικού είναι ακόρεστη (Luck 1984).

Το μοντέλο έχει δεχθεί κατά καιρούς πολλή κριτική (π.χ. Nicholson & Baily 1935, Luck 1984 κ.ά.) με τη σκέψη ότι είναι γενικευμένο και οι υποθέσεις του είναι αρκετά απλοϊκές. Η ανάλυση του μοντέλου αυτού δείχνει ότι είναι ουδέτερα σταθερή. Το μοντέλο όμως αυτό παρέχει ελάχιστη πληροφορία για τους εμπλεκόμενους μηχανισμούς αλληλεπιδράσεων και δεν εμπλέκει καθόλου τη συμπεριφορά αναζήτησης λείας (searching behaviour). Παρ' όλα αυτά, είναι δυνατό να αποτελέσει μία βάση από την οποία να εξερευνώνται δυναμικοί μηχανισμοί αλληλεπιδράσεων (Luck 1984).

Άλλα μοντέλα

Εκτός από το μοντέλο των Lotka-Volterra, που αναφέρεται σε οργανισμούς των οποίων οι πληθυσμοί εμφανίζουν συνεχείς ρυθμούς αύξησης (π.χ. αφίδες ή ακάρεα), έχουν περιγραφεί και μοντέλα αλληλεπιδράσεων εντόμων με διακριτές γενιές κάθε έτος και αναπαραγωγή περιορισμένη σε δεδομένο χρονικό διάστημα. Τέτοιο μοντέλο είναι αυτό των Nicholson και Baily (Nicholson 1933, Nicholson & Baily 1935), που περιγράφει την αλληλεπίδραση πληθυσμών ξενιστή (λείας)-παρασιτοειδούς. Το μοντέλο θεωρεί ότι ένας πληθυσμός παρασιτοειδούς ψάχνει με τυχαίο και μη οργανωμένο τρόπο τις περιοχές που περιέχουν ξενιστές και ότι ο αριθμός των ξενιστών που απαντώνται είναι ευθέως ανάλογος με την επιφάνεια που ερευνάται από το παρασιτοειδές και την πυκνότητα του πληθυσμού του και αυτής του ξενιστή. Το μοντέλο θεωρείται ομόλογο αυτού των Lotka-Volterra (May 1973), ενώ και αυτό βασίζεται σε έναν αριθμό αρκετά απλοϊκών υποθέσεων (Luck 1984).

Τέλος, στη βιβλιογραφία έχουν περιγραφεί μοντέλα που ενσωματώνουν τη λειτουργική απόκριση (functional response, Solomon 1949) ενός αρπακτικού στην πυκνότητα θηράματος, δηλαδή τη συσχέτιση της καταναλισκόμενης λείας με τη διαθέσιμη. Τέτοιο μοντέλο είναι η εξίσωση του Holling ("*Holling's disc equation*", 1959). Το μοντέλο περιλαμβάνει ως παράγοντες τον αριθμό των ατόμων θηράματος που απαντώνται, τον αριθμό των διαθέσιμων, καθώς και το χρόνο που διατίθεται από το αρπακτικό, για να ψάξει (searching time) και να χειριστεί (handling time) τη λεία του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

Τα αρπακτικά των οικογενειών *Coccinellidae* και *Chrysopidae*

Γενικά

Τα αποτελέσματα του περιορισμού των αφίδων από εντομοφάγα έντομα σε ορισμένες περιπτώσεις υπήρξαν εντυπωσιακά. Αλλά τα ωφέλιμα έντομα δεν μπορούν να θεωρηθούν πλήρως υπεύθυνα για τη μείωση ακόμη και μέχρι μηδενισμού του πληθυσμού των αφίδων, αφού συνήθως οι πληθυσμοί τους δε συγχρονίζονται πλήρως. Είναι όμως δυνατό να συμβάλουν σημαντικά, καθώς και μόνο η συνεχής παρουσία τους μπορεί να εμποδίσει την αναγέννηση του πληθυσμού των αφίδων ή τον επαναποικισμό των φυτών. Αποτελεσματικά αρπακτικά θεωρούνται αυτά που καταναλώνουν αφίδες σε ικανοποιητική ποσότητα, ώστε να θεωρούνται σημαντικά για τη δυναμική του πληθυσμού των αφίδων (Frazer 1988).

Ανάμεσα στους πιο αποτελεσματικούς φυσικούς εχθρούς των αφίδων περιλαμβάνονται παρασιτοειδή Υμενόπτερα των οικογενειών Proctotrupidae, Chalcididae, Braconidae, Aphidiidae, αρπακτικά Νευρόπτερα των οικογενειών Chrysopidae και Hemerobiidae, αρπακτικά Δίπτερα των οικογενειών Syrphidae και Cecidomyiidae, αρπακτικά Κολεόπτερα των οικογενειών Coccinellidae, Carabidae, Staphylinidae. Περίπου 3500 είδη της οικογένειας Coccinellidae έχουν περιγραφεί παγκοσμίως. Η οικογένεια αυτή περιλαμβάνει κοινά και αποτελεσματικά αφιδοφάγα είδη (π.χ. *H. convergens* και *C. septempunctata*), που είναι σημαντικοί φυσικοί εχθροί σε πολλά αγροοικοσυστήματα. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν είναι όλα τα Coccinellidae αρπακτικά, καθώς ορισμένα είδη είναι αποκλειστικώς φυτοφάγα (Blackman 1974). Μία άλλη οικογένεια που περιλαμβάνει σημαντικά αρπακτικά είδη είναι η Chrysopidae (Neuroptera). Ανάμεσα σε αυτά, το είδος *Chrysoperla carnea* s.l. έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές και αποτελεί σημαντικό παράγοντα ελέγχου πληθυσμών αφίδων παγκοσμίως σε πολλές καλλιέργειες (Canard & Principi 1984).

Αρπακτικά Coccinellidae

Τα αρπακτικά Coccinellidae τρέφονται με διάφορα είδη εντόμων. Εκτός από έντομα της τάξης των Ομοπτέρων, συχνά τρέφονται και με νεαρές προνύμφες

Λεπιδοπτέρων, Κολεοπτέρων, Υμενοπτέρων κ.ά. Οι προνύμφες τρέφονται με το ίδιο θήραμα που κυνηγούν και τα τέλεια (Hodek 1973, Hodek & Honěk 1996). Συνήθως τα τέλεια επιλέγουν το είδος του θηράματος, καθώς οι προνύμφες είναι λιγότερο ευκίνητες και εμφανίζονται ανίκανες να επιλέξουν μεταξύ κατάλληλης και τοξικής τροφής (Blackman 1967). Επιπλέον, η επιλογή της τροφής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προτίμηση των τελείων ατόμων για ένα συγκεκριμένο φυσικό περιβάλλον. Όταν υπάρχει μικρό απόθεμα της κατάλληλης τροφής, τα τέλεια Coccinellidae είναι ικανά να μην τραφούν για ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, να προσλάβουν μόνο περιορισμένη ποσότητα τροφής, ή μπορούν να αλλάξουν και να στραφούν προς ένα διαφορετικό υποκατάστατο τροφής, που μπορεί να είναι είδος εντόμου ή είδος φυτικής προέλευσης. Ορισμένα είδη εντόμων δε γίνονται αποδεκτά ως τροφή από τα Coccinellidae, είτε γιατί περιέχουν ορισμένες ειδικές, δηλητηριώδεις ουσίες, είτε γιατί έχουν ανεπαρκή θρεπτική αξία. Όταν τα αποδεκτά έντομα δεν είναι αρκετά, η ωοτοκία σταματά ή μειώνεται, ενώ ένα ποσοστό προνυμφών, που ποικίλλει, πεθαίνει χωρίς να έχει ολοκληρώσει την ανάπτυξή του (Hodek & Honěk 1996). Η πολυφαγία των αρπακτικών Coccinellidae αναφέρεται στη σχέση τους με την αποδεκτή αλλά ποσοτικά ανεπαρκή τροφή. Στην πραγματικότητα εμφανίζουν μια εξειδίκευση όσον αφορά στη βασική τους τροφή, η οποία επιτρέπει την πλήρη ανάπτυξη και ωοπαραγωγή (Hodek 1973, Hodek & Honěk 1996).

Κανιβαλισμός: Είναι δυνατόν άτομα του ίδιου ή και διαφορετικών ειδών Coccinellidae να χρησιμεύσουν ως εναλλακτική τροφή ελλείψει άλλου θηράματος. Κυρίως καταναλώνονται αβγά ή ευάλωτα άτομα, που μόλις έχουν βγει από τη νύμφωση. Αυτό το χαρακτηριστικό εμποδίζει τη μαζική παραγωγή των Coccinellidae, καθώς οι προνύμφες, μόλις βγουν από το αβγό, πρέπει να απομονώνονται. Ο κανιβαλισμός αυξάνει τις πιθανότητες επιβίωσης των προνυμφών, όταν υπάρχει πολύ χαμηλή πυκνότητα θηραμάτων, και παρατείνει το διαθέσιμο χρόνο αναζήτησης αφίδων από τις νεαρές προνύμφες (Hodek & Honěk 1996).

Ανταπόκριση στην πυκνότητα θηραμάτων: Η κατανάλωση αφίδων φαίνεται πως συσχετίζεται θετικά με την πληθυσμιακή πυκνότητά τους, εντός κάποιων ορίων. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι όταν οι πληθυσμοί των αφίδων είναι αυξημένοι, απομένει ένα μεγαλύτερο ποσοστό αφίδων που καταναλώθηκαν μόνο τμηματικά. Έχει

παρατηρηθεί πως τα πεινασμένα αρπακτικά τρώγουν τις πρώτες αφίδες που συναντούν ολόκληρες, ενώ εκμεταλλεύονται τα επόμενα θηράματα σε μειωμένο σταδιακά βαθμό. Επίσης, όταν υπάρχει αφθονία θηραμάτων, οι προνύμφες είναι δυνατόν να καταναλώνουν σημαντικά περισσότερες αφίδες από τις ελάχιστες που απαιτούνται για την ανάπτυξή τους (Hodek 1973, Hodek & Honěk 1996).

Συμπεριφορά αναζήτησης τροφής: Η συμπεριφορά αναζήτησης τροφής των Coccinellidae είναι ο κύριος παράγοντας που καθορίζει όχι μόνο την επιβίωση, αλλά και την αποτελεσματικότητά τους. Λεπτομερή πειράματα έχουν δείξει ότι ούτε οπτικός, ούτε οσφρητικός προσανατολισμός λαμβάνει χώραν στη συμπεριφορά αναζήτησης θηραμάτων. Τα Coccinellidae δεν ανακαλύπτουν τη λεία τους, μέχρι να υπάρξει άμεση φυσική επαφή. Το θήραμα μπορεί να παραβλεφθεί ακόμη και αν βρίσκεται λίγα χιλιοστά μακριά (Banks 1957), έστω και αν ο άνεμος μεταφέρει την οσμή στα Coccinellidae (Bansch 1964). Παρ' όλα αυτά, η κίνηση των προνυμφών και των ενηλίκων Coccinellidae δεν είναι τελείως τυχαία. Έχουν παρατηρηθεί κάποιες κανονικότητες στη συμπεριφορά τους, οι οποίες κάνουν πιο πιθανή τη συνάντηση των αρπακτικών και των θηραμάτων. Η βάδιση των εντόμων είναι τυχαία και επιπλέον οι προνύμφες επισκέπτονται επανειλημμένως μέρη που έχουν ήδη ψάξει, ακόμη και αν δεν βρίσκουν τροφή, και παραμελούν άλλες περιοχές. Το επίπεδο της δραστηριότητάς τους και η διάρκεια αναζήτησης εξαρτώνται από το βαθμό της πείνας των προνυμφών. Τα τέλεια διαφέρουν αναφορικά με τη συμπεριφορά τους στην έρευνα για τροφή, στο ότι πετούν μακριά γρήγορα μετά από μια ανεπιτυχή αναζήτηση.

Αρπακτικότητα: Η λειτουργική αντίδραση (Solomon 1949) ενός αρπακτικού, περιγράφει τη σχέση μεταξύ του αριθμού των θηραμάτων που συλλαμβάνονται σε σχέση με τον αριθμό των υπαρχόντων. Η αδηφαγία, δηλαδή η μέγιστη βιομάζα ή ο μέγιστος αριθμός αφίδων που καταναλώνονται από ένα αρπακτικό, θέτει όρια στο ρυθμό αρπακτικότητας. Όταν οι αφίδες είναι πολυάριθμες και κατανεμημένες, έτσι ώστε τα αρπακτικά να μπορούν πάντοτε να ικανοποιούν την πείνα τους, η αδηφαγία και μόνο του κάθε αρπακτικού καθορίζει την αρπακτικότητά του (Frazer 1988). Τα Coccinellidae δεν έχουν την ίδια ικανότητα να παγιδεύουν αφίδες σε όλα τα στάδια ανάπτυξής τους. Οι μεγαλύτερες προνύμφες είναι πιο ικανές από τις νεότερες και τα τέλεια είναι γενικά περισσότερο ικανά από τις προνύμφες τετάρτου σταδίου (Wells & McPherson 1999). Τα

ωφέλιμα μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στην κατανομή των αφίδων στο χωράφι. Οι νεότερες αφίδες είναι πιο ευάλωτες σε όλα τα κινητά στάδια των Coccinellidae. Έτσι, όταν η αρπακτική δράση είναι μεγάλη, ο πληθυσμός των αφίδων αποτελείται από ένα μεγαλύτερο ποσοστό ώριμων αφίδων ή οι αφίδες μεταναστεύουν, αντιδρώντας στις φερομόνες συναγερωμού που εκκρίνονται από άλλες αφίδες (Hodek 1973).

Το είδος *Coccinella septempunctata* L.

Ταξινόμηση: Ανήκει στην υπεριοικογένεια Cucujoidea της τάξης Coleoptera, στην οικογένεια Coccinellidae, στην υποοικογένεια Coccinellinae, στη φυλή Coccinellini, στο γένος *Coccinella* και στο είδος *septempunctata*. Το κοινό όνομα του είδους είναι πασαλίτσα ή παπαδίτσα ή λαμπρίτσα (Seven-spotted Lady Beetle).

Περιγραφή (εικόνα 1): Το τέλειο έντομο είναι σχετικά μεγάλο (7-8 mm) με μια άσπρη ή ωχρή κηλίδα σε κάθε μια από τις πλευρές της κεφαλής. Το σώμα του είναι ωοειδές και κυρτό. Στα έλυτρά του, που μπορεί να έχουν κόκκινο ή πορτοκαλί χρώμα, υπάρχουν επτά μαύρες κηλίδες, που συνήθως εμφανίζονται σύμφωνα με το πρότυπο σχέδιο 1-4-2, με κατεύθυνση από το θώρακα προς την κοιλιά. Σε κάθε ένα από τα έλυτρα υπάρχουν κατά κανόνα τρία μαύρα ευμεγέθη στίγματα, ενώ το έβδομο βρίσκεται ακριβώς πίσω από μέση του προθώρακα (Hoffmann & Frodsham 1993). Οι προνύμφες έχουν τέσσερις ηλικίες, ενώ υπάρχει και το ακίνητο στάδιο της τέταρτης ηλικίας (prepupa).



Εικόνα 1: Ενήλικο, προνύμφες (σταδίων II και IV), νύμφη και αβγά του είδους *Coccinella septempunctata*

Οι προνύμφες της *C. septempunctata* είναι χρώματος μαύρου-γκρι· η μορφή τους θυμίζει αλιγάτορα και έχουν τρία ζεύγη ποδιών, τα οποία προεξέχουν από το σώμα. Οι προνύμφες της τέταρτης ηλικίας φτάνουν τα 7-8 mm σε μήκος. Η νύμφη έχει σκούρο καστανό χρώμα, όμως κάτω από συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και χαμηλής υγρασίας μπορεί να εμφανίζεται με ανοικτό πορτοκαλί χρώμα (Hodek 1973). Τα αβγά είναι στενόμακρα, μικρά, μήκους περίπου 1 mm.

Γεωγραφική κατανομή: Πιθανή περιοχή προέλευσης του συγκεκριμένου είδους είναι η κεντρική Ασία. Σήμερα έχει εξαπλωθεί σε όλες τις κατευθύνσεις γύρω από το κέντρο προέλευσής του, φτάνοντας ακόμη και σε άλλες ηπείρους, όπως είναι η Ευρώπη και η Αφρική. Στα πλαίσια της βιολογικής καταπολέμησης των αφίδων έγινε εισαγωγή του είδους στην Αμερική, όπου εγκαταστάθηκε και έχει εξαπλωθεί. Το είδος *C. septempunctata* έχει αποδειχθεί πιο αποτελεσματικό αρπακτικό από ορισμένα ιθαγενή είδη Κολεοπτέρων, τα οποία κατάφερε να εκτοπίσει από μερικές περιοχές (Hodek 1973, Hodek & Honěk 1996). Στην Ελλάδα κατά καιρούς έχουν υπάρξει διάφορες μελέτες με θέμα τη βιολογία του είδους (π.χ. Katsoyannos *et al.* 1997a, b) και με την εποχική του εμφάνιση σε αγρούς βαμβακιού (π.χ. Λυκουρέσης και συνεργάτες 1999).

Εύρος θηραμάτων: Το είδος είναι κυρίως αφιδοφάγο, αν και σπανιότερα αναφέρονται ως θηράματα φυτοφάγα ακάρεα, και άλλα Ημίπτερα, π.χ. Coccidae, Psyllidae (Hodek & Honěk 1996). Όλα τα είδη αφίδων δε θεωρούνται κατάλληλα για τη διατροφή του, όμως το είδος αυτό θεωρείται πολυφάγο. Ορισμένα είδη αφίδων, που μπορούν να αποτελέσουν τη βασική τροφή του *C. septempunctata* είναι τα: *Myzus persicae* (Sulzer), *Acyrtosiphon pisum* (Harris), *Aphis craccivora* Koch, *Aphis fabae* Scopoli, *Aphis gossypii* Glover, *Aphis urticae* L., *Hyalopterus pruni* (Geoffroy), *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach), *Longiunguis donacis* (Passerini), *Macrosiphoniella artemisiae* (Fonscolombe), *Megoura viciae* Buckton, *Uromelan aeneus* (Hille Ris Lambers).

Βιοθέσεις (καλλιέργειες): Γενικά το είδος αυτό έχει μεγάλο εύρος βιοθέσεων και βρίσκεται σχεδόν παντού. Η παρουσία του εντοπίζεται σε οπωροφόρα δέντρα, όπως μηλιές, ροδακινιές, σε άλλα δένδρα, όπως το πεκάν, και σε καλλιέργειες που προσβάλλονται από αφίδες, όπως τα σιτηρά (σιτάρι, σόργο), η πατάτα, το βαμβάκι, το ζαχαροκάλαμο, το γλυκοκαλάμποκο, η μηδική, ο καπνός κ.λπ.

Βιολογικός κύκλος: Τα τέλεια διαχειμάζουν σε προστατευμένες θέσεις, κοντά στους αγρούς όπου διατράφηκαν και αναπαράχθηκαν. Την άνοιξη τα έντομα τρέφονται με αφίδες, προτού εναποθέσουν τα αυγά τους. Τα θηλυκά μπορεί να γεννήσουν από 200 έως και περισσότερα από 1000 αυγά, μέσα σε μια περίοδο ενός έως τριών μηνών, ξεκινώντας την άνοιξη ή νωρίς το καλοκαίρι. Τα αυγά συνήθως τοποθετούνται κοντά σε θηράματα, όπως είναι οι αφίδες. Συχνά συναντώνται αυγά σε ομάδες, σε προστατευμένες θέσεις στα φύλλα και στους μίσχους των φυτών.

Οι προνύμφες του *C. septempunctata* μεγαλώνουν σταδιακά σε μήκος από 1 mm έως 4-7 mm, μέσα σε μια περίοδο δέκα έως τριάντα ημερών (ανάλογα με τη θερμοκρασία και την επάρκεια αφίδων). Οι μεγάλες προνύμφες μπορεί να διανύσουν απόσταση μέχρι και 12 m, ψάχνοντας για θηράματα. Η δεύτερη γενιά εμφανίζεται περίπου ένα μήνα αργότερα. Το νυμφικό στάδιο διαρκεί από τρεις έως 12 ημέρες, ανάλογα με τη θερμοκρασία (Hodek 1966, Hoffmann & Frodsham 1993). Το έντομο εμφανίζει συνήθως μία γενιά το έτος, σπανιότερα και μία δεύτερη, ανάλογα με τη διάρκεια χειμερινής διάπαυσης, και με τις ακραίες καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του χειμώνα και του καλοκαιριού (αναπαραγωγική διάπαυση, Hodek & Honěk 1996). Στην Ελλάδα οι Katsarou *et al.* (2005) μελέτησαν την επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη και τη διατροφή του με λεία την αφίδα *M. persicae nicotianae* Blackman.

Διάπαυση: Η διαχείμαση γίνεται σε κατάσταση διάπαυσης. Το είδος *C. septempunctata* διαχειμάζει πάντοτε στο έδαφος και συγκεκριμένα κάτω από πέτρες, σε στρώματα ξερών φύλλων, σε τρύπες του εδάφους, κοντά στη βάση των φυτών και αλλού, και γενικά κοντά στα μέρη όπου πολλαπλασιάζεται. Στις πεδιάδες οι συνήθειες θέσεις διάπαυσης συναντώνται στις άκρες ή τα ξέφωτα δασών, αλλά και σε δέντρα που λειτουργούν ως ανεμοφράκτες. Αν δεν υπάρχουν τέτοιες θέσεις, το *C. septempunctata* διαχειμάζει κοντά σε απομονωμένους θάμνους, σε άλλα φυτά ή σε πλαγιές λόφων (Hodek 1973).

Στην Κεντρική Ελλάδα, το *C. septempunctata* παρουσιάζει και θερινή διάπαυση (αναπαραγωγική) κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους. Η βιοθέση που επιλέγουν τα έντομα, για να διαπαύσουν, είναι η κορυφή του πλησιέστερου βουνού, όπου και συναντώνται ενήλικα άτομα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αντίθετα, στις πεδιάδες, από τον Ιούλιο μέχρι τον Αύγουστο συναντώνται ελάχιστα έντομα του είδους. Η

διάπαυση αυτή τερματίζεται αργά τον Αύγουστο και ακολουθεί μια νέα περίοδος διάπαυσης των εντόμων, κατά την οποία η αναστολή της ανάπτυξης διαρκεί όσο διαρκούν οι δυσμενείς για το είδος συνθήκες, δηλαδή από τον Νοέμβριο έως τον Μάρτιο της επόμενης χρονιάς (Katsoyannos *et al.* 1997a, b). Μικρής σημασίας είναι ο ρόλος της διαθεσιμότητας τροφής στα τέλεια που εξέρχονται της χειμερινής διάπαυσης, αφού αυτά βρέθηκε ότι τρέφονται το φθινόπωρο πριν την είσοδο σε διάπαυση (Hodek *et al.* 1989, Hodek & Honěk 1996). Η είσοδος σε χειμερινή διάπαυση φαίνεται ότι επηρεάζεται περισσότερο από ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες το φθινόπωρο, παρά από φωτοπεριοδική αντίδραση.

Το είδος *Hippodamia convergens* Guérin-Ménéville

Ταξινόμηση: Ανήκει στην υπεροικογένεια Cucujoidea της τάξης Coleoptera, στην οικογένεια Coccinellidae, στην υποοικογένεια Coccinellinae, στη φυλή Hippodamiini, στο γένος *Hippodamia* και στο είδος *convergens*. Το κοινό του όνομα είναι ιπποδάμεια (Convergent Lady Beetle).

Περιγραφή (εικόνα 2): Το τέλειο έντομο έχει ελαφρώς επίμηκες σχήμα, ενώ το μήκος του ποικίλλει από 4 έως 7 mm και είναι μικρότερο από το *C. septempunctata*. Έχει έλυτρα με ανοικτό έως και σκούρο κιτρινοκόκκινο χρώμα, με έξι ή λιγότερες μαύρες βούλες σε κάθε έλυτρο. Τα πόδια και το σώμα κάτω από τα έλυτρα είναι μαύρα. Πίσω από το κεφάλι έχει ένα χαρακτηριστικό ασπρόμαυρο σχέδιο. Το πρόνωτο είναι μαύρο και έχει δύο συγκλίνουσες άσπρο-κίτρινες γραμμές, οι οποίες είναι κοινές σε όλα τα άτομα του είδους. Οι προνύμφες έχουν τέσσερις ηλικίες, ενώ υπάρχει και το ακίνητο στάδιο της τέταρτης ηλικίας (prepupa). Οι προνύμφες είναι μαύρου-γκρι χρώματος με πορτοκαλί στίγματα, μακριές και λεπτές, ενώ το μήκος τους, μόλις εκκολάπτονται, είναι περίπου 2 mm. Τα αβγά είναι μικρά (περίπου 1 mm) και στενόμακρα.



Εικόνα 2. Ενήλικο, ενήλικα 15 και 30 λεπτά μετά την έξοδο, προνύμφες (σταδίων II και III επί αφίδων), προνύμφη (σταδίου I: κανιβαλισμός αβγού), νύμφη και ωοθεσία του είδους *Hippodamia convergens*

Γεωγραφική κατανομή: Το είδος αυτό είναι ιθαγενές της Νοτίου Αμερικής. Συναντάται παντού στις Ηνωμένες Πολιτείες και στον Καναδά. Στο παρελθόν έγιναν προσπάθειες εισαγωγής του ως παράγοντα βιολογικής καταπολέμησης στην Ανατολική Αφρική (1911) και την Ευρώπη, στην οποία είναι διαθέσιμο εμπορικά από το 1993 και αναφέρεται ότι μπορεί να προϋπάρχει και να έχει εγκατασταθεί εδώ και περισσότερο από 50 χρόνια (van Lenteren 2005). Επίσης, οι Schade & Sengonca (1998) στη Γερμανία μελέτησαν την επίδρασή του σε διαφορετικά επίπεδα πυκνότητας λείας και την προτίμηση που επιδεικνύει ανάμεσα στα είδη *Thrips tabaci* Lind., *Myzus persicae* (Sulzer) και *A. pisum*. Στην Ελλάδα, το είδος έχει βρεθεί σε φυτείες βαμβακιού και καπνού στη Θεσσαλία, ενώ οι Katsarou *et al.* (2005) σε ελληνικούς πληθυσμούς μελέτησαν την επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη και τη διατροφή του με λεία την αφίδα *M. persicae nicotianae* Blackman.

Εύρος θηραμάτων: Είναι πολυφάγο είδος' όμως, τα τέλεια και οι προνύμφες κυνηγούν κυρίως αφίδες. Σπανιότερα αναφέρονται ως θηράματα φυτοφάγα ακάρεα, και άλλα Ημίπτερα (π.χ. Coccidae, Psyllidae, Hodek & Honěk 1996). Συνηθισμένα θηράματά του αποτελούν οι αφίδες του είδους *Therioaphis maculata*, καθώς και άλλες αφίδες, όπως

αυτές του βαμβακιού, του μπιζελιού, του πεπονιού, του λαχάνου, της πατάτας, της ροδακινιάς, του καπνού και του καλαμποκιού. Αν οι αφίδες είναι λιγιστές, τα τέλεια και οι προνύμφες ενδέχεται να διατραφούν με προνύμφες και με αβγά άλλων εντόμων, με ακάρεα και άλλοτε με νέκταρ φυτών, καθώς και με μελιτώδη απεκκρίματα αφίδων ή άλλων μυζητικών εντόμων.

Βιοθέσεις (καλλιέργειες): Το συγκεκριμένο είδος εντοπίζεται σε οπωροφόρα δέντρα (αχλαδιές, καρυδιές), στις καλλιέργειες καλαμποκιού και άλλων δημητριακών, καθώς και στη μηδική. Γενικά, είναι δυνατό να βρεθεί στις περισσότερες καλλιέργειες που προσβάλλονται από αφίδες, όπως είναι η βρώμη, το σόργο, η μηδική, τα διάφορα λαχανικά, οι καλλιέργειες θερμοκηπίων και άλλες καλλιέργειες.

Βιολογικός κύκλος: Το *H. convergens* μπορεί να προσαρμόσει το βιολογικό του κύκλο, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα αφίδων. Τα θηλυκά γεννούν από 200 έως 1000 αβγά, μέσα σε μια περίοδο ενός έως τριών μηνών, ξεκινώντας την άνοιξη ή ενωρίς το καλοκαίρι. Τα αβγά συνήθως τοποθετούνται κοντά σε μέρη που υπάρχει τροφή, σε προστατευμένες θέσεις φύλλων ή μίσχων. Ένα ενήλικο άτομο μπορεί να καταναλώσει περίπου 5.000 αφίδες κατά τη διάρκεια της ζωής του (Hodek 1973).

Κάθε χρόνο εμφανίζονται μια με δύο γενιές, ανάλογα με το μήκος της περιόδου, προτού τα τέλεια εισέλθουν σε διάπαυση. Κάτω από φυσικές συνθήκες το *H. convergens* ψάχνει για ορεινές περιοχές, στις οποίες συχνά διαχειμάζει σε ομάδες, μέσα σε τρύπες ή ρωγμές βράχων. Η ανάπτυξη από το αβγό έως το τέλειο διαρκεί δύο με τρεις εβδομάδες. Τα τέλεια ζουν για εβδομάδες ή μήνες, ανάλογα με την τοποθεσία, τη διαθεσιμότητα θηραμάτων και την εποχή του έτους (Hagen 1962).

Διάπαυση: Το είδος *H. convergens* διαχειμάζει σε κατάσταση διάπαυσης, διαμορφώνοντας μεγάλες αποικίες, οι οποίες συναντώνται κάτω από φύλλα, στη βάση θάμνων ή σε κορμούς δέντρων. Στα μεγαλύτερα υψόμετρα, υπάρχει περίπτωση το χιόνι να καλύψει τις αποικίες των εντόμων για περίπου τρεις μήνες. Την άνοιξη, η διάπαυση τερματίζεται και τα έντομα συνήθως μεταναστεύουν, προκειμένου να βρουν αφίδες. Το καλοκαίρι υπάρχει περίπτωση τα τέλεια να παραμείνουν ανενεργά λόγω της θερινής διάπαυσης (Hodek & Honěk 1996).

Ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την είσοδο του είδους στη διάπαυση είναι η τροφή (Hagen 1962). Το είδος *H. convergens*, σε αντίθεση με το *C. septempunctata*, συνεχίζει να τρέφεται και μετά το στάδιο της κύριας μετανάστευσης προς τις περιοχές διάπαυσης. Όταν οι αφίδες έχουν εκλείψει, τα έντομα αυτά τρέφονται με κάποια εναλλακτική τροφή (ίσως και φυτική), και καθώς μεταναστεύουν χωρίς να έχουν αποθηκεύσει λίπος (δηλαδή ενέργεια), συνεχίζουν να τρέφονται κατά τη διάρκεια της μετακίνησής τους. Στη συνέχεια, πηγαίνουν στα μέρη όπου διαχειμάζουν πραγματικά (Hagen 1962).

Το είδος *H. convergens* είναι κυρίαρχο είδος στην πανίδα ωφελίμων εντόμων της Β. Αμερικής σε πολλά αγροοικοσυστήματα (Hagen 1962, Elliot & Kieckheffer 1990). Αν και αποτελεί ένα πολυφάγο είδος αρπακτικού, εκδηλώνει μία ιδιαίτερη προτίμηση στις αφίδες. Δεδομένα ανάπτυξης σε σχέση με τη θερμοκρασία είναι σημαντικά στην κατανόηση της δυναμικής των σχέσεων θηρευτή-θηράματος (Miller 1992). Επίσης, οι πληθυσμιακές διαφορές στους ρυθμούς ανάπτυξης, όταν υπάρχουν, είναι δυνατό να συνδέονται με ορισμένες κλιματικές συνθήκες, και έτσι επηρεάζουν τη δυναμική πληθυσμών φυσικών εχθρών, όταν εισάγονται για βιολογικό έλεγχο εντομολογικών εχθρών (Miller 1983).

Η μεγάλη εξάπλωση του *H. convergens* καθιστά το είδος αυτό έναν κατάλληλο οργανισμό-μοντέλο για την εκτίμηση των γεωγραφικών διαφορών στις αναπτυξιακές αντιδράσεις στη θερμοκρασία. Οι Obrycki & Tauber (1982) μελέτησαν την ανάπτυξη σε σχέση με τη θερμοκρασία σε έναν πληθυσμό του *H. convergens* από την περιοχή Ithaca της Ν. Υόρκης. Τα αποτελέσματα των μελετών αυτών υποδηλώνουν ρυθμούς αύξησης διαφορετικούς στους πληθυσμούς στην περιοχή της Ν. Υόρκης από αυτούς της Αριζόνας. Η ανάπτυξη του *H. convergens* έχει επίσης μελετηθεί σε έναν πληθυσμό της περιοχής Bushland του Τέξας (Michels & Behle 1991a, b).

Αρπακτικά Chrysopidae. Το είδος *Chrysoperla carnea* (Stephens)

Οι εκπρόσωποι της οικογένειας Chrysopidae είναι σχετικά μεγάλωσυμα πρασινωπά έντομα με χρυσίζοντες οφθαλμούς (εικόνα 3). Πετούν κυρίως κατά τη νύκτα και προσελκύονται από τα φώτα. Ένα πολύ κοινό είδος, το *C. carnea*, είναι δυνατό να εισέλθει σε οικίες κατά το χειμώνα, οπότε και περνά το στάδιο του τελείου. Τα έντομα

αυτά έχουν βρει έναν ενδιαφέροντα τρόπο προστασίας των αυγών τους από επιθέσεις αραχνιδίων ή άλλων μικρόσωμων αρπακτικών, καθώς και από κανιβαλισμό (Canard & Principi 1984). Το θηλυκό εναποθέτει τα αυγά του στην κορυφή ειδικού νήματος (εικόνα 3: βέλος), το οποίο κατασκευάζει από ειδικό κολλώδες υγρό που εκκρίνει και που αμέσως σκληροποιείται, και κατόπιν το αφήνει στην επιφάνεια φύλλων.



Εικόνα 3. Ενήλικο, προνύμφες (σταδίων I και III), νύμφη σε βομβύκιο και αυγά του είδους *Chrysoperla carnea* s.l.

Η αρπακτική δράση των ειδών της οικογένειας Chrysopidae στις αφίδες είναι γνωστή εδώ και πολλά χρόνια. Οι Schneider 1851, Sweetman 1958, Principi 1984, Tremblay 1985 τόνισαν τη συμβολή των εντόμων αυτής της οικογένειας πάνω στη βιολογική ισορροπία των πληθυσμών των αφίδων.

Στην Ελλάδα βρέθηκε ένας μεγάλος αριθμός ειδών Chrysopidae σε διαφορετικούς ξενιστές, πολλά από τα οποία δεν έχουν ταξινομηθεί και αναφέρονται ως *Chrysopa* sp. (Kailidis 1962, Stathopoulos 1964, Αργυρίου 1967). Μεταξύ των διαφόρων ειδών το *C. carnea* αναφέρεται ως αρπακτικό των κοκκοειδών *Ceroplastes sinensis* (Delgva) και *Marchalina hellenica* (Genadius) (Hemiptera: Margarodidae) (Santas 1979). Το *C. carnea* έχει σημειωθεί επίσης ως αρπακτικό διαφόρων αφίδων σε καλλιέργειες βαμβακιού και εσπεριδοειδών στην Ελλάδα (Santas 1980). Οι Canard & Laudeho (1977, 1980) αναφέρονται στα είδη των Chrysopidae, τα οποία συνελήφθησαν σε παγίδες

MacPhail σε ελαιώνες τριών περιοχών της Ελλάδας, δίνοντας στοιχεία για 15 είδη. Επίσης, ο Santas (1984), αναφέρεται σε ορισμένα Chrysopidae, σημειώνοντας 21 είδη. Ο ίδιος ερευνητής δίνει στοιχεία σχετικά με την κατανομή τους στην ηπειρωτική και νησιωτική Ελλάδα. Οι περισσότερες των εργασιών που αναφέρονται στα Chrysopidae, αφορούν σε θέματα συστηματικής ταξινόμησης των διαφόρων ειδών που απαντώνται σε φυτά μεγάλων και δενδρωδών καλλιεργειών, ενώ για τα Chrysopidae των κηπευτικών, τα βιβλιογραφικά δεδομένα είναι εξαιρετικά πτωχά (Hölzel 1970, Semeria 1973).

Στην Ελλάδα μία από τις λιγότες πρόσφατες μελέτες είναι αυτή του Σουλιώτη (1995), ο οποίος μεταξύ των άλλων παρακολούθησε τις πληθυσμιακές τους διακυμάνσεις με ένα δίκτυο 30 παγίδων τύπου McPhail στο Μαραθώνα σε καλλιέργειες κολοκυθιού, μελιτζάνας, πιπεριάς και μαρουλιού. Οι παγίδες McPhail, όπως είναι γνωστό, χρησιμοποιούνται στους ελαιώνες, για τον έλεγχο της πτήσης και της πυκνότητας του πληθυσμού του δάκου της ελιάς. Συνολικά στις παγίδες συνελλήφθησαν 4.139 και 4.949 ενήλικα άτομα διαφόρων ειδών της οικογένειας Chrysopidae κατά τη διάρκεια των ετών 1987 και 1988 αντίστοιχα, που ανήκουν στα παρακάτω έντεκα είδη: *Anisochrysa zelleri* (Schneider), *A. flavifrons* (Brauer), *A. clathrata* (Schneider), *A. genei* (Rambur), *A. prasina* (Burmeister), *Chrysopa dorsalis* (Burmeister), *C. formosa* (Brauer), *C. viridana* (Schneider), *C. carnea* (Stephens), *C. septempunctata* (Wesmaël) και *Saurius nanus* (McLachlan). Ο προσδιορισμός των συλληφθέντων ειδών έγινε από τους Canard και Principi και βασίστηκε στους βιολογικούς και μορφολογικούς χαρακτήρες των εντόμων. Τη μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού (> 42%) παρουσίασε το *C. carnea*, είδος που συνελλήφθη στις παγίδες όλη σχεδόν την καλλιεργητική περίοδο, κυρίως όμως από τα μέσα Απριλίου μέχρι το τέλος Οκτωβρίου (Σουλιώτης 1995). Επίσης, οι Λυκουρέσης και συνεργάτες (1999) μελέτησαν τη δυναμική των πληθυσμών ειδών της οικογένειας Chrysopidae γενικά σε αγρό βαμβακιού στη Βοιωτία.

Γενικά, στο ύπαιθρο οι πληθυσμοί των Chrysopidae επηρεάζονται δυσμενώς από την επίδραση αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων. Οι αβιοτικοί παράγοντες (χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλές σχετικές υγρασίες), έχουν δυσμενή επίδραση τόσο στα αβγά, κυρίως κατά την περίοδο Οκτωβρίου-Νοεμβρίου, όπου η θνησιμότητα μπορεί να φτάσει το 61%, όσο και επί των νυμφών, όπου αυτή τον Οκτώβριο μπορεί να φτάσει το 50% και το Νοέμβριο το 96%. Οι βιοτικοί παράγοντες που οφείλονται κυρίως σε έντομα και

παρασιτοειδή, μεγάλη επίδραση έχουν κυρίως στα αβγά, όπου πρωταρχικό ρόλο παίζει το *Telenomus acrobates* Giard. (Hymenoptera: Scelionidae), του οποίου η δράση το μήνα Ιούλιο μπορεί να φτάσει το 17,5%, ενώ επί των νυμφών στο 5%. Ορισμένοι ερευνητές, όπως οι Clancy (1946) και Principi (1947, 1948), αναφέρονται επιπλέον στη δράση των Υμενοπτέρων *Isodromus puncticeps* How. (Encyrtidae), *Tetrastichus principiae* Dom. (Chalcididae) και *Gelis ilicicolator* Aub. (Ichneumonidae) επί του παρασιτισμού των αβγών του *C. carnea*.

Όσον αφορά στο είδος *C. carnea*, διαπιστώθηκε ότι σε ελεγχόμενες συνθήκες (26°C, RH 40% και L16:D8) ολοκληρώνει το βιολογικό κύκλο του σε 50 ημέρες περίπου (Σουλιώτης 1995). Τα αβγά παρουσιάζουν μικρή διάρκεια επώασης (2,9 ημέρες), ενώ η εκκολαπτικότητα αυτών φτάνει το 98%. Η διάρκεια ανάπτυξης των προνυμφικών σταδίων φτάνει τις 14,2 ημέρες, με κατανάλωση 900 αβγών περίπου από το *E. kuehniella*. Από αυτά τα 380 καταναλώνονται για την ανάπτυξη του τρίτου σταδίου, του οποίου η διάρκεια είναι και η μεγαλύτερη.

Εκτός από τη θερμοκρασία, άλλος παράγοντας εξίσου σημαντικός στην εξέλιξη του *C. carnea* είναι η φωτοπερίοδος. Το έντομο αυτό στις ημέρες μικρής ημερήσιας διάρκειας φωτός (< 14,5 ώρες) εισέρχεται σε διάπαυση (Canard & Principi 1984). Στις χώρες της Μεσογείου, η διάπαυση του εντόμου αρχίζει σταδιακά το μήνα Οκτώβριο, περίοδο κατά την οποία αυτό διακόπτει τη σύζευξη και αρχίζει να εμφανίζεται η μεταχρωματική αλλαγή των τελείων, των οποίων το πράσινο διαυγές χρώμα αντικαθίσταται με την κοκκινωπή σαρκώδη απόχρωση, με την οποία το έντομο διαχειμάζει. Ο Σουλιώτης (1995) σε πειράματα υπαίθρου βρήκε ότι το έντομο αναπτύσσει τρεις γενιές το χρόνο, από τις οποίες η πρώτη εμφανίζεται στις αρχές Μαΐου, η δεύτερη στα μέσα Ιουλίου και η τρίτη στα μέσα Αυγούστου.

Σχετικά με τη συμπεριφορά του αρπακτικού αυτού εντόμου διαπιστώθηκε ότι στην αναζήτηση της λείας του διατρέχει τόσο την άνω, όσο και την κάτω επιφάνεια των φύλλων, ενώ δεν επηρεάζεται από το σχήμα και η θέση των φύλλων. Ο εντοπισμός της λείας του δε γίνεται οπτικά, αλλά αυτό φτάνει σε αυτή με κατάλληλες κινήσεις (π.χ. επίδραση μηχανοδεκτικών αισθητηρίων), χωρίς να παρουσιάζει φωτοτροπικές αντιδράσεις (Fleschner 1950). Η αρπακτική ικανότητα είναι άμεσα συνδεδεμένη τόσο με

την ανάπτυξη του φυτού, τη μορφολογία της φυλλικής επιφάνειας (ύπαρξη τριχών), όσο και με την πυκνότητα του ξενιστή (Σουλιώτης 1995).

Ταξινομική θέση: Αυτό που κάποτε θεωρούνταν ως ένα ολαρκτικό είδος της οικογένειας Chrysopidae: *Chrysoperla* (= *Chrysopa*) *carnea* (Stephens 1835), φάνηκε πρόσφατα ότι αποτελεί ένα σύμπλοκο πολλών συγγενών ειδών (sibling-cryptic species complex): Το “*carnea* species group” (Henry *et al.* 1999, 2002). Οι εκπρόσωποι του συμπλόκου είναι αναπαραγωγικά απομονωμένοι μέσω επικοινωνίας των δύο φύλων με χρήση ειδικών ηχητικών παλμών/σημάτων, απαραίτητων για την εκκίνηση της σύζευξης. Οι ήχοι αυτοί παράγονται μέσω κοιλιακών δονήσεων των τελείων, όταν αυτά είναι δεκτικά σύζευξης. Η κοιλιά δε χτυπά το εκάστοτε υπόστρωμα, αλλά αντί αυτού το έντομο αναταράσσει το φύλλο, πάνω στο οποίο βρίσκεται, με μία διαδικασία που καλείται “tremulation”. Οι προκαλούμενοι ήχοι δεν μπορούν να προσελκύσουν άτομα του άλλου φύλου από μεγάλες αποστάσεις, αλλά δρουν ελκυστικά σε αυτά μόνο από πολύ κοντά. Και τα δύο φύλα μπορούν να παράγουν τέτοιους ήχους, οδηγώντας σε μία παρατεταμένη διαδικασία ταυτόχρονων και ταιριασμένων ηχητικών καλεσμάτων, αναγκαίων για τη σύζευξη. Δεδομένου ότι ο φαινότυπος για κάθε διαφορετικό παραγόμενο ήχο είναι υπό αυστηρό γενετικό έλεγχο, ομάδες ατόμων που παράγουν διαφορετικούς ήχους αποτυγχάνουν να συζευχθούν και απομονώνονται αναπαραγωγικά σε πληθυσμούς που διακρίνονται από διαφορετικούς ηχητικούς τύπους. Το γεγονός αυτό δυνητικά συμβάλλει σε διαφοροποίηση του συμπλόκου *carnea* σε επιμέρους είδη μέσω πιθανότατα συμπατρικής ειδογένεσης. Έχουν προσδιοριστεί τουλάχιστο 15 τέτοιοι διαφορετικοί πληθυσμοί μέχρι σήμερα, με αρκετούς ακόμη που δεν έχουν περιγραφεί. Από την πλευρά της συστηματικής κατάταξης τέτοιοι πληθυσμοί αντικατοπτρίζουν κρυπτικά (cryptic) αλλά εμπεριστατωμένα είδη, διαχωριζόμενα κυρίως ή σχεδόν αποκλειστικά μέσω της ανάλυσης ήχου. Δυστυχώς, είναι συνήθως δύσκολη ή σχεδόν αδύνατη η κατάταξη δειγμάτων σε ακουστικά προσδιορισμένα είδη, καθώς οι ταξονόμοι θα απαιτούσαν μόνο ζωντανά δείγματα, ειδική εκπαίδευση και εξοπλισμό για το διαχωρισμό φαινοτύπων.

Το *C. carnea* περιγράφηκε το 1835 από τον J.F. Stephens μέσω αναγνώρισης δειγμάτων μικρού αριθμού συλλεγμένων από το Λονδίνο και τη Σκωτία. Αυτά απαρτίζουν συλλογή που φιλοξενείται στο Μουσείο Φυσικής Ιστορίας του Λονδίνου. Επί

του παρόντος είναι άγνωστος ο ακριβής αριθμός που απάρτιζαν την αρχική συλλογή. Σύμφωνα με τον Kimmins (1964), τα δείγματα του Stephens ήταν οργανωμένα πάνω από το επίπεδο του είδους, με πολλές περιπτώσεις δειγμάτων που μεταφέρονταν από θέση σε θέση, χωρίς να περιγράφονται με ονόματα ή σημειώσεις. Έτσι, προέκυψαν αναμίξεις μεταξύ δειγμάτων διαφορετικών ίσως ειδών, που λαθεμένα περιγράφονταν για πολλά έτη ως ‘*carnea*’ (π.χ. δείγματα που μεταγενέστερα περιγράφηκαν ως *C. affinis*)· σε άλλα πάλι δείγματα αποδόθηκε λαθεμένα άλλο επίπεδο είδους (π.χ. *C. alba*). Ενδεχομένως λοιπόν να είναι ορθότερη η απόδοση στο σύμπλοκο το όνομα *Chrysoperla carnea sensu lato* (*C. carnea* s.l.). Κατά καιρούς προσδιορίστηκαν ως ιδιαίτερες ταξινομικές οντότητες, και τελικά διαχωρίστηκαν μέλη του συμπλόκου ως ξεχωριστά είδη που βρέθηκαν στην Αγγλία και στην ευρύτερη περιοχή της Ευρασίας (π.χ. *C. lucasina* και *C. mediterranea*).

Υπάρχουν όμως στο σύμπλοκο μέχρι σήμερα μορφολογικά πανομοιότυποι φαινότυποι, για τους οποίους αμφισβητείται ακόμη η ορθή ταξινομική θέση (π.χ. φαινότυποι Cc2, Cc3, Cc4 και Cc5) και που διακρίνονται σαφώς μόνο με χρήση ανάλυσης ήχου (song analysis). Πρόσφατα (Henry *et al.* 2002), με χρήση μορφολογικών γνωρισμάτων, οικολογίας και ανάλυσης ήχου ο τύπος Cc4 περιγράφηκε ως το αρχικά περιγραφέν με τη στενή έννοια [*C. carnea* (Stephens) *sensu stricto*], ενώ οι Cc2 και Cc3 προτάθηκαν ως νέα είδη (*C. pallida* sp. nov. και *C. agilis* sp. nov. αντίστοιχα). Βέβαια, παρ’ όλο τον καθορισμό νέων ειδών, παραμένει σχεδόν αδύνατη η μορφολογική διάκριση σε διατηρημένα δείγματα των ειδών αυτών.

Εξαιτίας της ιδιαίτερης σημασίας της χρήσης ατόμων του συμπλόκου *carnea* στη βιομηχανία παραγωγής αρπακτικών για βιολογική καταπολέμηση προβάλλει επιτακτική η ανάγκη κατανόησης της συστηματικής τους θέσης. Αναδεικνύοντας το σοβαρό αυτό πρόβλημα μία πρόσφατη μελέτη των Tauber *et al.* (2000) περί αναπαραγωγής και εμπορευματοποίησης των φυσικών εχθρών, πρότεινε κάθετα ότι οι εντομολόγοι πρέπει να αγνοούν τον όρο ‘*carnea* group song species’ και να αναφέρονται σε έντομα με χαρακτηριστικά του αρχικού είδους *C. carnea* (Stephens) με την περιγραφή ‘*Chrysoperla carnea sensu lato*’, ιδίως όταν είναι αδύνατος ο προσδιορισμός με μελέτες ανάλυσης ήχου των δειγμάτων. Οι μελέτες των Henry *et al.* (1999, 2002, 2003) και Henry & Wells (2004), που ασχολήθηκαν με τη διάκριση ειδών

στο σύμπλοκο *carnea* μέσω ανάλυσης ηχητικών σημάτων, τονίζουν ότι κάθε νεοπεριγραφέν είδος μπορεί να σταθεί ως ανεξάρτητη ταξινομική οντότητα και να χαρακτηριστεί ως είδος (“sympatric song species of the *carnea* group”) με βάση τη δαρβινική θεωρία. Και αυτό διότι η φυσική επιλογή έχει δράσει σε αυθαίρετες διαφορές που προέκυψαν στο χρόνο χαρακτηριστικών των ηχητικών σημάτων των δύο φύλων, εξειδικευμένων για κάθε σύζευξη, γεγονός που οδήγησε σε συμπατρική διαφοροποίηση και εξειδίκευση. Παρ’ όλα αυτά, οι ίδιες μελέτες υποστηρίζουν ότι τα δεδομένα δεν είναι αρκετά για αξιόπιστες φυλογενετικές μελέτες επί του παρόντος και ότι η εξειδίκευση αυτή μέσω προσαρμογής σε ξενιστή (“substrate adaptation”) είναι πολύ πρόσφατο, γρήγορο και, εν μέρει, εν δυνάμει εξελικτικό γεγονός. Σε πρόσφατη δημοσίευση (Lourenço *et al.* 2006), η διαφοροποίηση Ευρωπαϊκών πληθυσμών του συμπλόκου με χρήση μοριακής ανάλυσης μιτοχονδριακού DNA (mtDNA) κατέστη δυνατή μόνο ως προς τη διάκριση μεταξύ ατόμων του *C. carnea* s.str., αλλά απέτυχε να διακρίνει πληθυσμούς των υπολοίπων ειδών του συμπλόκου *carnea*. Πάντως, υπάρχει μέχρι σήμερα διχογνωμία για την ορθή ταξινομική απόδοση των ειδών του συμπλόκου. Στην παρούσα λοιπόν διατριβή για αποφυγή συγχύσεων θα αποφεύγεται η αναφορά στον αυστηρό όρο “*C. carnea* (Stephens)”, και αντί αυτού θα προτιμάται ο όρος “*C. carnea* s.l.”.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

Μορφολογική παραλλακτικότητα στα έντομα

Γενικά

Είναι γενικώς αποδεκτό ότι η σωστή διάκριση ειδών που αποτελούν σημαντικούς εχθρούς για κάποιες καλλιέργειες συμβάλλει στον αποτελεσματικό έλεγχό τους. Οι περισσότερες από τις σύγχρονες τεχνικές για τον ακριβή προσδιορισμό διαφόρων σημαντικών εχθρών των καλλιεργειών απαιτούν τη χρήση ειδικών μεθόδων για τη διατήρηση και το χειρισμό των δειγμάτων, πράγμα που πολλές φορές είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί. Η εξωτερική μορφολογία είναι βασικό κριτήριο, προκειμένου να αποφανθεί κανείς αν υπάρχουν επαρκείς διαφορές μεταξύ των ειδών. Όμως, η μέθοδος της παρατήρησης της εξωτερικής μορφολογίας του εντόμου δεν είναι εύχρηστη για τα μικρού μεγέθους έντομα όπως π.χ. οι αφίδες. Άλλωστε, η μέθοδος αυτή δε δύναται να εντοπίσει τις διαφορές ανάμεσα σε είδη που μοιάζουν αρκετά μεταξύ τους ή σε άτομα του ίδιου είδους. Για τους παραπάνω λόγους χρησιμοποιείται ευρέως η τεχνική της μορφομετρίας-σωματομετρίας.

Σωματομετρία

Η σωματομετρία, ως τεχνική, περιλαμβάνει τη μέτρηση ορισμένων μορφολογικών χαρακτήρων του εντόμου και κατόπιν τη στατιστική ανάλυση των τιμών που προκύπτουν από τη μέτρηση. Αυτό προϋποθέτει τη δημιουργία μόνιμων παρασκευασμάτων (slides) με το προς εξέταση έντομο, ενώ η μέτρηση των προς μελέτη χαρακτηριστικών γίνεται σε μικροσκόπιο αντίθεσης φάσης (phase contrast), στο οποίο υπάρχει μικρομετρική κλίμακα. Όσον αφορά στις αφίδες, ορισμένα από τα μορφολογικά χαρακτηριστικά που εξετάζονται συνήθως είναι: το μήκος κάποιου άρθρου της κεραίας, το μήκος του τελευταίου άρθρου του ρύγχους, το μήκος του μηρού, της κνήμης, του δεύτερου ταρσομερούς, το μήκος και το μέγιστο πλάτος των σιφωνίων και το μήκος της ουράς (Pharco & van Harten 1987). Βασικός στόχος της σωματομετρίας είναι να εντοπίσει την παραλλακτικότητα στα μορφολογικά χαρακτηριστικά ανάμεσα στα άτομα ενός δείγματος. Η ύπαρξη παραλλακτικότητας συμβάλλει στο διαχωρισμό και προσδιορισμό των διαφορετικών ειδών που πιθανόν να υπάρχουν στο συγκεκριμένο

δείγμα, ή στην τοποθέτηση των ατόμων του δείγματος σε διαφορετικές ταξινομικές ομάδες (taxa) (Blackman 1987).

Αξιοσημείωτο είναι το ότι σήμερα χρησιμοποιούνται ποικίλες, πολύπλοκες ή απλές, μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης. Η πιο απλή περιλαμβάνει τον έλεγχο μη επεξεργασμένων δεδομένων και τον προσδιορισμό απλών στατιστικών παραμέτρων, όπως μέσοι όροι και τυπικά σφάλματα. Η ταξινόμηση των ατομικών αφίδων σε παρθενογενετικές σειρές (κλώνους) και ο διαχωρισμός τους σε ομάδες ξενιστών (φυτικά είδη), που βασίζεται στα ατομικά μορφολογικά χαρακτηριστικά τους (μεταβλητές), εφαρμόζονται με συμβατικές μεθόδους ανάλυσης πολλαπλών μεταβλητών, όπως είναι η ανάλυση γραμμικής διάκρισης του Fisher (Fisher's linear discriminant analysis, Fisher 1936) και η ανάλυση κανονικών μεταβλητών (Canonical Variates Analysis, CVA, Blackman 1987, Lazzari & Voegtlin 1993, Blackman & Spence 1994). Τελευταία (Zintzaras *et al.* 1994, 1999) προτάθηκε η εφαρμογή μιας νέας μεθόδου για την κατάταξη των αφίδων, η οποία ονομάζεται "μη παραμετρικά δέντρα ταξινόμησης". Έχει τη μορφή ενός δέντρου που διακλαδίζεται σε ενδιάμεσους και τελικούς κλάδους. Αυτή η προσέγγιση καθιστά την κατασκευή του δέντρου απλή και επομένως γρηγορότερη από την ελάττωση του μεγέθους της πολυπλοκότητας της συγκεκριμένης λειτουργίας (Breiman *et al.* 1984). Η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι επιτρέπει την οπτική έρευνα της κατασκευής των δεδομένων σε οποιοδήποτε στάδιο αύξησης του δέντρου.

Το 1987 ο Blackman πραγματοποίησε μορφομετρικές μελέτες σε ένα μεγάλο αριθμό δειγμάτων της αφίδας *M. persicae*, που συλλέχθηκαν από διαφορετικούς ξενιστές από τέσσερις ηπείρους. Δείχθηκε, ότι οι αφίδες του είδους *M. persicae* που τρέφονται στον καπνό, *Nicotiana tabacum* L. (Solanaceae), μπορούν να διαχωριστούν με τη χρήση της ανάλυσης πολλαπλών μεταβλητών. Τελικά, οι αφίδες του καπνού παρουσίασαν μορφολογική διαφοροποίηση και διαχωρίστηκαν από εκείνες που προέρχονται από άλλα φυτά-ξενιστές, διότι αντιπροσώπευαν μια διαφορετική ομάδα γενοτύπων, προσαρμοσμένη σε συγκεκριμένο φυτό-ξενιστή (Blackman 1987, Blackman & Spence 1992, Field *et al.* 1994, Margaritopoulos *et al.* 1998). Οι Margaritopoulos *et al.* (1998), προκειμένου να καταλήξουν στο παραπάνω συμπέρασμα, χρησιμοποίησαν (εκτός από τη μέθοδο Ανάλυσης Κανονικών Μεταβλητών) και τη μέθοδο "μη παραμετρικά δέντρα ταξινόμησης". Με αυτή κατέταξαν τις αφίδες σε παρθενογενετικές σειρές (κλώνους) και

διαχώρισαν τους κλώνους που προέρχονται από διαφορετικά φυτά-ξενιστές. Η ποιότητα των αποτελεσμάτων της νέας αυτής μεθόδου εκτιμήθηκε συγκρινόμενη με συμβατικές μεθόδους, όπως είναι οι LDF (linear discriminant functions) του Fisher και η CVA. Τα αποτελέσματα που έδωσε η μέθοδος των "μη παραμετρικών δέντρων ταξινόμησης" συμφωνούσαν απόλυτα με εκείνα που προέκυψαν με τη χρήση των συμβατικών μεθόδων ανάλυσης.

Πολλές φορές, προκειμένου να εξεταστούν οι σχέσεις ανάμεσα σε μια ομάδα συσχετιζόμενων μεταβλητών, είναι χρήσιμο να μετασχηματιστεί η αρχική ομάδα των μεταβλητών σε μια νέα ομάδα από μη συσχετιζόμενες μεταβλητές, που ονομάζονται κύριες συνιστώσες. Αυτές οι νέες μεταβλητές είναι γραμμικοί συνδυασμοί των αρχικών μεταβλητών και κατατάσσονται με φθίνουσα σειρά σημαντικότητας, έτσι ώστε, για παράδειγμα, με την πρώτη κύρια συνιστώσα να υπολογίζεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη παραλλακτικότητα των αρχικών δεδομένων. Η τεχνική που εφαρμόζει την παραπάνω διαδικασία ονομάζεται Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis, PCA). Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι κατάλληλη στην περίπτωση που δεν υπάρχει εξαρτημένη μεταβλητή, που να εξαρτάται δηλαδή από κάποιες ανεξάρτητες μεταβλητές, όπως συμβαίνει με την πολλαπλή παλινδρόμηση. Ο αντικειμενικός σκοπός της είναι να δει αν ένας συγκεκριμένος αριθμός από τις πρώτες συνιστώσες υπολογίζει το μεγαλύτερο μέρος της παραλλακτικότητας των αρχικών δεδομένων.

Αναμφισβήτητα, οι προαναφερθείσες στατιστικές τεχνικές συμβάλλουν σημαντικά στη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων της σωματομετρίας για την ανίχνευση μορφολογικής παραλλακτικότητας. Πρέπει να τονιστεί ότι η σωματομετρία ως μέθοδος μπορεί να βοηθήσει στο διαχωρισμό συγγενών ειδών και φυλών αφίδων και στην επίλυση ταξινομικών προβλημάτων. Η εφαρμογή της όμως παρουσιάζει περιορισμούς σχετικά με το διαχωρισμό σε επίπεδο ατόμου. Είναι λοιπόν σκόπιμο η σωματομετρία σε πληθυσμιακές μελέτες και μελέτες συστηματικής να συνοδεύεται από άλλες μεθόδους, όπως είναι η ανάλυση του DNA, οι ενζυμικές μελέτες, η κατηγορία βιολογικού κύκλου και η επιλογή φυτού-ξενιστή.

Μοριακές μέθοδοι

Ο ακριβής και αξιόπιστος προσδιορισμός των εντόμων, και ειδικότερα των αφίδων, με τη χρήση των μορφολογικών χαρακτηριστικών τους, δεν είναι πάντα εφικτός,

οπότε ο προσδιορισμός των ενδοειδικών (intraspecific) στοιχείων είναι πολλές φορές αδύνατος. Τελευταία χρησιμοποιούνται μοριακές τεχνικές, που στηρίζονται στην ανάλυση του DNA για τη συστηματική κατάταξη των αφίδων· οι τεχνικές αυτές είναι γρήγορες και αξιόπιστες. Συνάμα, ανιχνεύουν την ύπαρξη γενετικού πολυμορφισμού και συχνά μπορούν να διαφοροποιήσουν είδη που δεν μπορούν να διαχωριστούν με άλλον τρόπο.

Με την ανάλυση του μιτοχονδριακού DNA μπορούν να διαφοροποιηθούν συγγενικά είδη (Footit & Bonen 1990), βιότυποι (Powers *et al.* 1989) και παρθενογενετικές σειρές του ίδιου είδους (Martinez *et al.* 1992)· το ίδιο συμβαίνει και με το μικροδορυφορικό DNA (micro-satellite DNA Analysis, Llewellyn *et al.* 1997). Άλλες μέθοδοι είναι: η μέθοδος RAPD-PCR (τυχαία πολλαπλασιαζόμενο πολυμορφικό DNA - Αλυσιδωτή Αντίδραση Πολυμεράσης), η μέθοδος RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism) και η ανάλυση αλληλουχίας DNA (DNA sequencing).

Από τις παραπάνω μεθόδους, η ανάλυση μιτοχονδριακού και μικροδορυφορικού DNA παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες για την πηγή της γενετικής παραλλακτικότητας, αφού βασίζονται σε περιορισμένη περιοχή του γενώματος. Αντίθετα, η μέθοδος RAPD-PCR ανακαλύπτει γενετικό πολυμορφισμό κυρίως του πυρηνικού DNA και είναι πιο χονδροειδής τεχνική. Το πλεονέκτημα των μοριακών τεχνικών έγκειται στο γεγονός ότι η διάκριση μεταξύ τάξων μπορεί να γίνει με ένα ή λιγοστά δείγματα, σε αντίθεση με τις πολυπαραγοντικές μορφομετρικές μεθόδους, η στατιστική ανάλυση των οποίων απαιτεί πληθυσμούς με αρκετά δείγματα ατομικών αφίδων.

Σκοπός της διατριβής

Σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν η μελέτη της δυναμικής και της χωροταξικής κατανομής των πληθυσμών της αφίδας *A. gossypii* σε καλλιέργεια βαμβακιού. Η μελέτη υποστηρίχθηκε με τη μελέτη του αναπαραγωγικού δυναμικού της αφίδας στο εργαστήριο σε διάφορες ποικιλίες βαμβακιού. Επίσης, μελετήθηκε σε φυσικούς πληθυσμούς της αφίδας η επίδραση σημαντικών φυσικών εχθρών, η βιολογία των οποίων μελετήθηκε σε ελεγχόμενες συνθήκες εργαστηρίου. Τέλος, διερευνήθηκε η ύπαρξη μορφολογικής διαφοροποίησης μεταξύ ελληνικών πληθυσμών της αφίδας *A. gossypii* που προέρχονται από διαφορετικούς ξενιστές.

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

Δυναμική πληθυσμών της αφίδας *Aphis gossypii* στο βαμβάκι

Εισαγωγή

Οι πληθυσμοί των αφίδων μπορούν να αυξάνονται ραγδαία και να φτάνουν σε πολύ υψηλά επίπεδα στις καλλιέργειες. Μερικοί πληθυσμοί μπορούν να αυξηθούν μέχρι και 10^5 φορές (Mason 1996), αλλά οι περισσότεροι αυξάνονται πολύ λιγότερο (Bergman 1981). Οι πληθυσμοί των αφίδων έχουν μελετηθεί τόσο επί φυτών σε καλλιέργειες όσο και η πυκνότητά τους στον αέρα σε εποχές που οι αφίδες προσβάλλουν τις καλλιέργειες. Με συνδυασμό των δύο μεθόδων είναι δυνατό να εκτιμηθεί η δυναμική πληθυσμών στα φυτά και την εξάπλωση ενός είδους σε ευρείες περιοχές (Dixon 1998).

Στην παγκόσμια βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετές μελέτες για τη διερεύνηση της δυναμικής, της βιολογίας και της χωρο-χρονικής κατανομής πληθυσμών της *A. gossypii* στο βαμβάκι (π.χ. O'Brien *et al.* 1993, Celini & Vaillant 2004 κ.ά.). Στο πλείστο των μελετών βρέθηκε ότι η ομαδοποίηση των αφίδων αυξάνεται με την πληθυσμιακή πυκνότητα σύμφωνα με το μοντέλο του Taylor (1961), που συσχετίζει το μέσο όρο με τη διακύμανση και απεικονίζεται με μία παραβολική καμπύλη.

Η αφίδα *A. gossypii* αποτελεί συχνά σοβαρό εχθρό του βαμβακιού στην Ελλάδα. Τα πρόβλημα φαίνεται να σχετίζεται με την αλόγιστη εφαρμογή εντομοκτόνων, που έχει επιβλαβείς συνέπειες στους πληθυσμούς των φυσικών εχθρών της αφίδας *A. gossypii*. Πτερωτές μορφές της αφίδας προσβάλλουν τα νεαρά φυτά βαμβακιού περί τα μέσα Μαΐου και στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου παράγονται αρκετές αλληλοεπικαλυπτόμενες γενιές άπτερων μορφών. Οι Karatos *et al.* (1994-1998, 1996, 1998) μελέτησαν τη δυναμική πληθυσμών της αφίδας σε αγρούς βαμβακιού στη Θεσσαλία και διαπίστωσαν δύο κύρια πληθυσμιακά μέγιστα τους μήνες Ιούνιο και Αύγουστο, ενώ εκτίμησαν ότι δύο κυρίως παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο στη δυναμική των πληθυσμών των αφίδων στους αγρούς της περιοχής αυτής: α) Η δράση των αρπακτικών, κυρίως ειδών Coccinellidae και Anthocoridae και β) Οι δευτερογενείς προσβολές των αγρών από πτερωτές αφίδες προερχόμενες από παρακείμενους αγρούς ή άλλους ξενιστές.

Οι πληθυσμοί των αφίδων ακολουθούν συχνά ασταθή και συσσωρευτική χωροταξική κατανομή, που για την πλειονότητα των πληθυσμιακών πυκνοτήτων περιγράφεται από το μοντέλο της αρνητικής διωνυμικής κατανομής (negative binomial model, Robert *et al.* 1988). Παγκοσμίως, έχουν διεξαχθεί μελέτες σχετικές με την ανάπτυξη προγράμματος δειγματοληψίας για αρκετά είδη αφίδων (Sylvester & Cox 1961, Taylor 1970, Dean 1973, Pennachio & Tremblay 1986, Feng & Nowierski 1992, Godfrey & Chaney 1995, Chilima & Leather 2001) και άλλες, οι οποίες αφορούσαν κυρίως τη χωροταξική κατανομή των πληθυσμών των αφίδων (π.χ. Celini & Vaillant 2004). Συνηθέστερα εφαρμοζόμενα σχέδια δειγματοληψίας είναι εκείνα της μεθόδου της τυχαίας δειγματοληψίας (stratified random sampling) και αυτής της συστηματικής δειγματοληψίας (systematic sampling), ενώ κύριο μέλημα σε τέτοιες δειγματοληψίες είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους και η εξασφάλιση της αξιοπιστίας της εκτίμησης του πληθυσμού (στατιστικά και οικολογικά).

Ειδικά για την αφίδα *A. gossypii*, λίγα δεδομένα είναι διαθέσιμα τόσο για την Ελλάδα, όσο και παγκοσμίως σχετικά με την ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών προγραμμάτων δειγματοληψίας, και γενικότερα πληθυσμιακών μελετών (Karatos *et al.* 1996). Για την *A. gossypii* οι Karatos *et al.* (1994-1998) αναφέρουν πληροφορίες για πληθυσμούς της Ελλάδας που προκύπτουν από την εφαρμογή διαφόρων δεικτών διασποράς πληθυσμών. Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής δείχνουν ότι η διασπορά των ατόμων της αφίδας στο βαμβάκι στις περισσότερες περιπτώσεις ακολουθεί την αρνητική διωνυμική κατανομή (negative binomial distribution) με κλασματικές τιμές του k να διαφέρουν ανάλογα με τη μέση πυκνότητα πληθυσμού, γεγονός που επιβεβαιώνει τη χρήση του k για την περιγραφή των αλλαγών της χωροταξικής κατανομής των πληθυσμών του *A. gossypii*. Οι Λυκουρέσης και συνεργάτες (1999) σε καταγραφή ειδών αφίδων στο βαμβάκι στη Βοιωτία διαπίστωσαν δύο επίσης πληθυσμιακά μέγιστα στους πληθυσμούς της *A. gossypii* (τέλη Μαΐου και τέλη Αυγούστου).

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη των πληθυσμιακών διακυμάνσεων και της χωροταξικής κατανομής της αφίδας και των κυριότερων αρπακτικών της σε αγρό βαμβακιού στη Μαγνησία. Συνάμα, και πέρα από τις έως τώρα μελέτες, έγινε διερεύνηση ύπαρξης συσχετίσεων μεταξύ των διακυμάνσεων των πληθυσμών της αφίδας και αυτών των κυριότερων αρπακτικών της.

Υλικά και Μέθοδοι

Περιγραφή πειραματικού αγρού-σχεδίου δειγματοληψίας

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε πειραματικό αγρό βαμβακιού έκτασης 18 περίπου στρεμμάτων στην περιοχή Άγιος Γεώργιος Βελεστίνου Μαγνησίας (12 χιλιόμετρα βορειοδυτικά του Βόλου) επί τρία έτη (1997-1999) κατά τους μήνες Ιούνιο-Οκτώβριο. Ο αγρός είχε μεσημβρινή έκθεση (οι γραμμές σποράς είχαν κατεύθυνση από Νότο προς Βορρά), ήταν περίπου παραλληλόγραμμου σχήματος με 150 σειρές μήκους 120μ η καθεμιά και απόστασης 1μ η μία από την άλλη (βλ. σχήμα 1). Ο αγρός γειτόνευε από τις τρεις πλευρές με αγρούς βαμβακιού (η βόρεια πλευρά με δρόμο ενδιάμεσα), ενώ νότια υπήρχε λόφος με ακαλλιέργητη έκταση. Το έδαφος ήταν μετρίως ελαφρύ σε κοκκομετρική σύσταση (ιλλοαργιλώδες) εκτός από τη δυτική πλευρά, όπου είχε μικρή κλίση και περισσότερο αμμώδη σύσταση. Τα φυτά ήταν ποικιλίας “Αγία” με πυκνότητα φύτευσης 10 φυτά / m² περίπου. Για την εκτέλεση πειραμάτων επιλέχθηκαν 15 σειρές ανά δέκα μέτρα η μία από την άλλη, και οκτώ φυτά επί της γραμμής, σε απόσταση 15 μέτρα το ένα από το άλλο. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι θα μπορούσε να επιλεγεί η τυχαία ή στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία, όπως περιγράφεται σε πολλές περιπτώσεις στη βιβλιογραφία (Southwood 1978, Robert *et al.* 1988, Karatos *et al.* 1996). Όμως, εφαρμόστηκε συστηματική δειγματοληψία φυτών με τυχαία δειγματοληψία φύλλων επί του φυτού και με υπολογισμό αποστάσεων επί της γραμμής, και γραμμής από γραμμή σποράς βάσει των διαστάσεων του αγρού (120 x 150μ). Σκοπός ήταν, εκτός από τη μελέτη της δυναμικής πληθυσμών, να γίνει και χωροταξική μελέτη εξάπλωσης των αφίδων και των αρπακτικών, κάτι που είναι δύσκολο να προσφέρει μια τυχαία δειγματοληψία (Robert *et al.* 1988). Έτσι, επιλέχθηκαν 120 ορθογώνια νοητά πλαίσια εμβαδού 150m² (= 15 x 10μ) και προσημειώθηκαν 120 φυτά, ένα σε κάθε πλαίσιο. Προσημειωμένα φυτά σε συστηματική δειγματοληψία έχουν χρησιμοποιηθεί και σε άλλες μελέτες με ελληνικούς πληθυσμούς αφίδων (Karatos *et al.* 1994-1998). Το σχήμα των νοητών πλεγμάτων δειγματοληψίας (σειρά x φυτά στη σειρά) επιλέχθηκε να είναι ορθογώνιο (15 x 10μ), αφενός για να είναι ανάλογο της ορθογώνιας πειραματικής έκτασης, και αφετέρου διότι έχει αναφερθεί ότι το ορθογώνιο σχήμα δειγματοληψίας σε γραμμική καλλιέργεια συνεισφέρει στην αξιοπιστία της δειγματοληψίας, δεδομένου ότι

τείνει να μειώνεται η παραλλακτικότητα (Φασούλας 1979). Λαμβάνονταν δύο παρατηρήσεις την εβδομάδα σε σταθερά χρονικά διαστήματα (Τρίτη και Παρασκευή) από την κάτω επιφάνεια δύο κατωτέρων και δύο ανωτέρων, τυχαία επιλεγμένων, φύλλων σε κάθε φυτό, το οποίο ήταν προσημειωμένο για όλη τη διάρκεια των πειραμάτων. Τα φύλλα δεν αφαιρούνταν για την καταμέτρηση των αφίδων. Η διαίρεση του φυτού καθ' ύψος για λήψη δειγμάτων σχετίζεται με την πιο αξιόπιστη δειγματοληψία, δεδομένης της διαφορετικής κατανομής αφίδων στο φυτό (Karatos *et al.* 1994-1998). Συνολικά, καταμετρούνταν 480 φύλλα σε κάθε δειγματοληψία για τη διερεύνηση ύπαρξης άπτερων αφίδων ή πτερόμορφων νυμφών αφίδων, και το φύλλο αποτέλεσε τη δειγματοληπτική μονάδα, αφού είναι το φυτικό τμήμα που αποτελεί το φυσικό ελάχιστο ενδιαίτημα ανάπτυξης μιας αποικίας. Τονίζεται ότι θα μπορούσε να επιλεγεί πολύ μικρότερος αριθμός φυτών και μεγαλύτερος αριθμός φύλλων ανά φυτό, για ελαχιστοποίηση της διακύμανσης στο φυτό. Κρίθηκε όμως σκόπιμο να διατηρηθεί μεγάλος αριθμός φυτών στον αγρό, για να καλυφθεί ομοιόμορφα μεγαλύτερη προς εξέταση έκταση, δεδομένου και του γεγονότος της εξαιρετικά δύσκολης εκτίμησης του βέλτιστου μεγέθους δειγμάτων σε μια τυχαία δειγματοληψία (Karandinos 1976, Karatos *et al.* 1996). Ούτως ή άλλως, η διακύμανση μέσα στο φυτό, στην οποία κυρίως οφείλεται και το τυπικό (πειραματικό) σφάλμα των μετρήσεων (Karandinos 1976) δύσκολα απαλείφεται, δεδομένου ότι σχεδόν πάντα στη διασπορά των αφίδων στον αγρό η διακύμανση είναι αρκετά μεγαλύτερη από το μέσο όρο, αφού μιλάμε για έντομα με υψηλό δυναμικό δημιουργίας συναθροίσεων και όχι για τυχαία ή ομοιόμορφα διασπειρόμενα έντομα (Taylor 1961, Taylor *et al.* 1979).

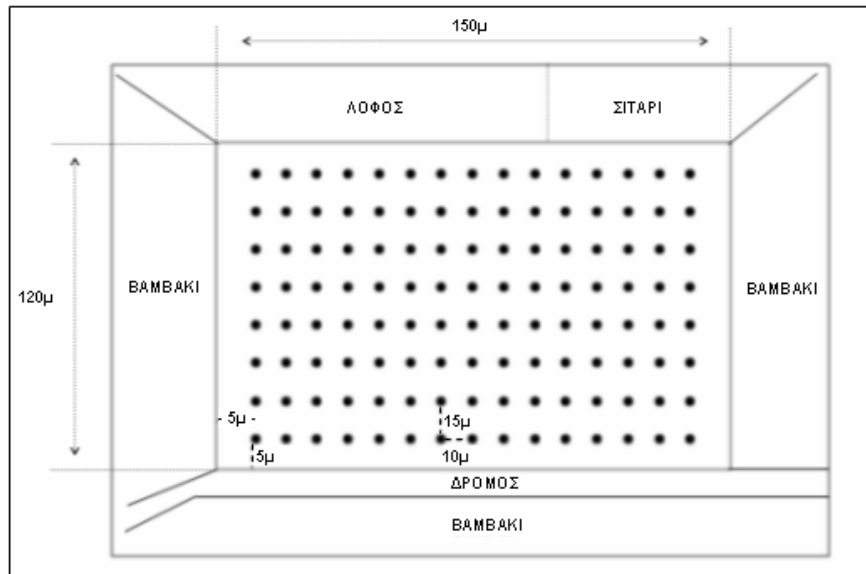
Το 1997, επειδή ο αγρός επιλέχθηκε για τη διεξαγωγή των κύριων πειραμάτων για τα επόμενα δύο έτη, η μελέτη ήταν προκαταρκτική: οι δειγματοληψίες ήταν εβδομαδιαίες (κάθε Τετάρτη) και επιλέχθηκαν μόνο τρεις σειρές (στο μέσο και στα δύο άκρα του αγρού), οι ίδιες με τις σειρές Νο 1, 8 και 15 των ετών 1998, 1999. Επιλέχθηκαν δέκα φυτά σε κάθε γραμμή και σε αποστάσεις ανά δέκα μέτρα (30 φυτά και 120 φύλλα σε κάθε δειγματοληψία).

Η έναρξη δειγματοληψιών καθοριζόταν κάθε έτος με τυχαία δειγματοληψία 20 φύλλων από τα τέλη Μαΐου και μετά, και εντοπιζόταν περίπου μετά το δεύτερο

δεκαήμερο του Ιουνίου, οπότε και άρχιζαν συνήθως οι προσβολές των νεαρών φυτών (περισσότερες από 2 αφίδες / φύλλο). Η λήξη της περιόδου δειγματοληψιών (τέλη Σεπτεμβρίου-αρχές Οκτωβρίου) καθοριζόταν από το βαθμό γήρανσης των φυτών και την ανάγκη συγκομιδής του προϊόντος.

Για την καταμέτρηση των αρπακτικών, δίπλα σε κάθε προσημειωμένο φυτό τινάζονταν όλα τα φυτά στο εκάστοτε τρέχον μέτρο, ελαφρά με σταθερό ρυθμό δέκα φορές επάνω σε ένα ξύλινο πλαίσιο εμβαδού 1μ². Το πλαίσιο ήταν καλυμμένο με ειδικό τούλι για συγκράτηση τελείων και προνυμφών αρπακτικών. Το τίναγμα γινόταν ελαφρά, για να μην επηρεαστούν οι πληθυσμοί των αφίδων στο προσημειωμένο φυτό και στα διπλανά του φυτά. Η καταμέτρηση των επικρατούντων ειδών γινόταν επί τόπου, ενώ σε εξαιρετικές περιπτώσεις λαμβάνονταν δείγματα σε πλαστικό φιαλίδιο με αιθυλική αλκοόλη για αναγνώριση ειδών στο εργαστήριο.

Τα φυτά δέχονταν όλες τις καλλιεργητικές φροντίδες (άρδευση, λίπανση, κατεργασία κ.λπ.), εκτός από εφαρμογές εντομοκτόνων (από εδάφους προσπαρτικά ή ψεκασμούς) και από χημική αποφύλλωση. Εξάιρεση αποτέλεσε μία εφαρμογή πυρεθρίνης (lambda-cyhalothrin) σε παρακείμενο αγρό, που δεν κατέστη δυνατό να αποφευχθεί για την αντιμετώπιση εξαιρετικά υψηλής προσβολής από το ρόδινο σκόληκα (*P. gossypiella*) στις 15-7-1999. Ο αγρός αυτός συνόρευε με την ανατολική πλευρά του πειραματικού αγρού. Γίνεται αναφορά στο γεγονός αυτό, γιατί δεν είναι γνωστή η επίδραση του ψεκασμού στους φυσικούς πληθυσμούς των εντόμων (επικράτηση ανέμων κ.λπ.).



Σχήμα 1. Σχέδιο πειραματικού αγρού βαμβακιού για τα έτη 1998-1999 (● σημάδι προσημειωμένων πειραματικών φυτών)

Υπολογισμός μέσου όρου, διακύμανσης και προσαρμογή μαθηματικών κατανομών.

Για κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας υπολογίστηκε το σύνολο αφίδων στον αγρό, ο μέσος όρος (m) αφίδων ανά φύλλο, ανά φυτό και ανά γραμμή, η διακύμανση (S^2) ανά φυτό και γραμμή, και ο γενικός μέσος όρος και η διακύμανση στο σύνολο του αγρού. Στην τελευταία περίπτωση ως μέση πληθυσμιακή πυκνότητα για κάθε δειγματοληψία θεωρήθηκε η μέση τιμή από το σύνολο των φυτών δειγματοληψίας στον αγρό, για έλεγχο εφαρμογής του νόμου του Taylor. Για εφαρμογή του νόμου του Taylor με δεύτερη μέθοδο υπολογίστηκε ο μέσος όρος και η μέση διακύμανση στο κάθε φυτό ξεχωριστά από όλες τις περιπτώσεις δειγματοληψίας. Γενικά, η εξίσωση του Taylor (1961):

$$S^2 = am^b \quad \text{ή αλλιώς:} \quad \sigma^2 = a\bar{x}^b$$

συσχετίζει τη μέση πληθυσμιακή πυκνότητα (m ή \bar{x}) με τη διακύμανση (S^2 ή σ^2) κάθε δειγματοληψίας (population sample mean), όπως συνήθως απαιτείται για περιπτώσεις τυχαίας δειγματοληψίας. Επειδή όμως στην παρούσα διατριβή ακολουθήθηκε συστηματική δειγματοληψία, κρίθηκε σκόπιμο να εξεταστεί η εφαρμογή του παραπάνω

νόμου, λαμβανομένης υπόψη και της κύμανσης των αφίδων στο ίδιο φυτό (αφού αυτό δεν άλλαζε) στο χρόνο. Έτσι, διαμορφώθηκαν δύο διαφορετικές ομάδες δεδομένων ζευγών “ S^2-m ”: ζεύγη από μέσες τιμές και διακυμάνσεις αφίδων του ίδιου φυτού στο χρόνο, και ζεύγη από μέσες τιμές συνόλου του αγρού.

Για μελέτη χωροταξικής κατανομής των αφίδων στο φυτό υπολογίστηκε ο μέσος όρος για όλα τα φυτά ανά φυτικό τμήμα (άνω-κάτω) και ο συντελεστής παραλλακτικότητας, ως το μέτρο του τυπικού σφάλματος δειγματοληψίας που οφείλεται στον αριθμό (N) δειγματοληπτικών μονάδων (φύλλων) στο φυτό:

$$CV = \frac{SD/\sqrt{N}}{m} 100\% \quad (\text{Karandinos 1976}),$$

όπου SD είναι η τυπική απόκλιση από το μέσο όρο (m).

Ομοίως, για τους αριθμούς αρπακτικών υπολογίστηκε το σύνολο του κάθε είδους ανά εβδομάδα και ο μέσος όρος και η διακύμανση ανά θέση δειγματοληψίας στο χρόνο, καθώς και ο γενικός μέσος όρος και η διακύμανση για κάθε περίπτωση δειγματοληψίας ξεχωριστά.

Για τον έλεγχο προσαρμογής της ασυνεχούς αρνητικής διωνυμικής κατανομής στα δεδομένα πληθυσμιακής διακύμανσης αφίδων εκτιμήθηκε ο δείκτης διασποράς k (aggregation, clumping, contagion exponent, Southwood 1978) για κάθε περίπτωση δειγματοληψίας με τη μέθοδο του Elliot (1977) και με βάση την εξίσωση:

$$k = \frac{m^2}{S^2 - m} \quad (\text{βλ. επίσης και Pielou 1969}).$$

Τα δεδομένα κάθε δειγματοληψίας κατηγοριοποιήθηκαν σε κλάσεις τιμών μέσου όρου και αντιστοιγήθηκαν με συχνότητες εμφάνισης. Η εκτίμηση των προβλεπόμενων τιμών (= συχνοτήτων) της αρνητικής διωνυμικής κατανομής έγινε με βάση την εξίσωση (Bliss & Fisher 1953, Southwood 1978):

$$p_x = \frac{\Gamma(k+x)}{x! \Gamma(k)} \times \left(\frac{\bar{x}}{\bar{x}+k}\right)^x \times \left(\frac{k}{k+\bar{x}}\right)^k$$

όπου:

p_x = η πιθανότητα ύπαρξης των εκτιμώμενων συχνοτήτων,

\bar{x} = ο πραγματικός μέσος όρος,
 x = η συχνότητα εμφάνισης του πραγματικού μέσου όρου \bar{x} ,
 k = ο δείκτης διασποράς της αρνητικής διωνυμικής κατανομής,
 Γ = ο αντिलογάριθμος της συνάρτησης Γ (log-gamma function, $\Gamma(x)$),
 $\Gamma(x) = (x-1)!$, με x ακέραιο αριθμό, και $\Gamma = e^{\Gamma(x)}$.

Οι εκτιμώμενες συχνότητες (N_x) υπολογίστηκαν από τη σχέση:

$$N_x = p_x \cdot \Sigma(x) \text{ (Southwood 1978).}$$

Ο έλεγχος πιστότητας προσαρμογής της καμπύλης της αρνητικής διωνυμικής κατανομής έγινε με σύγκριση πραγματικών (x) και προβλεπόμενων (N_x) συχνοτήτων με χρήση του κριτηρίου X^2 και τη μέθοδο «καλής προσαρμογής της καμπύλης» (“ X^2 test for goodness of fit”, Bliss & Fisher 1953, Karatos *et al.* 1994-1998). Σε περίπτωση μη ύπαρξης στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των ζευγών συχνοτήτων ($P > 0,05$), θεωρήθηκε ότι υπήρξε καλή προσαρμογή με την αρνητική διωνυμική κατανομή.

Επίσης, επειδή σε δεδομένα αγρού με μεγάλη πιθανότητα ύπαρξης ομαδοποιήσεων (χαμηλός δείκτης $k \rightarrow 0$ και μετατόπιση της τυπικής καμπύλης προς τα αριστερά, προσέγγιση της λογαριθμικής κατανομής) δεν προσαρμόζεται πάντα η αρνητική διωνυμική κατανομή (ασυνεχής κατανομή), χρησιμοποιήθηκε η προσαρμογή της κατανομής Γ' (gamma, Weatherburn 1946), της οποίας αποτελεί ειδική μορφή η αρνητική διωνυμική. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε και η λογαριθμική κανονική (lognormal) κατανομή (Gaddum 1945), μία άλλη συνεχής κατανομή της σειράς των λογαριθμικών κατανομών' αυτή η σειρά προσεγγίζεται σε περιπτώσεις με πολύ υψηλό βαθμό συνάθροισης ($k \rightarrow 0$) (Southwood 1978). Επιπροσθέτως, σε όσες περιπτώσεις δεν ήταν εφικτή η προσαρμογή της αρνητικής διωνυμικής κατανομής, ελέγχθηκε και η εφαρμογή των κατανομών X^2 (Chi-square, Pearson 1904) και της εκθετικής (exponential, Wilks 1943). Ο έλεγχος της καλής προσαρμογής έγινε και εδώ με χρήση του κριτηρίου X^2 .

Μοντέλα αλληλεπιδράσεων αφίδων και αρπακτικών (π.χ. Lotka-Volterra ή συναφή) δεν ελέγχθηκαν στην παρούσα μελέτη, καθώς αυτά απαιτούν εκτίμηση δημογραφικών παραμέτρων και στοιχεία γεννήσεων και θνησιμότητας των εντόμων, δεδομένα που δεν καταγράφηκαν στον πειραματικό αγρό.

Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία συλλήψεων περωτών αφίδων από την αναρροφητική παγίδα τύπου Rothamsted, που είναι εγκατεστημένη στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο Μαγνησίας και σε απόσταση 5-6 χλμ από τον πειραματικό αγρό για διερεύνηση συσχετίσεων των αριθμών αφίδων του αγρού με αυτούς της παγίδας.

Τέλος, διαθέσιμα ήταν θερμοκρασιακά και βροχομετρικά δεδομένα της περιοχής Νέας Αγχιάλου Μαγνησίας, τα οποία παρείχε το Περιφερειακό Κέντρο Προστασίας Φυτών και Ποιοτικού Ελέγχου Βόλου, μέσω των πλησιέστερων στο Βόλο διαθέσιμων αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών του τ. Υπουργείου Γεωργίας (βλ. Παράρτημα, σχήμα Π6).

Μετατροπή δεδομένων-στατιστική ανάλυση

Γενικά, στις αναλύσεις της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δύο βασικοί τύποι μετατροπής δεδομένων. Η *λογαριθμική μετατροπή* ($y = \log_{10}(x+1)$ ή $y = \ln(x+1)$) και η μετατροπή σε τιμές *τετραγωνικής ρίζας* ($y = \sqrt{x+1}$). Στην πρώτη περίπτωση η μετατροπή επιβάλλεται για εξομάλυνση κάποιων παραμέτρων (π.χ. μέσου όρου, αθροίσματος κ.λπ.) που έχουν μεγάλες διακυμάνσεις στο χρόνο ή στην αποφυγή μηδενικών τιμών μετρήσεων (Southwood 1978). Στη δεύτερη περίπτωση, η μετατροπή γίνεται για μείωση των διακυμάνσεων στις κατανομές ανάμεσα στις μητρικές τιμές. Συγκεκριμένα, λογαριθμική μετατροπή εφαρμόστηκε στην ανάλυση προσαρμογής της εξίσωσης Taylor και σε όλες τις αναλύσεις και γραφικές παραστάσεις χρονοσειρών. Στις αναλύσεις προσαρμογής κατανομών χρησιμοποιήθηκαν πρωτογενείς μέσοι όροι και οι συχνότητές τους, ενώ σε όλες τις υπόλοιπες αναλύσεις (χωροταξική κατανομή και αναλύσεις παραλλακτικότητας) χρησιμοποιήθηκε η μετατροπή τετραγωνικής ρίζας. Επισημαίνεται, ότι όπου παρουσιάζονται αποτελέσματα αναλύσεων παραλλακτικότητας, οι τιμές τυπικού σφάλματος αφορούν στον πραγματικό μέσο όρο, και όχι σε αυτόν της μετατροπής ρίζας.

Ανάλυση παραλλακτικότητας με έναν παράγοντα (*one-way-ANOVA*) χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο επίδρασης του φυτού και της γραμμής δειγματοληψίας στο μέσο αριθμό αφίδων και αρπακτικών και στην κατανομή αφίδων επί του φυτού. Ο έλεγχος ύπαρξης στατιστικά σημαντικών διαφορών έγινε με τη δοκιμή σημαντικότητας

Duncan. Για τον έλεγχο ύπαρξης συσχετίσεων μεταξύ πληθυσμών αρπακτικών και αφίδων σε χρονοσειρές χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson (r). Για τον έλεγχο προσαρμογής καμπυλών κατανομών συχνοτήτων χρησιμοποιήθηκε το τεστ χ^2 και η ανάλυση παλινδρόμησης (συντελεστής προσδιορισμού R^2). Για τη δημιουργία χαρτών εξάπλωσης στο χώρο και δυναμικής στο χρόνο των πληθυσμών αφίδων και αρπακτικών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος προσαρμογής ισοπληθών γραμμών (contours) με υπολογισμό ελαχίστων τετραγώνων (distance-weighted least squares contour fitting, McLain 1974).

Οι στατιστικές αναλύσεις και η παρουσίαση γραφημάτων έγιναν με χρήση των προγραμμάτων Microsoft® Office Word και Excel 2002 για Windows XP και των στατιστικών πακέτων Statistica v.6 (StatSoft Inc. 2001) και SPSS v.12.0 (SPSS Inc. 2003).

Αποτελέσματα

Πληθυσμιακή διακύμανση αφίδων και αρπακτικών

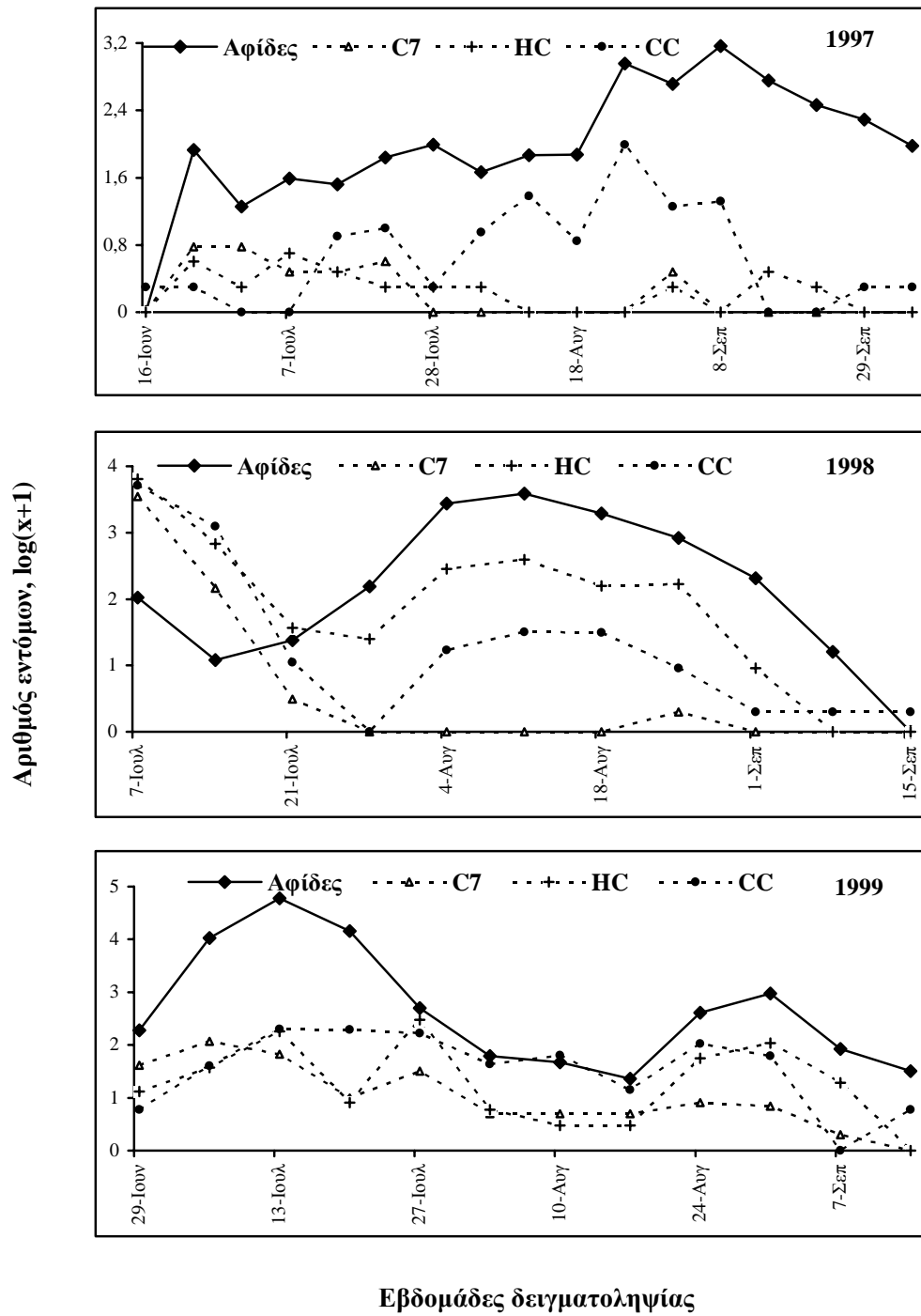
Το έτος 1997 η προσβολή αφίδων ήταν σχετικά χαμηλή (σύνολο περιόδου 4571 αφίδες) σε σχέση με τα έτη 1998 (9831) και 1999 (87352), βλ. πίνακα 1. Το έτος 1999 ήταν για όλη την περιοχή, και γενικά για τις βαμβακοκαλλιέργειες της Θεσσαλίας περίπτωση εξαιρετικά υψηλών προσβολών αφίδων *A. gossypii*. Στο σχήμα 2 απεικονίζονται οι εποχικές διακυμάνσεις της *A. gossypii* που προέκυψαν από την επισκόπηση των φυτών. Η τάση των πληθυσμών εμφάνισε διαφορετικό πρότυπο κάθε έτος μελέτης. Το 1997 παρατηρήθηκε ένα πληθυσμιακό μέγιστο στα μέσα του Σεπτεμβρίου, ενώ το 1998 ένα, όχι τόσο σαφές, στις αρχές Ιουλίου και ένα στις αρχές Αυγούστου. Αντίθετα, το 1999 τα δύο μέγιστα εμφανίστηκαν ένα στα μέσα Ιουλίου και ένα περί τα τέλη Αυγούστου με αρχές Σεπτεμβρίου. Οι πληθυσμοί των αφίδων ελαττώθηκαν και τελικά μηδενίστηκαν στα μέσα Σεπτεμβρίου του 1998, ενώ το 1997 και 1999 οι αριθμοί παρέμειναν μέχρι και τα μέσα Σεπτεμβρίου και τις αρχές Οκτωβρίου αντίστοιχα, αλλά σε πολύ χαμηλά επίπεδα και εντοπισμένα σε μικρές εστίες. Τέλος, από το σχήμα 3 διαπιστώνεται συμφωνία μεταξύ της διακύμανσης των πληθυσμών του αγρού με αυτούς της αναρροφητικής παγίδας, αν και στην πρώτη περίπτωση καταμετρούνται

άπτερα άτομα, ενώ στη δεύτερη παγιδεύονται πετρωτά. Σε όλα τα έτη οι συντελεστές συσχέτισης ήταν υψηλοί ($r = 0,73-0,90$, $P < 0,01$).

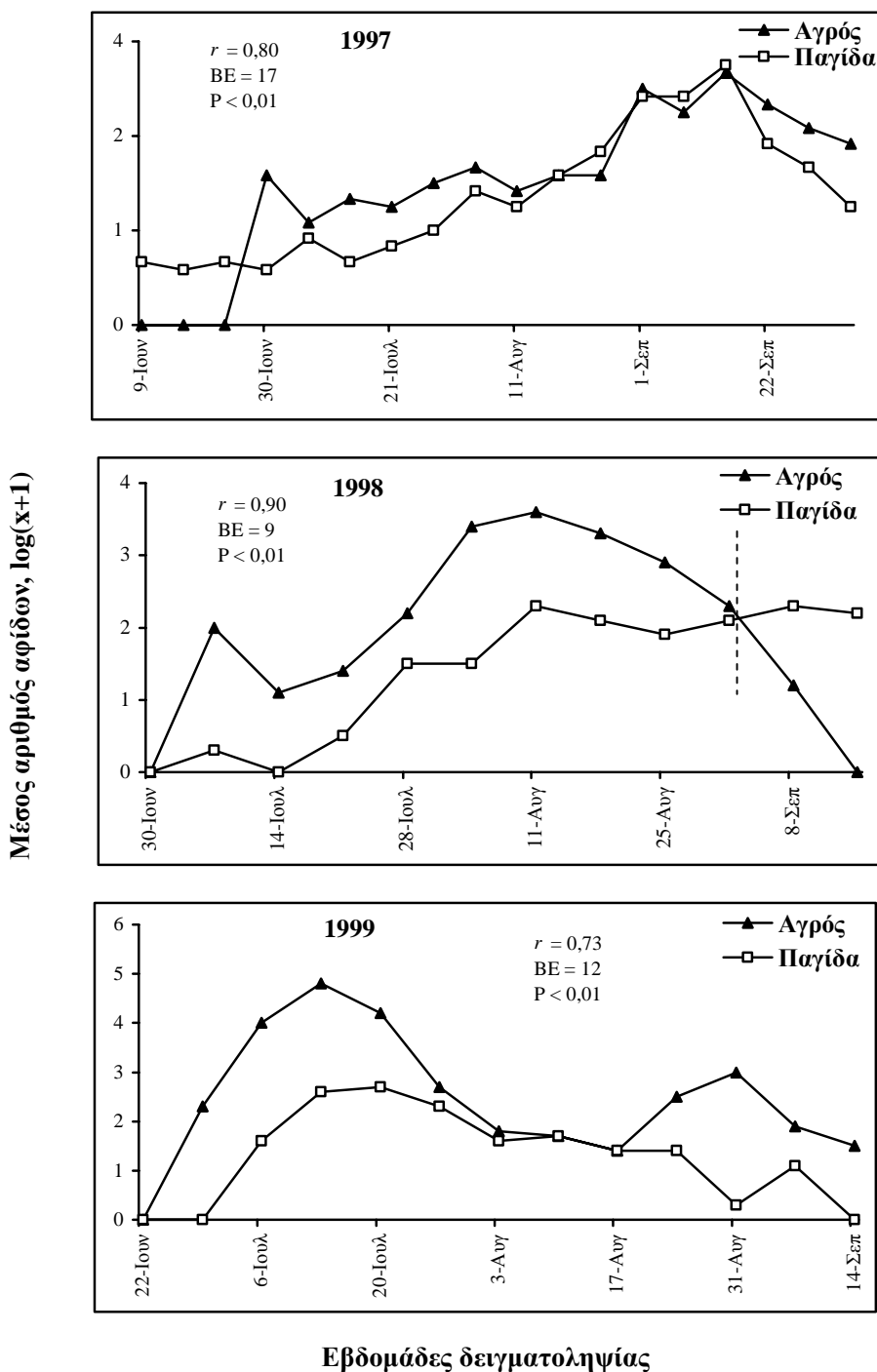
Τα είδη αρπακτικών που βρέθηκαν συνολικά στα τρία έτη των δειγματοληψιών ήταν κατά σειρά αφθονίας: *C. carnea* s.l. 38%, *H. convergens* 34% και *C. septempunctata* 18%, ενώ λιγότερο συχνά βρέθηκαν τα: *Adonia* (= *Hippodamia*) *variegata* (Goeze) 0,4%, *Adalia bipunctata* L. 0,6%, *Coccinella magnifica* Redtenbacher 0,2%, αρπακτικά ημίπτερα Anthocoridae 1,9% και είδη του γένους *Nabis* (Hemiptera: Nabidae) 6,9% (πίνακας 1). Η μελέτη της πληθυσμιακής διακύμανσης περιορίστηκε στα τρία πρώτα είδη, που ήταν και τα πολυπληθέστερα (90% του συνολικού αριθμού αρπακτικών) και οι πολύ κοινοί φυσικοί εχθροί τόσο στο βαμβάκι, όσο και σε άλλες καλλιέργειες (καπνός, ροδακινιά, κηπευτικά) στην Ελλάδα (Σουλιώτης 1995, Katsarou *et al.* 2005, Karagounis *et al.* 2006). Ανάμεσα στα είδη αυτά, το πιο άφθονο ήταν το *C. carnea* s.l. (42%) και ακολούθησαν τα *H. convergens* (38%) και *C. septempunctata* (20%). Το *C. carnea* ήταν το πολυπληθέστερο είδος κατά τα έτη 1997 και 1999, ενώ το *H. convergens* ήταν το αφθονότερο το 1998 (πίνακας 1).

Πίνακας 1. Σύνολα αφίδων και αρπακτικών που καταγράφηκαν στον αγρό

Είδος εντόμου	Αριθμός εντόμων		
	1997	1998	1999
<i>Aphis gossypii</i>	4571	9831	87352
<i>Coccinella septempunctata</i>	19	404	287
<i>Chrysoperla carnea</i>	188	433	887
<i>Hippodamia convergens</i>	15	611	733
<i>Adonia variegata</i>	1	12	2
<i>Adalia bipunctata</i>	4	3	17
<i>Coccinella magnifica</i>	1	2	5
<i>Nabis</i> sp.	7	128	139
Anthocoridae	4	52	20



Σχήμα 2. Συνδιακύμανση πληθυσμών (στο σύνολο του αγρού) αφίδων και αρπακτικών (C7 = *Coccinella septempunctata*, HC = *Hippodamia convergens*, CC = *Chrysoperla carnea* s.l.) (βλ. και πίνακα 2 για επιμέρους συσχετίσεις)



Σχήμα 3. Συνδιακύμανση πληθυσμών αφίδων του πειραματικού αγρού με αυτών των συλλήψεων περωτών της αναρροφητικής παγίδας τύπου Rothamsted στο Βελεστίνο Μαγνησίας (~5χλμ από τον πειραματικό αγρό). Η διακεκομμένη κατακόρυφη γραμμή δηλώνει το πέρας της περιοχής συσχετίσεων (r = συντελεστής συσχέτισης Pearson, BE = βαθμοί ελευθερίας).

Σε γενικές γραμμές, η διακύμανση των πληθυσμών των αρπακτικών ακολούθησε αυτή των αφίδων. Αν και οι διακυμάνσεις των αρπακτικών έδειξαν διαφορετικά πρότυπα, παρουσιάστηκαν επίσης και ομοιότητες. Κατά το 1997 και 1999 όλα τα είδη εμφάνισαν τρία μέγιστα στους αριθμούς που καταγράφηκαν (πιθανώς αντικατοπτρίζουν διαφορετικές γενιές), ενώ το 1998 τα *C. carnea* και *H. convergens* παρουσίασαν δύο μέγιστα στην καλλιεργητική περίοδο. Τα δύο κολεόπτερα σε δύο περιπτώσεις εμφανίζουν μία μεγάλη ενδιάμεση περίοδο απουσίας από τον αγρό (περίπου τριών εβδομάδων). Από την άλλη πλευρά, το 1998 οι πληθυσμοί του *C. septempunctata* εμφάνισαν μόνο ένα μέγιστο και μετά απουσίασαν εντελώς από τον αγρό. Επίσης, το *C. carnea* έμεινε περισσότερο χρονικό διάστημα στον αγρό, αφού οι πρώτες ωοθεσίες του βρέθηκαν νωρίτερα από τους πληθυσμούς των αφίδων, και παρέμεινε, σε χαμηλούς βέβαια πληθυσμούς, αλλά μέχρι τέλη Σεπτεμβρίου-Οκτώβριο όλων των ετών.

Συσχέτιση πληθυσμών αφίδων και αρπακτικών

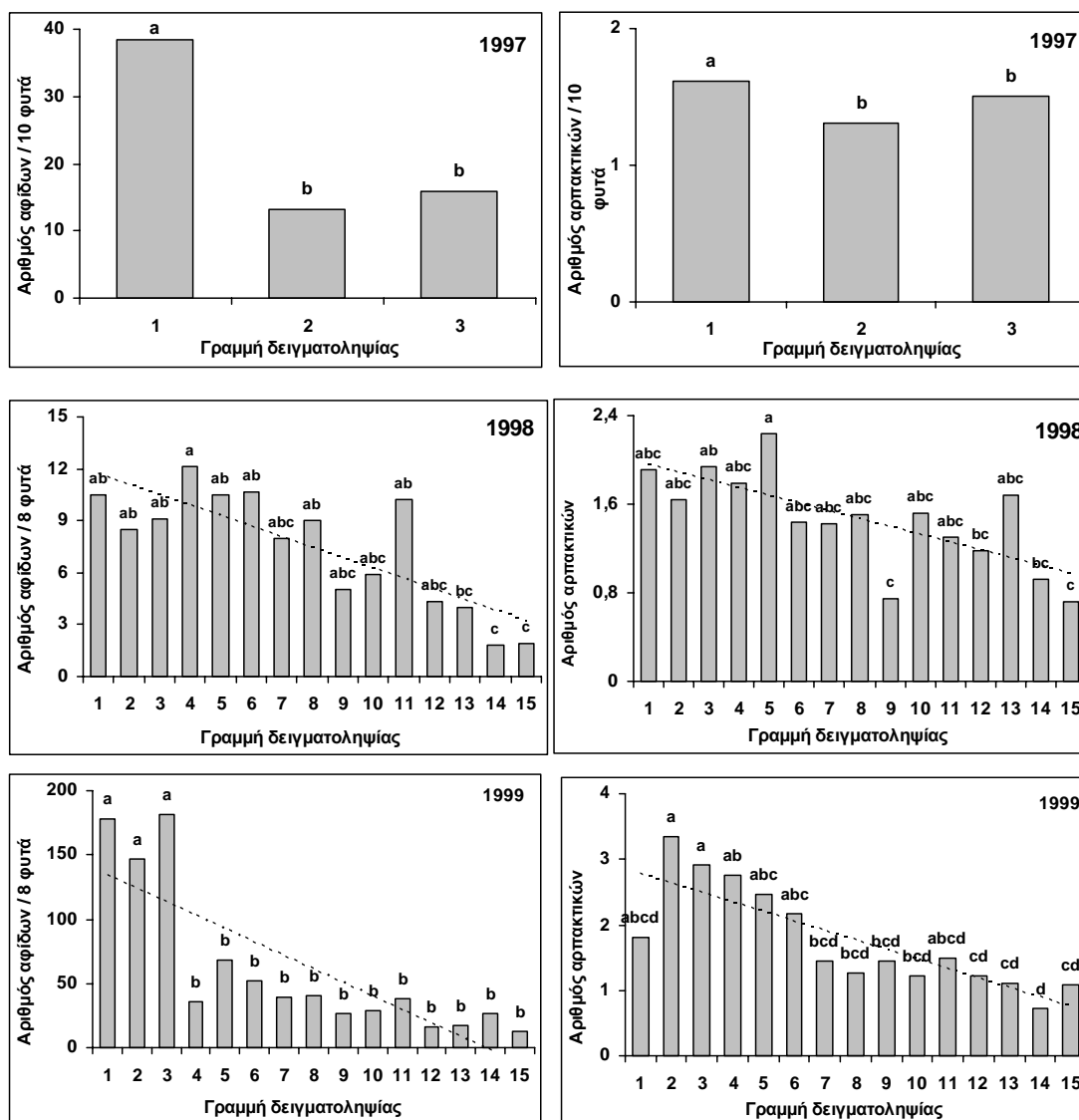
Στον πίνακα 2 απεικονίζονται οι συσχετίσεις μεταξύ πληθυσμών αφίδων και συνόλου αρπακτικών στη χρονοσειρά συνδιακυμάνσεων. Παρατηρείται ότι σε όλες τις εβδομάδες παρατηρήσεων εκτός από τις 7-11 του 1997, προκύπτουν σημαντικές συσχετίσεις. Συνολικά σε κάθε χρονοσειρά δεν υπάρχουν πάντα συσχετίσεις είτε με κάθε είδος αρπακτικού ξεχωριστά είτε στο σύνολο, αφού οι κυμάνσεις είναι υψηλές και μεγάλου εύρους' γι' αυτό και έγινε προσπάθεια διαχωρισμού των χρονοσειρών σε περιοχές με τις βέλτιστες συσχετίσεις (αντιπαραβολή με σχήμα 2). Έτσι, το έτος 1997 δεν προέκυψαν σημαντικές συσχετίσεις, λόγω πιθανώς του μικρού αριθμού αρπακτικών και των λίγων σειρών δειγματοληψίας. Το 1998 και το 1999 όμως η εικόνα ήταν διαφορετική, αφού σε πολλές περιπτώσεις οι συσχετίσεις με τα επιμέρους είδη αρπακτικών, ακόμη και αυτές με το σύνολο των αρπακτικών ήταν στατιστικώς σημαντικές και ιδιαίτερα υψηλές. Ιδιαίτερα το 1999, οι συσχετίσεις στο σύνολο των ειδών των κολεοπτέρων και ξεχωριστά, καθώς και στο σύνολο της περιόδου ήταν σημαντικές και υψηλές. Τέλος, στο *C. carnea*, παρ' όλο που οι συσχετίσεις του 1999 ήταν υψηλές ($r > 0,90$), δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές.

Πίνακας 2. Συσχέτιση (συντελεστής συσχέτισης Pearson, r) πληθυσμών αφίδων και αρπακτικών (C7 = *Coccinella septempunctata*, HC = *Hippodamia convergens*, CC = *Chrysoperla carnea* s.l.) στα τρία έτη δειγματοληψίας. Οι σημαντικές συσχετίσεις έχουν επισημανθεί (N = αριθμός ζευγών τιμών συσχέτισης).

Εβδομάδα	Συσχέτιση πληθυσμών αφίδων με πληθυσμούς:								
	N	C7		HC		CC		Σύνολο αρπακτικών	
		r	P	r	P	r	P	r	P
1997									
1-6	6	0,84	< 0,05	0,79	< 0,059	0,26	< 0,623	0,96	< 0,01
7-11	5	-	-	-	-	0,76	< 0,05	0,58	< 0,136
12-17	6	0,18	< 0,731	0,25	< 0,627	0,72	< 0,105	0,85	< 0,05
Σύνολο	17	-0,217	< 0,404	-0,07	< 0,798	0,35	< 0,170	0,40	1
1998									
1-4	4	-0,176	< 0,757	0,39	< 0,05	0,46	< 0,073	0,66	< 0,05
5-11	7	0,86	< 0,05	0,37	< 0,335	0,77	< 0,068	0,84	< 0,05
Σύνολο	11	0,52	< 0,099	-0,21	< 0,537	0,14	< 0,690	0	1
1999									
1-4	4	0,06	< 0,939	0,59	< 0,415	0,94	< 0,062	0,99	< 0,05
5-8	4	0,95	< 0,05	0,97	< 0,05	0,91	< 0,087	0,98	< 0,05
9-12	4	0,96	< 0,05	0,99	< 0,01	0,91	< 0,085	0,98	< 0,05
Σύνολο	12	0,72	< 0,01	0,59	< 0,05	0,61	< 0,05	0,77	< 0,01

Χωροταξική κατανομή αφίδων και αρπακτικών

Στο σχήμα 4 δίδονται οι μέσοι αριθμοί αφίδων και αρπακτικών ανά γραμμή δειγματοληψίας στα τρία έτη του πειράματος. Παρατηρείται ότι το έτος 1997 οι στατιστικώς σημαντικά ($F_{2, 27} = 6,44, P < 0,001$) μεγαλύτεροι πληθυσμοί βρέθηκαν στο ανατολικό άκρο του αγρού με μία σαφή τάση ελάττωσής τους με κατεύθυνση προς το μέσο και το δυτικό άκρο, γεγονός που παρατηρήθηκε και στα έτη 1998 ($F_{14, 105} = 2,18, P < 0,01$) και 1999 ($F_{14, 105} = 5,18, P < 0,001$), βλ. και Παράρτημα, πίνακες Π1-Π2. Ειδικά το 1999, οι τρεις πρώτες γραμμές δειγματοληψίας του ανατολικού άκρου συγκέντρωσαν σχεδόν τριπλάσιους αριθμούς αφίδων σε σχέση με τον υπόλοιπο αγρό.



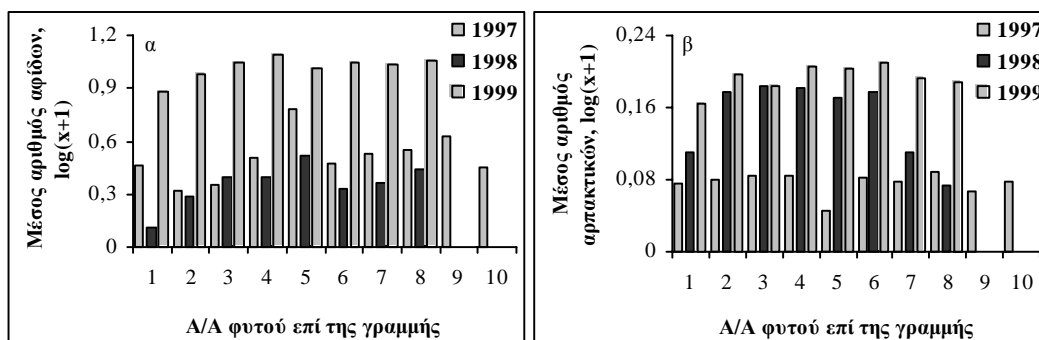
Σχήμα 4. Μέσοι αριθμοί αφίδων και αρπακτικών ανά γραμμή δειγματοληψίας κατά τα έτη 1997-1999

Παρόμοια τάση ελάττωσης του αριθμού αρπακτικών στον αγρό με κατεύθυνση από ανατολή προς δύση σημειώθηκε και στο συνολικό αριθμό αρπακτικών που βρέθηκαν στις θέσεις δειγματοληψίας κατά τα τρία έτη. Ίσως αυτή να σχετίζεται και με την εντονότερη παρουσία αφίδων στο ανατολικό άκρο. Κατά το 1997, ο στατιστικώς

σημαντικά υψηλότερος αριθμός αρπακτικών σημειώθηκε στη γραμμή 1, ενώ το 1998 και 1999 στις γραμμές 4 και 2, 3 αντίστοιχα.

Αναφορικά με την αφθονία αφίδων στο ίδιο φυτό κάθε σειράς (σχήμα 5 και Παράρτημα, πίνακας Π3), παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην προσβολή από αφίδες ως προς το φυτό επί της γραμμής. Συγκεκριμένα, το 1997 και το 1998 το κέντρο του αγρού ως προς τη μικρή του διάσταση, και συγκεκριμένα το πέμπτο φυτό επί της γραμμής συγκέντρωσε τον κατά μέσο όρο σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό αφίδων ($5,02$, $F_{9, 2} = 4,79$, $P < 0,001$ και $2,31$, $F_{7, 14} = 12,24$, $P < 0,001$). Το 1999 το φυτό με τη μεγαλύτερη μέση προσβολή ήταν το τέταρτο της γραμμής ($11,40$, $F_{7, 14} = 2,03$, $P < 0,05$).

Αντίστοιχα, για την αφθονία των αρπακτικών ανά θέση επάνω στη γραμμή, παρατηρούμε ότι τα έτη 1997 και 1999 δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο μέσο αριθμό αρπακτικών, ενώ το 1998 οι θέσεις με το μεγαλύτερο αριθμό ήταν οι 2-6, χωρίς να υπάρχουν σημαντικές διαφορές. Το 1997, η μέση αφθονία αρπακτικών κυμάνθηκε από 0,17 έως 0,23, για το 1998 από 0,19 έως 0,53 και το 1999 από 0,46 έως 0,62 άτομα ανά θέση δειγματοληψίας.



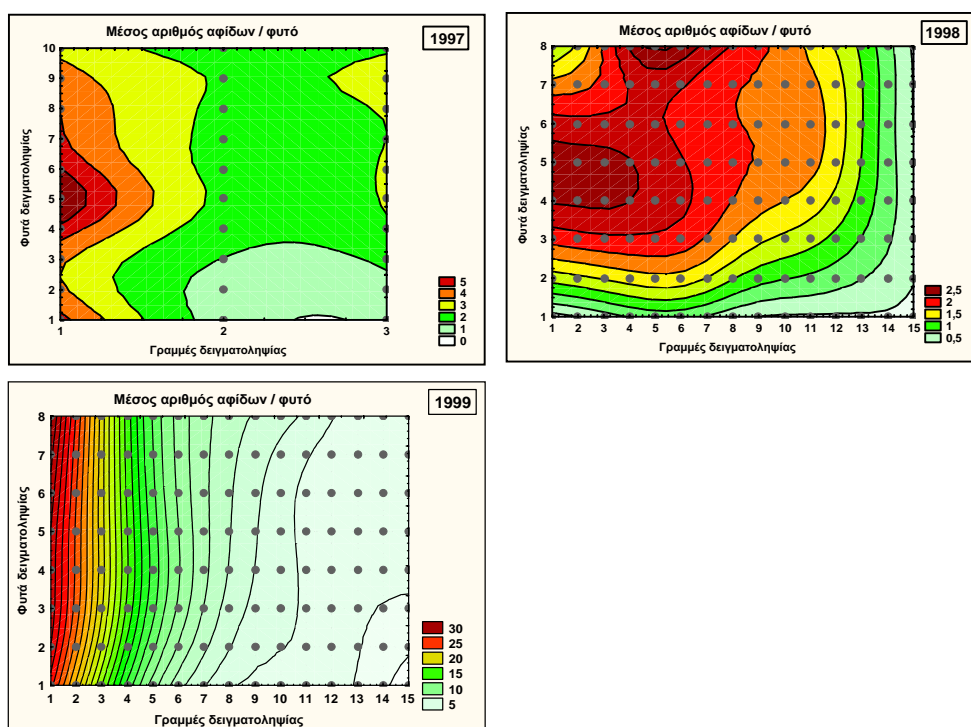
Σχήμα 5. Κατανομή πληθυσμών αφίδων (**α**) και αρπακτικών (**β**) ανά φυτό επί της γραμμής για τα τρία έτη δειγματοληψίας

Στα σχήματα 6-9 φαίνονται χάρτες ισοπληθών καμπυλών χωροταξικής κατανομής με βάση το μέσο αριθμό αφίδων και αρπακτικών για όλη την περίοδο δειγματοληψίας και στα σχήματα Π1-Π2 (Παράρτημα) με βάση τη διαχρονική εξάπλωση

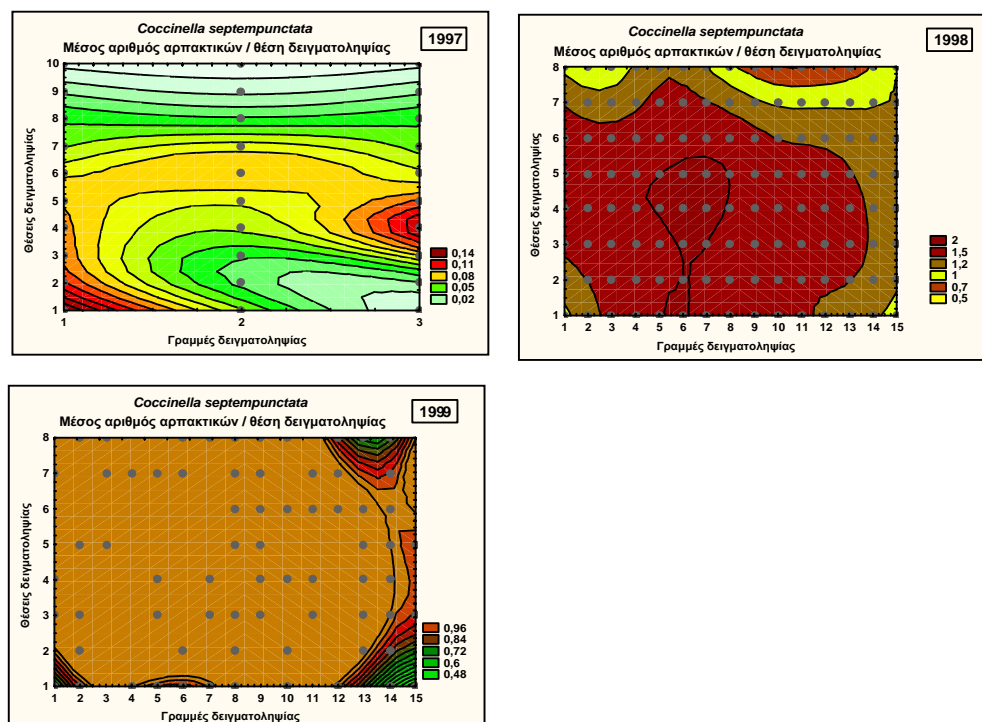
των αφίδων για κάθε έτος. Εδώ επιβεβαιώνεται η συγκέντρωση μεγάλου αριθμού αφίδων στις γραμμές του ανατολικού άκρου προς το μέσο του αγρού και στο μέσο περίπου των γραμμών (γραμμές 4-5) που είχε διαπιστωθεί από τους πίνακες Π1-Π2 (Παράρτημα) σε αντιπαράβολή με τον πίνακα Π3 (Παράρτημα) και το σχήμα 4. Το πρότυπο της στρωμάτωσης αυτής είναι πιο ισχυρό το 1997 και 1999, ενώ το 1998 υπάρχει μία μικρή μετατόπιση της προσβολής και προς το νότιο άκρο. Επίσης, είναι σαφής η συγκριτικά ελάχιστη προσβολή στις γραμμές 14-15, όπου όπως έχει αναφερθεί, τα φυτά ήταν σχετικά καχεκτικά.

Η μεταβολή των πληθυσμών των αφίδων στο χρόνο (Παράρτημα, σχήματα Π1-Π3) δείχνει αφενός σε πολλές περιπτώσεις ύπαρξη ομαδοποιήσεων, δηλαδή εστίες πληθυσμών, και αφετέρου την εξέλιξη της προσβολής σε κύματα. Το 1997 παρουσιάζει τις περισσότερες τέτοιες περιπτώσεις, ενώ τα άλλα δύο έτη η εξάπλωση είναι ομαλότερη. Και τα τρία έτη της μελέτης η προσβολή αρχίζει από πολύ χαμηλά επίπεδα (το 1997 από μηδενικό) και καταλήγει το Σεπτέμβριο-Οκτώβριο πάλι σε πολύ χαμηλά επίπεδα (το 1998 μηδενίζεται). Σε γενικές γραμμές, η προσβολή αρχίζει από το ανατολικό άκρο και εξαπλώνεται στον αγρό. Κατά το 1998, που υπάρχει μόνο ένα πληθυσμιακό μέγιστο, οι πληθυσμοί αναπτύσσονται από το ανατολικό άκρο και εξαπλώνονται στον αγρό. Με τη λήξη της περιόδου παραμένουν κάποιες αφίδες και πάλι στο ανατολικό άκρο, πριν οι πληθυσμοί μηδενιστούν. Αλλά και το 1997 και 1999, που υπάρχει και όσιμη προσβολή περί τα τέλη Αυγούστου-αρχές Σεπτεμβρίου (εβδομάδες 9-11 των παρατηρήσεων), αυτή ξεκινά και πάλι από τις 2-3 πρώτες γραμμές του ανατολικού άκρου, ενώ το διάστημα ανάμεσα στις δύο προσβολές (τέλη Ιουλίου-μέσα Αυγούστου) οι πληθυσμοί διασπείρονται αρκετά ομοιόμορφα στον αγρό.

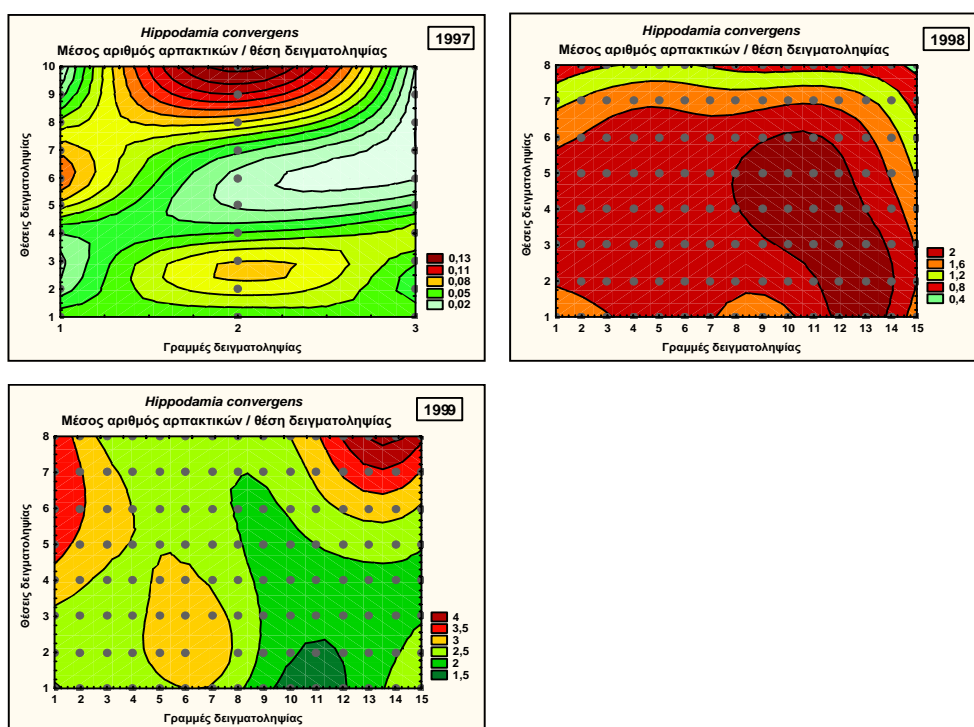
Τέλος, η χωροταξική κατανομή των αρπακτικών παρουσιάζει μια ομαλότερη εικόνα με λιγότερα σημεία συναθροίσεων (σχήματα 6-9), γεγονός που ίσως επηρεάζεται από τη συμπεριφορά εξεύρεσης λείας και από τη μεγάλη κινητικότητα λόγω πτήσης των αρπακτικών. Ειδικότερα, τα δύο Coccinellidae (και ιδίως το *C. septempunctata* το 1999) διασπείρονται περισσότερο από το *C. carnea*, το οποίο το 1997 απαντάται σημαντικά περισσότερο στο νοτιοανατολικό, βορειοανατολικό και δυτικό άκρο του αγρού, ενώ κατά τα άλλα δύο έτη περισσότερο στο ανατολικό άκρο.



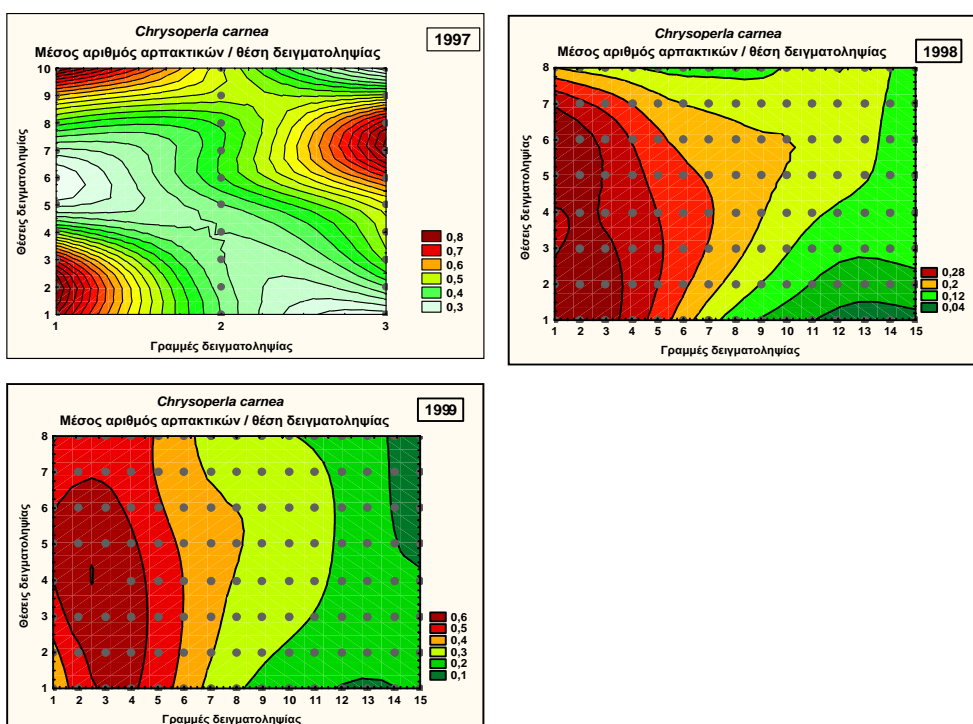
Σχήμα 6. Χάρτες χωροταξικής κατανομής μέσου αριθμού αφίδων για όλη την περίοδο δειγματοληψίας



Σχήμα 7. Χάρτες χωροταξικής κατανομής μέσου αριθμού *Coccinella septempunctata* για όλη την περίοδο δειγματοληψίας



Σχήμα 8. Χάρτες χωροταξικής κατανομής μέσου αριθμού *Hippodamia convergens* για όλη την περίοδο δειγματοληψίας



Σχήμα 9. Χάρτες χωροταξικής κατανομής μέσου αριθμού *Chrysoperla carnea* για όλη την περίοδο δειγματοληψίας

Κατανομή αφίδων στο φυτό

Στον πίνακα 3 φαίνεται η κατανομή των αφίδων στο πάνω και κάτω τμήμα του φυτού. Όλα τα έτη περισσότερο προσβεβλημένο ήταν το κάτω τμήμα. Κατά το 1997 δε σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (2,11 και 2,36 αφίδες στο άνω και κάτω τμήμα αντίστοιχα). Κατά το 1998 οι αντίστοιχοι αριθμοί ήταν 0,34 και 1,52 αφίδες, ενώ το 1999 ήταν 3,51 και 11,41 αφίδες αντίστοιχα.

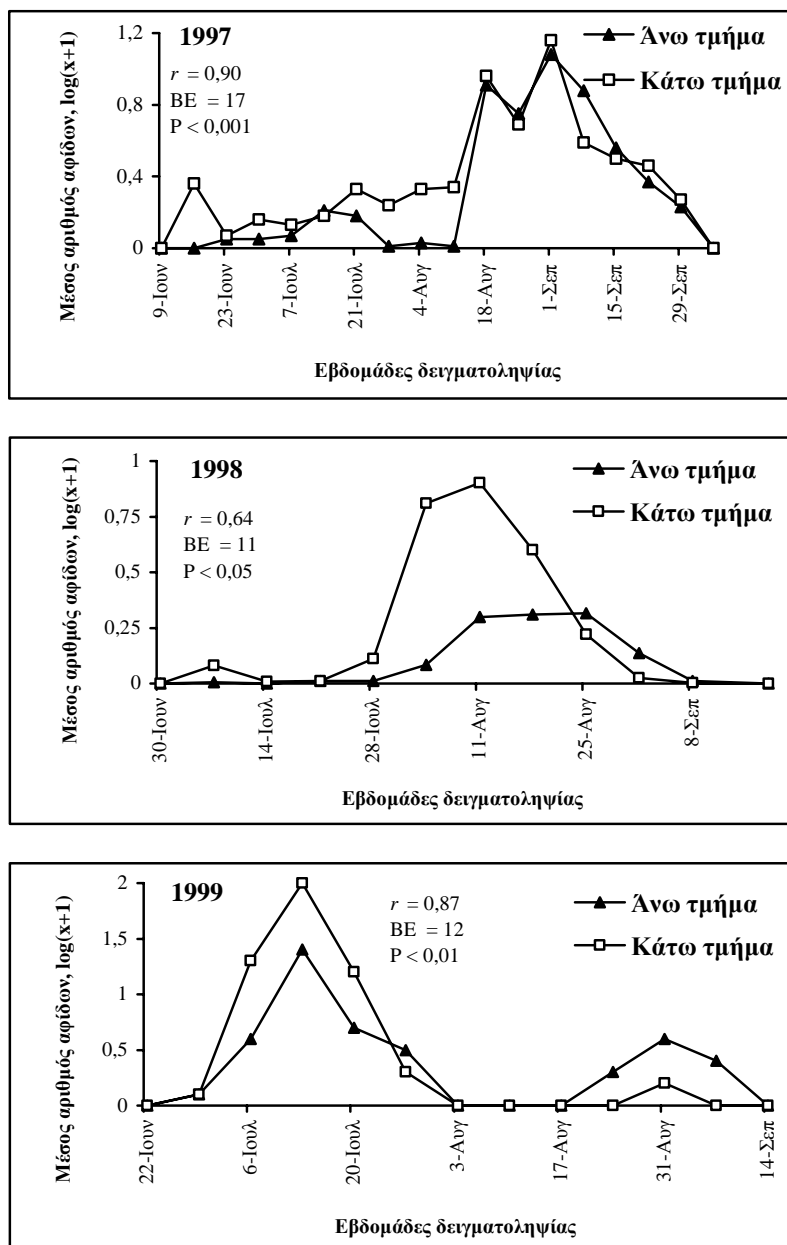
Πίνακας 3. Κατανομή αφίδων (ΜΟ±ΤΣ) ανά φυτικό τμήμα (μέση τιμή φυτού σε όλη την περίοδο δειγματοληψίας). N = αριθμός φύλλων δειγματοληψίας.

Έτος	N	Άνω τμήμα	Κάτω τμήμα	F	P
1997	60	2,11±0,42 ^a	2,36±0,37 ^a	$F_{1,58} = 0,347$	< 0,558
1998	240	0,34±0,04 ^a	1,52±0,15 ^b	$F_{1,238} = 75,521$	< 0,001
1999	240	3,51±0,41 ^a	11,41±0,82 ^b	$F_{1,238} = 101,00$	< 0,001

Οι μέσοι όροι σε κάθε γραμμή, που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά με βάση τη δοκιμή Duncan. Η ανάλυση έγινε σε στοιχεία που μετατράπηκαν σε νέες τιμές με βάση την εξίσωση $y = \sqrt{x+1}$.

Όσον αφορά στη διακύμανση των αφίδων στο χρόνο ανά φυτικό μέρος (σχήμα 10), και τα τρία έτη οι χρονοσειρές ακολούθησαν η μία την άλλη χωρίς χρονικές υστερήσεις και με ικανοποιητικές συσχετίσεις ($r = 0,64-0,90$). Επίσης, διαπιστώνεται ότι η προσβολή σε κάθε περίοδο ξεκινά από τα κατώτερα φύλλα, αλλά οι όψιμες προσβολές αρχίζουν από το άνω φυτικό μέρος, που μετά τα τέλη Αυγούστου είναι τρυφερότερο λόγω αναβλαστήσεων από τις παρατηρούμενες όψιμες βροχοπτώσεις. Η παραλλακτικότητα, που οφείλεται στο σφάλμα λόγω αριθμού δειγμάτων (φύλλων) επί του φυτού, ήταν, όπως συνήθως παρατηρείται, αρκετά μεγάλη (CV = 10-90%), αλλά αρκετά μικρότερη από αυτή που εμφανίστηκε από φυτό σε φυτό (CV > 100%), όπως συμβαίνει συνήθως σε μεταβολές πληθυσμών, όπου η διακύμανση είναι μεγαλύτερη του μέσου όρου (Southwood 1978). Ο συντελεστής παραλλακτικότητας ελαχιστοποιούταν

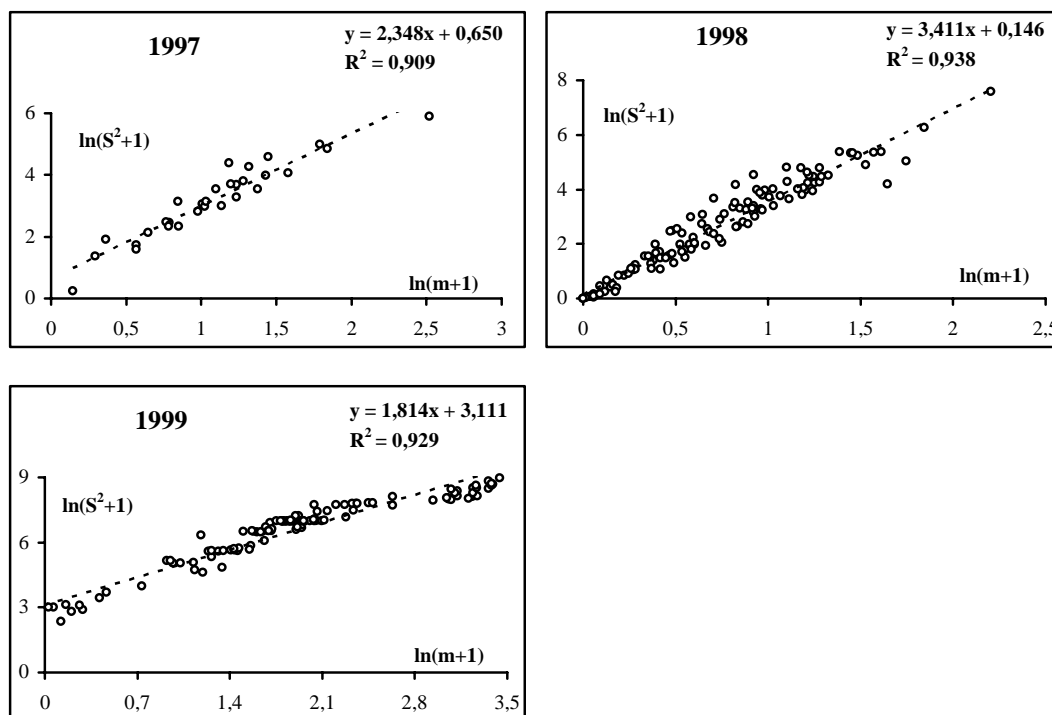
στις περιπτώσεις των πληθυσμιακών μεγίστων και σε αυτές με τις μεγαλύτερες τιμές του δείκτη διασποράς (k).



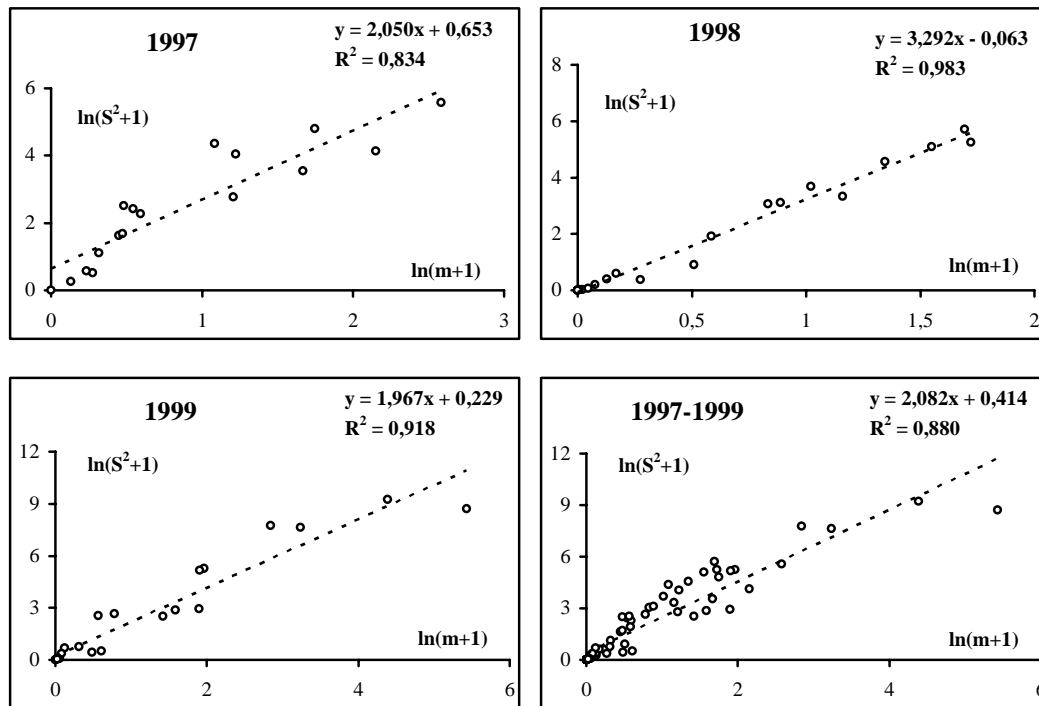
Σχήμα 10. Πληθυσμιακή διακύμανση αφίδων ανά φυτικό τμήμα στα τρία έτη της δειγματοληψίας

Η εξίσωση Taylor

Σε όλες τις συγκρίσεις μέσου όρου (m) και διακύμανσης (S^2) πληθυσμών αφίδων, τόσο στα ζεύγη από μέσες τιμές και διακυμάνσεις του ίδιου φυτού στο χρόνο (σχήμα 11), όσο και στα ζεύγη από μέσες τιμές συνόλου αγρού ανά περίπτωση δειγματοληψίας (σχήμα 12) υπήρξε πολύ καλή γραμμική συσχέτιση με υψηλούς συντελεστές συσχέτισης και παλινδρόμησης (Παράρτημα, πίνακας Π4). Η καλή αυτή γραμμική παλινδρόμηση αντικατοπτρίζει την καλή εφαρμογή του νόμου Taylor και την ανυπαρξία τυχαίας ή ομοιόμορφης κατανομής πληθυσμών. Το γεγονός της ύπαρξης περιοχών συγκέντρωσης αφίδων (patches, clumps, aggregations) που αποκαλύφθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. σχήμα 6 και Παράρτημα σχήματα Π1-Π3) επιβεβαιώνεται και εδώ με τη χρήση του δείκτη ομαδοποίησης b της εξίσωσης του Taylor (ή αλλιώς η κλίση της ευθείας). Ο δείκτης ήταν μεγαλύτερος το 1998 ($b = 3,3$, $R^2 = 0,98$), μικρότερος το 1999 ($b = 1,9$, $R^2 = 0,92$) και ενδιάμεσος το 1997 ($b = 2,1$, $R^2 = 0,83$), ενώ για το σύνολο των παρατηρήσεων των τριών ετών είχε την τιμή 2,1 ($R^2 = 0,88$).



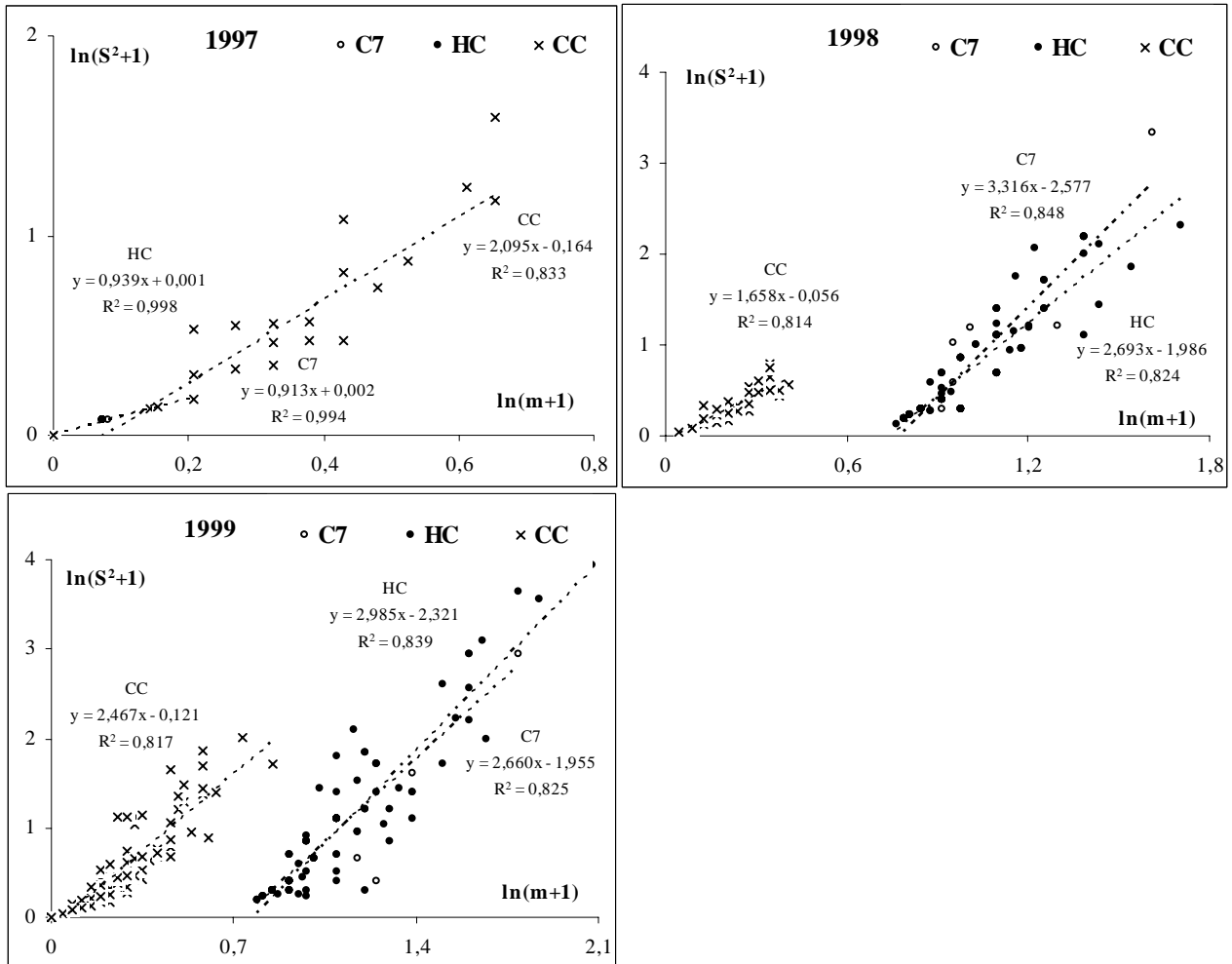
Σχήμα 11. Παλινδρόμηση μεταξύ διακύμανσης (S^2) και μέσου όρου (m) αφίδων για έλεγχο προσαρμογής του μοντέλου Taylor στα τρία έτη της δειγματοληψίας (m = μέση τιμή αφίδων ανά φύλλο του ίδιου φυτού για όλη την περίοδο)



Σχήμα 12. Παλινδρόμηση μεταξύ διακύμανσης (S^2) και μέσου όρου (m) αφίδων για έλεγχο προσαρμογής του μοντέλου Taylor στα τρία έτη της δειγματοληψίας (m = μέση πυκνότητα πληθυσμού αφίδων στον αγρό ανά περίπτωση δειγματοληψίας)

Η εφαρμογή της εξίσωσης Taylor στους πληθυσμούς αρπακτικών ήταν σε γενικές γραμμές καλή, αλλά όχι τόσο, όσο αυτή στις αφίδες (σχήμα 13). Ενδιαφέρον υπάρχει στα έτη 1998-1999, στα οποία οι ευθείες παλινδρόμησης των δύο κολεοπτέρων ήταν η μία πλησίον της άλλης, ενώ αρκετά απομακρυσμένες από αυτή του νευροπτέρου, με μετατόπιση στον άξονα x, υποδηλώνοντας μικρότερη τιμή συντελεστή a . Το 1997 οι τιμές του δείκτη b ήταν 2,10 ($R^2 = 0,833$) στο *C. carnea* s.l., και 0,91 ($R^2 = 0,994$) και 0,94 ($R^2 = 0,998$), στα *C. septempunctata* και *H. convergens* αντίστοιχα, δηλώνοντας πιο ομοιόμορφη κατανομή πληθυσμών στα δύο κολεόπτερα. Στα επόμενα δύο έτη, η κατάσταση ήταν διαφορετική. Οι τιμές του δείκτη b ήταν μεγαλύτερες του 1 (ανυπαρξία ομοιόμορφης και τυχαίας κατανομής) σε όλες τις περιπτώσεις και στο εύρος 1,6-2,5 ($R^2 = 0,81$ -0,82) για το νευρόπτερο και 2,6-3,3 ($R^2 = 0,82$ -0,84) για τα δύο κολεόπτερα έντομα, υποδηλώνοντας μεγαλύτερο βαθμό ομαδοποίησης στα τελευταία. Πάντως, η

διαφορές στις τιμές του δείκτη b στα Coccinellidae των ετών 1998-1999 με εκείνες του 1997, ίσως να οφείλονται και στη σημαντικά μικρότερη παρουσία τους το 1997.



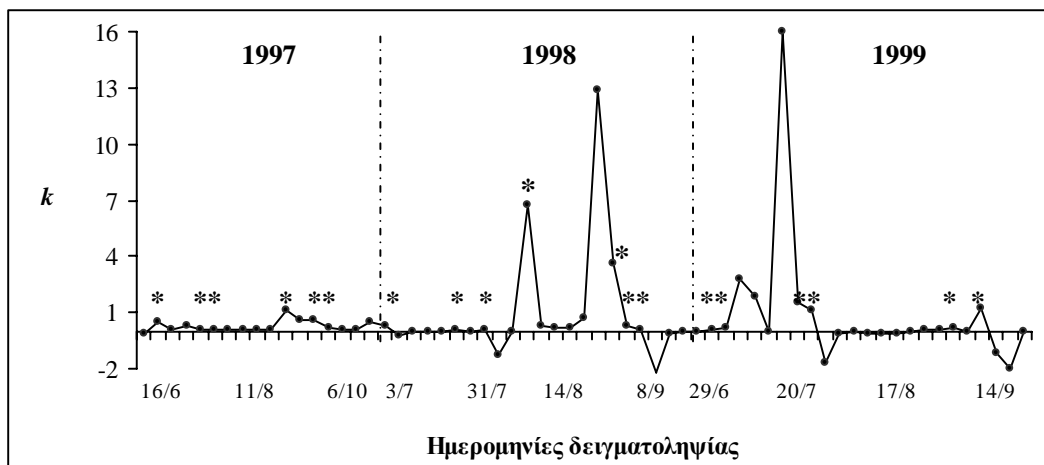
Σχήμα 13. Παλινδρόμηση μεταξύ διακύμανσης (S^2) και μέσου όρου (m) αρπακτικών για έλεγχο προσαρμογής του μοντέλου Taylor στα τρία έτη της δειγματοληψίας (m = μέση τιμή αρπακτικών ανά θέση δειγματοληψίας για όλη την περίοδο, C7 = *Coccinella septempunctata*, HC = *Hippodamia convergens*, CC = *Chrysoperla carnea* s.l.)

Κατανομές συχνοτήτων

α'. Πληθυσμοί αφίδων

Ο δείκτης διασποράς k της αρνητικής διωνυμικής κατανομής φαίνεται ανά περίπτωση δειγματοληψίας στο σχήμα 14. Σε γενικές γραμμές, ο δείκτης ήταν πολύ

χαμηλός ($\ll 2$), δηλώνοντας πολύ μεγάλες συναθροίσεις σε περιοχές και όχι ομοιόμορφη ή τυχαία διασπορά των αφίδων στον αγρό. Πολλές φορές ήταν μηδενικός ή αρνητικός, δηλώνοντας πολύ μικρούς μέσους αριθμούς αφίδων, μεγαλύτερους από τη διακύμανση ή λίγες κλάσεις συχνότητας (< 4) στην ανάλυση, γεγονός που ίσχυσε κυρίως στην έναρξη και λήξη των περιόδων δειγματοληψίας, καθώς επίσης και σε απουσία αφίδων. Υπήρξαν βέβαια και περιπτώσεις υψηλού δείκτη ($k = 2,8-16$), που δείχνουν διασπορά των αφίδων στον αγρό (ημερομηνίες: 7-8-98, 25-8-98, 28-8-98, 9-7-99 και 20-7-99). Στις περιπτώσεις με δείκτη 2,8, 12,9 και 16 δεν υπήρξε εφαρμογή της αρνητικής διωνυμικής κατανομής. Ίσχυσε όμως σε 6 από τις 17 περιπτώσεις το 1997, σε 7 από τις 22 το 1998 και σε 6 από τις 24 το 1999, συνολικά στο 30% των δειγματοληψιών. Γενικά, η κατανομή είχε καλή προσαρμογή στο εύρος τιμών του δείκτη k 0,1-6,7 και για πιθανότητα του κριτηρίου $\chi^2 P > 0,05$. Πάντως, για τις περιπτώσεις μη καλής προσαρμογής, ίσως να ευθύνεται και η μέθοδος εκτίμησης του δείκτη k του Elliot (1977), που είναι λιγότερο ακριβής (Southwood 1978).

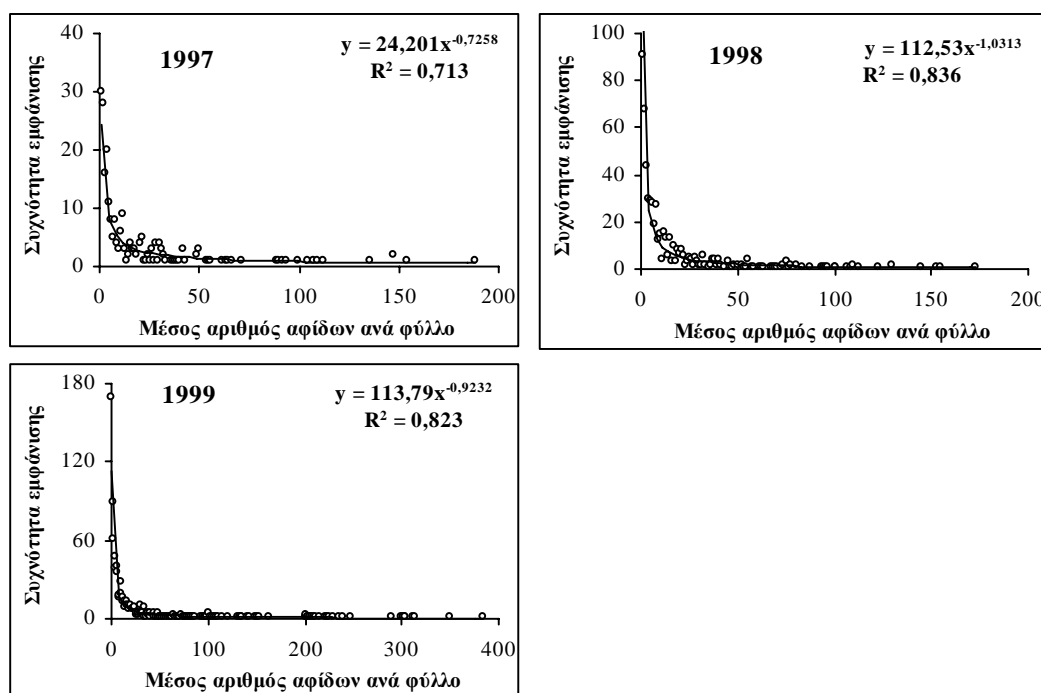


Σχήμα 14. Μεταβολή του δείκτη διασποράς (k) της αρνητικής διωνυμικής κατανομής στα τρία έτη της μελέτης. * = εφαρμογή της αρνητικής διωνυμικής κατανομής (κριτήριο $\chi^2, P > 0,05$)

Στο πλείστο των περιπτώσεων που οι συχνότητες των παρατηρήσεων ακολούθησαν το αρνητικό διωνυμικό μοντέλο, δεν ακολούθησαν άλλο είδος κατανομής και το αντίστροφο (14 περιπτώσεις). Υπήρξαν όμως και δειγματοληψίες που στα

δεδομένα είχαν εφαρμογή περισσότερα του ενός μοντέλα (12 περιπτώσεις) ή και τα πέντε που εξετάστηκαν (1 περίπτωση). Η κατανομή Γ' είχε εφαρμογή στο 17,4% των περιπτώσεων, η λογαριθμική-κανονική και η εκθετική στο 14,3% και η χ^2 στο 6,3%.

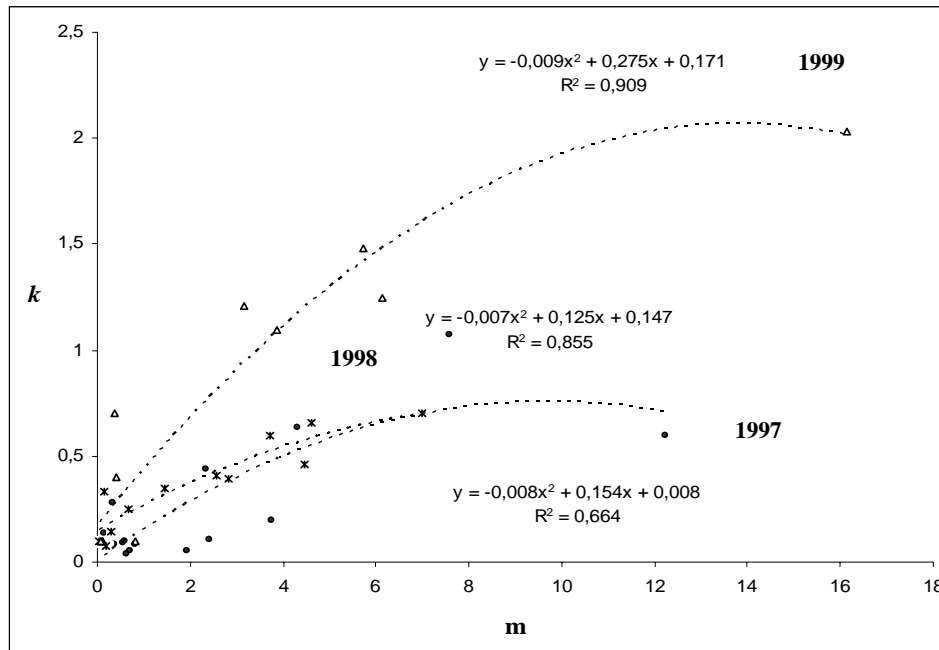
Στις περιπτώσεις καλής προσαρμογής του διωνυμικού μοντέλου η καμπύλη συχνοτήτων προσεγγίζει την τυπική μορφή της καμπύλης, που είναι κυρτή από αριστερά και υπερβολική προς τα δεξιά (Παράρτημα, σχήμα Π4). Στις περιπτώσεις όμως που ο δείκτης διασποράς είναι πολύ υψηλός, υπάρχουν υψηλές συχνότητες υψηλών μέσων όρων (π.χ. 13, 16, 20 Ιουλίου 1999) και η καμπύλη προσεγγίζει την παραβολή. Οι αντίστοιχες καμπύλες συχνοτήτων συγκεντρωτικά για κάθε περίοδο φαίνονται στο επόμενο σχήμα 15. Όλα τα έτη η καμπύλη είναι υπερβολική ($y = ax^b$, $b < 0$), ενώ οι συντελεστές μη γραμμικής παλινδρόμησης (R^2) ήταν σημαντικά υψηλοί (0,71-0,84).



Σχήμα 15. Κατανομή συχνοτήτων μέσου αριθμού αφίδων ανά φύλλο στα τρία έτη της δειγματοληψίας

Η σχέση του δείκτη διασποράς k με τη μέση πληθυσμιακή πυκνότητα κάθε περίπτωσης δειγματοληψίας (εκτός από τις περιπτώσεις μηδενικού μέσου όρου) φαίνεται

στο σχήμα 16. Η τιμή του δείκτη αυξάνεται με αύξηση του μέσου όρου μέχρι 6-7 αφίδες / φύλλο, αλλά μετά τις υψηλότερες τιμές πυκνότητας, μειώνεται ελαφρά, διαμορφώνοντας μία καμπυλόγραμμη σχέση με υψηλούς συντελεστές προσδιορισμού ($R^2 = 0,66-0,91$). Η σχέση εκφράζεται και στα τρία έτη της μελέτης από μία δευτεροβάθμια πολωνυμική εξίσωση ($y = ax^2 + bx + c$).



Σχήμα 16. Συμμεταβολή της εκτιμηθείσας παραμέτρου k της αρνητικής διωνυμικής κατανομής και του μέσου όρου (m) αφίδων ανά περίπτωση δειγματοληψίας (έχουν ήδη αφαιρεθεί οι περιπτώσεις μηδενικού μέσου όρου)

β'. Πληθυσμοί αρπακτικών

Στους πληθυσμούς των αρπακτικών δεν κατέστη δυνατή η εφαρμογή της αρνητικής διωνυμικής κατανομής σε καμία περίπτωση, λόγω της ύπαρξης λίγων κλάσεων συχνοτήτων (2-5) σε όλες τις δειγματοληψίες. Το γεγονός αυτό καθιστά επισφαλή τη σύγκριση με το κριτήριο χ^2 , που είναι δείκτης ευαίσθητος στην ύπαρξη κλάσεων για μία τέτοια ασυνεχή κατανομή. Συνενώνοντας όμως τα δεδομένα ως μέσες τιμές έτους, αποκαλύφθηκαν περισσότερες κλάσεις στα σχετικά ιστογράμματα (Παράρτημα, σχήμα Π5). Όπως βλέπουμε, σε τέσσερις περιπτώσεις προσαρμόστηκε η

κατανομή Γ' (στις δύο από αυτές όχι στατιστικώς σημαντικά), σε δύο η εκθετική, σε δύο η λογαριθμική κανονική και σε μία καμία κατανομή λόγω μικρού αριθμού εντόμων με κλάσεις ίδιας συχνότητας. Τονίζεται ότι δε θα μπορούσε να ελεγχθεί η προσαρμογή της αρνητικής διωνυμικής κατανομής στα συγκεντρωτικά δεδομένα κάθε έτους, αφού δεν υπάρχει ασφαλής μέθοδος για την εκτίμηση ενός κοινού δείκτη διασποράς (k_c), απαραίτητου στην εξίσωση εκτιμώμενων τιμών των Bliss & Fisher (1953).

Συζήτηση

Η τάση των πληθυσμών των αφίδων εμφάνισε διαφορετικό πρότυπο κάθε έτος μελέτης. Το 1997 παρατηρήθηκε ένα πληθυσμιακό μέγιστο στα μέσα του Σεπτεμβρίου, ενώ το 1998 ένα στις αρχές Ιουλίου και ένα στις αρχές Αυγούστου. Αντίθετα, το 1999 τα δύο μέγιστα εμφανίστηκαν ένα στα μέσα Ιουλίου και ένα περί τα τέλη Αυγούστου-αρχές Σεπτεμβρίου. Τα αποτελέσματα συμφωνούν σε γενικές γραμμές με το πρότυπο των δύο κυμάτων προσβολών, που παρατηρήθηκαν προηγουμένως στην Ελλάδα (Karatos *et al.* 1996, 1998) και στο Εξωτερικό (O'Brien *et al.* 1993, Deguine *et al.* 2000, Celini & Vaillant 2004). Υπήρξε όμως σημαντική καθυστέρηση της έναρξης προσβολής (τέλη Ιουνίου αντί Μαΐου) σε σχέση με παλαιότερες ελληνικές μελέτες (Karatos *et al.* 1996, 1998), λόγω ίσως των κλιματολογικών συνθηκών κατά τη χειμερινή περίοδο και την επίδρασή τους στους πληθυσμούς των διαχειμαζόντων μορφών. Τα δεδομένα της παρούσας εργασίας συμφωνούν με πρόσφατη μελέτη σε αγρό της Καρδίτσας κατά το 2002 (Χατζής 2005), οπότε και η έναρξη σημαντικής προσβολής (> 3 αφίδες / φύλλο) παρατηρήθηκε σχετικά αργά, περί τα μέσα με τέλη Ιουνίου. Στην τελευταία εργασία παρουσιάστηκαν επίσης δύο πληθυσμιακά μέγιστα που συμφωνούν με αυτά της παρούσας εργασίας: Το ένα στις αρχές Ιουλίου και το άλλο στις αρχές Αυγούστου. Βέβαια, στο τελευταίο πείραμα, καταγράφηκε πολύ χαμηλή προσβολή από αφίδες καθ' όλη την περίοδο δειγματοληψίας.

Το τελευταίο κύμα προσβολής στα κορυφαία φύλλα στις αρχές φθινοπώρου είναι υπεύθυνο για σημαντική υποβάθμιση της ίνας, λόγω της ρύπανσής της από μελιτώδη απεκκρίματα (Rosenheim *et al.* 1997, Slosser *et al.* 2002). Δεδομένης της βιολογίας των αρπακτικών που μελετήθηκαν, δεν είναι εφικτή η αποτελεσματική φυσική δράση τους

επί της αφίδας, αφού αυτά αρχίζουν να απουσιάζουν από τον αγρό μετά από τα μέσα περίπου Αυγούστου: τα κολεόπτερα λόγω αναπαραγωγικής διάπαυσης (Katsoyannos *et al.* 1997a, b) και το νευρόπτερο λόγω μετακίνησής του σε καταφύγια διαχείμασης για διάπαυση (Σουλιώτης 1995, Volkovich & Blumental 1997). Άρα, οι κύριοι παράγοντες θνησιμότητας των αφίδων αργά το Σεπτέμβριο θα είναι ο παρασιτισμός, οποίος μειώνεται αρκετά ή πραγματοποιείται αργά λόγω της πτώσης της μέσης θερμοκρασίας (Röhne 2002), καθώς και η φυσική θνησιμότητα και οι μειωμένες γεννήσεις, λόγω ακαταλληλότητας των ώριμων πλέον φύλλων βαμβακιού. Ακόμη, στην αρχή της καλλιεργητικής περιόδου οι πρώιμες προσβολές οδηγούν σε απώλειες φυλλώματος για τις οποίες το φυτό συνήθως ανακάμπτει νωρίς και δεν υπάρχει επίπτωση στην άνθηση ή την καρποφορία αργότερα (Wilhoit *et al.* 1992, Rosenheim *et al.* 1997). Επομένως, οι όψιμες προσβολές από αφίδες στη νεαρή βλάστηση του φθινοπώρου, ιδίως μετά από βροχοπτώσεις, μπορεί να αποβούν σημαντικός παράγοντας υποβάθμισης και μείωσης του τελικού παραγόμενου προϊόντος, αν συνοδεύονται από ύπαρξη μελιτωμάτων.

Η συμφωνία της διακύμανσης των πληθυσμών των περωτών αφίδων από στοιχεία αναρροφητικής παγίδας και αυτών της δειγματοληψίας δείχνει ότι αυξημένοι αριθμοί περωτών ατόμων σε παγίδες αποτελούν σοβαρή ένδειξη επικείμενης ή τρέχουσας προσβολής στον αγρό. Το γεγονός αυτό έχει παρατηρηθεί και σε χρωματικές παγίδες νερού τύπου Moericke σε αγρό βαμβακιού στην Καρδίτσα (Χατζής 2005) και αναδεικνύει την πολύτιμη χρησιμότητα των παγίδων στη μελέτη της δυναμικής φυσικών πληθυσμών των αφίδων.

Τα αποτελέσματα της μελέτης στον αγρό απέδειξαν ότι το *C. carnea* παραμένει για περισσότερο χρόνο στον αγρό και αναπτύσσει μεγαλύτερους αριθμούς ανά φυτό από ό,τι τα δύο κολεόπτερα. Προσωπικές παρατηρήσεις απέδειξαν ότι τα αβγά του *C. carnea* εναποτίθεντο νωρίτερα από τις πρώτες πληθυσμιακές εξάρσεις αφίδων (αναφέρεται και από τους Honěk & Kocourek 1988). Αυτό μπορεί να αποδοθεί στα πιθανά ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα του *C. carnea*, όπως η υψηλή γονιμότητα, η μεγάλη αφιδοκατανάλωση και η χαμηλότερη ουδός ανάπτυξης για αβγά, νύμφες (Honěk & Kocourek 1988) και συνολική ανάπτυξη ατελών σταδίων (Fujiwara & Nomura 1999) σε σχέση με τιμές πληθυσμών Coccinellidae από την Κεντρική Ελλάδα (Katsarou *et al.* 2005) και άλλες

περιοχές εκτός Ελλάδας (Honěk & Kocourek 1988). Τα χαμηλότερα επίσης θερμοκρασιακά όρια είναι δυνατό να συντελούν στην πρόωμη ωοτοκία του *C. carnea*.

Άλλες παράμετροι της οικολογίας του *C. carnea* μπορεί να είναι επίσης υπεύθυνοι για την καλύτερη προσαρμογή του σε συνθήκες αγρού. Μονήρη αβγά προσκολλημένα σε μίσχο είναι λιγότερο επιρρεπή στην αρπαγή και τον κανιβαλισμό (Honěk & Kocourek 1988, Ruzicka 1997) από ό,τι ωοθεσίες κολεοπτέρων Coccinellidae. Ακόμη, οι διαφορετικές διατροφικές απαιτήσεις (νέκταρ, γύρη κ.λπ.) των τελείων του *C. carnea* ελαττώνουν τον ανταγωνισμό με τις προνύμφες και τα καθιστούν ικανά να εκμεταλλεύονται πηγές τροφής εκτός αγρών βαμβακιού, π.χ. βλάστηση πλησίον, όπου εκλείπουν οι επεμβάσεις τοξικών αφιδοκτόνων. Είναι άξιο αναφοράς το ότι μεγάλοι πληθυσμοί του *C. carnea* δε μεταφράζονται πάντοτε σε υψηλή αποτελεσματικότητα θήρευσης σε σχέση με άλλα αρπακτικά. Ενήλικα άτομα του *C. septempunctata*, τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από το *H. convergens*, καταναλώνουν μεγάλους αριθμούς αφίδων στη ζωή τους και ενδεχομένως να είναι καλύτερα στον έλεγχο εξάπλωσης μεγάλων πληθυσμών αφίδων (Hodek 1973, Omkar & Srivastava 2003), ιδιαίτερα στα πρώτα κύματα εξάρσεων των αφίδων (Μάιος-Ιούνιος) και προτού το έντομο να εισέλθει σε αναπαραγωγική διάπαυση. Το *C. septempunctata* επιδεικνύει μεγάλη ενδοπληθυσμιακή παραλλακτικότητα στην περίοδο προωοτοκίας, πιθανώς συνδεδεμένη με γενετικούς παράγοντες ή φαινοτυπική πλαστικότητα. Το γεγονός αυτό βοηθά το είδος να αντιπαρέρχεται μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες και να προσαρμόζεται σε διαφορετικά αγροοικοσυστήματα. Παρ' όλα αυτά, το *C. carnea* μπορεί να μένει πιο αργά στον αγρό και ίσως να ωοτοκεί και να αναπτύσσει τους πληθυσμούς του ακόμη και μέχρι το Σεπτέμβριο, που είναι κρίσιμη περίοδος για όψιμες προσβολές από αφίδες. Αυτό έχει επιβεβαιωθεί από την παρούσα μελέτη (βλ. σχήμα 2), αλλά και από άλλες μελέτες (π.χ. Flint *et al.* 1979), που αναφέρουν ότι καχεκτικά ή υπερώριμα φυτά βαμβακιού εκλύουν ποσότητες από το τερπενοειδές β-caryophyllene, το οποίο προσελκύει τέλεια του αρπακτικού.

Στην παρούσα διατριβή προέκυψαν ικανοποιητικές συσχετίσεις μεταξύ των πληθυσμών της αφίδας και αυτών των επιμέρους αρπακτικών. Υπήρξε γενικά μία στατιστική συμφωνία τάσεων στο χρόνο, υποδηλώνοντας, αν όχι ικανοποιητικό βιολογικό έλεγχο, τουλάχιστον όμως μια ένδειξη ότι τα μελετηθέντα αρπακτικά

αποτελούν σημαντικό παράγοντα θνησιμότητας για την αφίδα. Οι Karatos *et al.* (1998), απομονώνοντας αβιοτικούς παράγοντες θνησιμότητας και παρασιτισμό με μαθηματικές προσεγγίσεις, υπέθεσαν ότι η κύρια αιτία θνησιμότητας της αφίδας του βαμβακιού σε αγρό της Θεσσαλίας ήταν πιθανόν η δράση των αρπακτικών Coccinellidae και Anthocoridae, τουλάχιστον σε περιόδους απουσίας χημικών επεμβάσεων εναντίον προνυμφών λεπιδοπτέρων (από τέλη Μαΐου έως μέσα Ιουλίου). Επίσης, στα δεδομένα μας δεν υπήρξε σημαντική χρονική υστέρηση στην απόκριση των πληθυσμών των αρπακτικών. Οι Weathersbee & Hardee (1994) αναφέρουν μικρή και οι Men *et al.* (2004) μεγαλύτερη χρονική υστέρηση των πληθυσμών των αρπακτικών έναντι αυτών της αφίδας στο βαμβάκι, ενώ αρκετά μεγαλύτερη οι Winder *et al.* (2001) σε αρπακτικά αφίδων σιτηρών. Τα παραπάνω αναδεικνύουν τη δράση των φυσικών εχθρών, και κυρίως των μη εξειδικευμένων ειδών (generalists), όπως τα μελετώμενα, ως δυναμική χωρο-χρονική σύνδεση με την αφίδα (Winder *et al.* 2001) και ως κρίσιμο παράγοντα βιολογικού ελέγχου των πληθυσμών της και την επιβαλλόμενη ορθολογική διαχείρισή τους σε προγράμματα ολοκληρωμένης διαχείρισης εχθρών. Χωρίς να υπάρχουν ακριβείς συσχετίσεις στο χώρο, όπως αυτές των τελευταίων ερευνητών, λόγω των πολύπλοκων υπολογισμών, ωστόσο αυτά στην παρούσα διατριβή προκύπτουν για πρώτη φορά σε ελληνικούς πληθυσμούς τέτοιες δυναμικές χωρο-χρονικές συνδέσεις, που απεικονίζονται πολύ καλά στο επίπεδο του αγρού. Ενισχυτικός παράγοντας στην ένδειξη ύπαρξης ισχυρής σύνδεσης αφίδων και αρπακτικών στα δεδομένα μας αποτελεί η σχέση της λείας με την αναλογία λείας / αρπακτικών (μέσες πληθυσμιακές πυκνότητες ανά περίπτωση δειγματοληψίας). Η συμμεταβολή βρέθηκε να είναι γραμμική με υψηλούς συντελεστές προσδιορισμού ($R^2 = 0,61-0,87$). Η παραπάνω αναλογία δεν ήταν σταθερή, αλλά κυμάνθηκε στο χρόνο. Τονίζεται και πάλι ότι οι ισχυρές συσχετίσεις που βρέθηκαν, αποτελούν απλά δυνατές ενδείξεις και όχι αποδείξεις για την ικανότητα ελέγχου της αφίδας από τα αρπακτικά, λόγω της απλουστευμένης υπόθεσης ότι τα αρπακτικά αποτελούν τον μοναδικό παράγοντα θνησιμότητας.

Στην παρούσα εργασία η διασπορά των αφίδων στον αγρό ποίκιλλε από έτος σε έτος, και σε κάθε έτος υπήρξαν διαφορετικού βαθμού ομαδοποιήσεις-εστίες πληθυσμών. Σε πολλές περιπτώσεις δεν υπήρξε σαφής σχέση της έξαρσης με τη δημιουργία ομαδοποιήσεων. Πολλές όμως φορές η έναρξη και η λήξη κάποιας φάσης προσβολής

συνοδεύονταν από υψηλή ομαδοποίηση, ενώ κατά τη διάρκεια της φάσης οι πληθυσμοί ελάττωναν τις ομαδοποιήσεις τους και διασπείρονταν αρκετά στον αγρό. Το φαινόμενο αυτό αντικατοπτρίζεται στις τιμές του δείκτη διασποράς k της αρνητικής διωνυμικής κατανομής· οι τιμές αυτές εξαρτώνται από αυτές του μέσου όρου, και αυτό έχει βρεθεί σε ελληνικούς πληθυσμούς (Kapatos *et al.* 1994-1998).

Στην εργασία αυτή διαπιστώθηκε η καλή εφαρμογή του νόμου Taylor και η ανυπαρξία τυχαίας ή ομοιόμορφης κατανομής πληθυσμών αφίδων και αρπακτικών. Το γεγονός της ύπαρξης περιοχών συγκέντρωσης αφίδων και αρπακτικών, που αποκαλύφθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, επιβεβαιώνεται με τη χρήση του δείκτη ομαδοποίησης b της εξίσωσης του Taylor (αφίδες και αρπακτικά) και το δείκτη διασποράς k της αρνητικής διωνυμικής κατανομής (αφίδες). Η τιμή του δείκτη k αυξήθηκε με αύξηση του μέσου όρου· αλλά με τη μεγάλη αύξηση του μέσου όρου, αυξήθηκε και η ομαδοποίηση ατόμων, φαινόμενο που αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία (Taylor *et al.* 1979, Butts & Schaalje 1994, Kapatos *et al.* 1994-1998). Δεδομένης της χαμηλότερης θνησιμότητας των αφίδων σε κάποιες περιόδους νέων προσβολών (Kapatos *et al.* 1998), πράγμα που εξηγεί το γεγονός ότι σε αυτές τις περιόδους δημιουργούνται νέες αποικίες μέσα σε ήδη υπάρχουσες, υπάρχει ταυτόχρονη αύξηση του μέσου όρου και της ομαδοποίησης, φαινόμενο που αντανάκλαται στην καμπυλόγραμμη σχέση m και k . Έτσι, σε περιόδους με μέτριες ή αυξανόμενες πληθυσμιακές πυκνότητες και συνθήκες που ευνοούν τη θνησιμότητα, η ομαδοποίηση οφείλεται κυρίως στην αποίκιση φύλλων από πτερωτές αφίδες παρακείμενων αγρών. Επίσης, συχνά σε πληθυσμιακές εξάρσεις και προς το τέλος της περιόδου είχαν εφαρμογή άλλες συνεχείς κατανομές συχνοτήτων, όπως η λογαριθμική κανονική και η Γ' , γεγονός που συμβαίνει συχνά (Robert *et al.* 1988).

Η ύπαρξη συναθροίσεων αφίδων και αρπακτικών αναφέρεται συχνά στη βιβλιογραφία. Στην παρούσα διατριβή η μέση τιμή του δείκτη b ήταν στην περιοχή του 2. Τιμές του δείκτη b στο εύρος 1-2, που δηλώνουν αυξημένες ομαδοποιήσεις, αναφέρονται τόσο για την *A. gossypii* (Kapatos *et al.* 1996, Kapatos *et al.* 1994-1998, Celini & Vaillant 2004), όσο και για άλλα είδη αφίδων (Feng & Nowierski 1992, Godfrey & Chaney 1995, Östman 2002). Στις περισσότερες οικολογικές πληθυσμιακές

μελέτες η διακύμανση των μετρήσεων είναι σημαντικά μεγαλύτερη από το μέσο όρο (Taylor 1961, Southwood 1978), οδηγώντας έτσι σε πρότυπα εξάπλωσης «υπερδιασποράς» πληθυσμών (patchy, contagious, aggregated patterns, Southwood 1978). Είναι γνωστό ότι περωτές αφίδες αποικίζουν τα φυτά προσγειωόμενες ανεξάρτητα (ατομικά). Στην αρχή δημιουργούν τυχαία εξάπλωση πληθυσμών (Robert et 1988). Αργότερα όμως στη διάρκεια της περιόδου, κάποιες αφίδες σταματούν να διατρέφονται και εγκαταλείπουν τις αποικίες τους, αποικίζοντας άλλα φυτά δημιουργούν νέες αποικίες, και έτσι ένα μωσαϊκό ή μικρές ομαδοποιήσεις (Dixon 1998). Ο τελευταίος υποστηρίζει ότι η δημιουργία ομαδοποιήσεων αντανάκλα περισσότερο περιβαλλοντική ετερογένεια, παρά δυναμική μετα-πληθυσμών στο μελετώμενο αγροοικοσύστημα, καθώς και το αποτέλεσμα μετακίνησης περωτών αφίδων από παρακείμενους αγρούς. Η Badenhauer (1994) υποστήριξε ότι η ετερογένεια της ανάπτυξης του ξενιστή φαίνεται να παίζει ιδιαίτερο ρόλο στη χωροταξική κατανομή των πρώτων περωτών αφίδων που αποικίζουν έναν αγρό. Σχετικά πειράματα απέδειξαν ότι οι λόγοι για τους οποίους η αφίδα εγκαταλείπει το παλαιό φυτό είναι η επίδραση της θερμοκρασίας, ή έκθεση στον ήλιο, η επαφή των φύλλων μεταξύ τους, η θρεπτική κατάσταση των φύλλων, η διαφορετική φαινολογία των φυτών και η παρουσία άλλων αφίδων (συνωστισμός). Έτσι, η αφίδα προτιμά μικρο-περιβάλλοντα με τις βέλτιστες συνθήκες ως ενδιαίτηματα.

Η σημασία της χωροταξικής κατανομής των αφίδων με εξάπλωση μέσω ομαδοποιήσεων σχετίζεται και με τη δράση των φυσικών εχθρών της. Σε πολλές μελέτες έχει επισημανθεί η επίδραση πολυφάγων φυσικών εχθρών σε εστίες αφίδων, με βάση τη συμπεριφορά εξεύρεσης λείας. Οι Yasuda & Ishikawa (1999) διαπίστωσαν ότι η κατανάλωση της αφίδας *A. gossypii* από το κολεόπτερο αρπακτικό *Harmonia axyridis* Pallas ποίκιλλε περισσότερο σε περιπτώσεις υπερδιασποράς των αφίδων, παρά σε ομοιόμορφη διασπορά. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν και από τους Murakami & Tsubaki (1984) για το *C. septempunctata*. Σε ομοιόμορφη διασπορά μικρών πληθυσμών αφίδων η πιθανότητα συνάντησης αποικιών αφίδων από το αρπακτικό αυξάνεται αντίθετα με την περίπτωση της υπερδιασποράς, όπου το αρπακτικό πρέπει να ψάχνει συνεχώς για εστίες. Στο *H. axyridis* βέβαια η προσέγγιση των αφίδων γίνεται περισσότερο μέσω οπτικών ή ερεθισμάτων όσφρησης (Obata 1986). Αντίθετα, στο *C.*

septempunctata, τα τέλεια αντιλαμβάνονται οπτικά τις αφίδες από μικρές αποστάσεις λόγω της κίνησής τους (Nakamura 1984). Το γεγονός αυτό επηρεάζει την αρπακτικότητα και την αποτελεσματικότητα των ωφελίμων. Επίσης, είναι γνωστό ότι η παρουσία αρπακτικών Coccinellidae σε αποικίες αφίδων αποτελεί μία δυναμική ισορροπία. Έτσι, σε περιπτώσεις ύπαρξης «μωσαϊκών» περιοχών αφίδων, πληθυσμοί των αρπακτικών *C. septempunctata* και *H. convergens* συναθροίζονται και δημιουργώντας παρόμοια μωσαϊκά ελαχιστοποιούν τον ενδοειδικό ανταγωνισμό, βελτιστοποιώντας την κατανομή των τροφικών αποθεμάτων για επόμενες γενιές, καθώς και την καλή λειτουργική αντίδραση έναντι των αφίδων (Hodek & Honěk 1996).

Στα αρπακτικά Chrysopidae επίσης υπάρχει μεγάλη δυνατότητα συγκέντρωσης σε περιοχές ομαδοποιήσεων αφίδων που απεκκρίνουν μελιτώματα. Τα τέλεια ελκύνονται από γύρη, νέκταρ και μελιτώδεις εκκρίσεις στα φύλλα (Canard & Principi 1984) και εκεί προτιμούν να φωτοκούν. Οι προνύμφες έχουν υψηλή αρπακτικότητα και ειδική συμπεριφορά εξεύρεσης λείας (Fleschner 1950). Διατρέχουν με μεγάλη ταχύτητα (2cm/sec) και τις δύο επιφάνειες των φύλλων και μίσχους· τα επισκέπτονται περισσότερες από μία φορές μέχρι να εντοπίσουν τη λεία τους. Γίνεται σαφές ότι και τα αρπακτικά αυτά, όπως και τα Coccinellidae, επιδεικνύουν μεγάλη δυνατότητα συγκέντρωσης σε περιοχές με συναθροίσεις αφίδων.

Είναι λοιπόν φανερό ότι τα περισσότερα αρπακτικά συναθροίζονται σε περιοχές με υψηλές πυκνότητες αφίδων. Αυτό είναι αποτέλεσμα είτε της μακροχρόνιας παραμονής τους σε ένα φύλλο είτε της συσσωρευτικής δράσης πολλών ατόμων που αποικίζουν και μετακινούνται από φυτό σε φυτό. Οι Ives *et al.* (1993) υποστηρίζουν ότι η ατομική αντίδραση αρπακτικών στη λεία είναι ασθενής, ενώ η συσσωρευτική θήρευση σε περιοχές μεγάλης πυκνότητας αφίδων έχει ως αποτέλεσμα τον ικανοποιητικό βιολογικό έλεγχο. Επομένως, η διάσταση αυτή μπορεί να έχει εφαρμογή στη δράση των αρπακτικών που μελετήσαμε στον αγρό, δράση που μπορεί να είναι συσσωρευτική και αρκετά αποτελεσματική επί της αφίδας.

Για την τάση των πληθυσμών αφίδων προς το ανατολικό άκρο, η πτωχή εδαφολογική σύσταση, όπως προαναφέρθηκε, στο δυτικό άκρο ίσως να έπαιξε κάποιο ρυθμιστικό ρόλο στη διαθεσιμότητα νερού και τη φυσιολογία των φυτών, με άμεση

επίδραση στη θρεπτική αξία των φύλλων, γεγονός που ίσως να αντικατοπτρίζει τη μη προτίμηση ή τη μεγάλη θνησιμότητα των αφίδων στα φυτά αυτά. Τα αποτελέσματα της διατριβής όμως έδειξαν για το 1999 μία ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση αφίδων στις τρεις πρώτες ανατολικές γραμμές μετά τα μέσα Ιουλίου. Το γεγονός αυτό είναι δυνατό να αποδοθεί σε μία πιθανή «πηγή» πτερωτών αφίδων στο ανατολικό άκρο ή σε άλλους άγνωστους παράγοντες (π.χ. κατεύθυνση επικρατούντων ανέμων). Το γεγονός πιθανώς εξηγείται από τη χημική καταπολέμηση στο διπλανό αγρό, η οποία ίσως έγινε με επικράτηση ανέμων και υπήρξε μεταφορά ψεκαστικού υγρού. Έτσι, στην αρχή σημειώθηκε θανάτωση των αφίδων και των αρπακτικών στον πειραματικό αγρό, που βρίσκεται πλησίον του συγκεκριμένου αγρού, ενώ στη συνέχεια επανήλθε ισορροπία στους πληθυσμούς των αρπακτικών, όπως συμβαίνει σε περιπτώσεις χημικών επεμβάσεων (Kerns & Gaylor 1993, Longley *et al.* 1997). Πάντως, η πιθανή δυσμενής επίδραση στα αρπακτικά αντικατοπτρίζεται στο σχήμα 4, όπου φαίνονται στατιστικά σημαντικά μειωμένοι οι αριθμοί τους στην πρώτη ανατολική γραμμή, παρ' όλο που αυτή βρίσκεται σε απόσταση ασφαλείας, τουλάχιστον πέντε μέτρων από τον εν λόγω αγρό (βλ. σχήμα 1). Στην επικράτηση ισορροπίας ανάμεσα στους πληθυσμούς των αφίδων και των αρπακτικών πιθανόν να υποβοηθήσε και μεταφορά αρπακτικών από τους παρακείμενους αγρούς. Η μεταφορά φυσικών εχθρών από αγρό σε αγρό αναφέρεται στη βιβλιογραφία και αποτελεί σημαντικό παράγοντα ενίσχυσης φυσικών εχθρών, ιδίως στα όρια των αγρών (Men *et al.* 2004).

Η παρούσα διατριβή ανέδειξε ανισομερή κατανομή αφίδων στο φυτό, με τα κατώτερα φύλλα να είναι σημαντικά περισσότερο προσβεβλημένα τις περισσότερες εβδομάδες δειγματοληψίας, αλλά με σταθερή αναλογία (βλ. και Karatos *et al.* 1996). Επίσης, η προσβολή σε κάθε περίοδο ξεκινά από τα κατώτερα φύλλα, αλλά οι όψιμες προσβολές αρχίζουν από το άνω φυτικό μέρος, που μετά τα τέλη Αυγούστου είναι τρυφερότερο λόγω αναβλαστήσεων από τις παρατηρούμενες όψιμες βροχοπτώσεις. Όμοια αποτελέσματα βρέθηκαν σε ελληνικούς πληθυσμούς αφίδων από τους Karatos *et al.* (1996), οι οποίοι όμως σε πολύ πρώιμες προσβολές σε νεαρά φυτά κατά το Μάιο βρήκαν έναρξη προσβολής από τη νεαρή βλάστηση. Οι O'Brien *et al.* (1993) αναφέρουν μεγαλύτερη μέση προσβολή στο μεσαίο-κατώτερο τμήμα του βαμβακιού, ενώ οι Godfrey & Chaney (1995) μεγαλύτερη σε χαμηλότερα σημεία του σέλινου και προς το εσωτερικό

του. Παρόμοια τάση συγκέντρωσης των αφίδων γενικά στα φυτά αναφέρουν και οι Leclant & Deguine (1994), οι οποίοι τονίζουν ότι κατά την περίοδο άνθησης και καρποφορίας (περίοδος Ιουνίου-Αυγούστου για το ελληνικό βαμβάκι) οι μεγαλύτεροι πληθυσμοί αφίδων συγκεντρώνονται στα παλαιότερα φύλλα, στη βάση του φυτού και κοντά στον κεντρικό βλαστό. Οι ίδιοι συγγραφείς σχολιάζοντας τη μη σημαντικότητα των πρώιμων προσβολών στην αρχή των περιόδων, τονίζουν ότι όταν ακόμη τα φυτά είναι μικρά και δεν έχουν αυξήσει το χώρο που καταλαμβάνουν (canopy), οι αφίδες που έχουν προσβάλει τα φυτά βρίσκονται εκτεθειμένες σε υψηλές θερμοκρασίες και ξηρό μικροπεριβάλλον, αφού τα φύλλα δε σκιάζονται επαρκώς. Τότε, μεγάλο ποσοστό των αποικιών χάνεται, αφού οι αφίδες χάνουν υγρασία μέσω του εξωσκελετού τους και πεθαίνουν (Dixon 1998). Αργότερα, τα φυτά επί της γραμμής προσεγγίζουν το ένα το άλλο, καθώς και αυτά της διπλανής γραμμής και η σκίαση αυξάνεται, με συνέπεια να αυξάνεται η σχετική υγρασία και το περιβάλλον να γίνεται ευνοϊκότερο για την ανάπτυξη πληθυσμών, δεδομένης και της έναρξης άρδευσης του εδάφους.

Η χωροταξική κατανομή των αφίδων στο φυτό του βαμβακιού αντανακλά και μια χρήσιμη παράμετρο, σχετική με την εφαρμογή χημικής καταπολέμησης, όταν φυσικά αυτή είναι επιβεβλημένη και οικολογικά θεμιτή (διατήρηση φυσικών εχθρών). Τα μέχρι τώρα συμπεράσματα της διατριβής προτείνουν ότι δεν υπάρχει πάντα ανάγκη αντιμετώπισης των αφίδων σε νεαρά φαινολογικά στάδια του φυτού, αφού αυτό ανακάμπτει γρήγορα λόγω βιοτικών (θήρευση, παρασιτισμός, εντομοπαθογόνα) και αβιοτικών (θερμοκρασία, υγρασία) παραγόντων. Η παρουσία πολλών ειδών παρασιτοειδών στην *A. gossypii* έχει διαπιστωθεί σε ελληνικούς πληθυσμούς (Kavallieratos *et al.* 2004) και είναι σημαντικός παράγοντας θνησιμότητας στην αρχή της καλλιεργητικής περιόδου, όταν η μέση θερμοκρασία αυξάνεται και η πλειονότητα των αφίδων βρίσκεται σε νυμφικά στάδια (Röhne 2002). Σε περιόδους με καλή σκίαση των φυτών, οπότε και οι πληθυσμοί συγκεντρώνονται στα κατώτερα φύλλα, τυχόν εφαρμογή αφιδοκτόνων πρέπει να γίνεται με καλό «λούσιμο» των φυτών. Στην περίπτωση αυτή, η καταπολέμηση των αφίδων είναι αρκετά δύσκολη, λόγω της πυκνής βλάστησης, που εμποδίζει την κατανομή του ψεκαστικού υγρού. Ελληνικά δεδομένα δείχνουν αδυναμία αποτελεσματικής καταπολέμησης σε περίοδο με πυκνό φύλλωμα, είτε με συμβατικό ψεκασμό (χρήση υδραυλικού ψεκαστήρα) είτε με εναλλακτική τεχνολογία

(ηλεκτροστατικός ψεκαστήρας) (Tsitsipis *et al.* 1998b). Εναλλακτικά, αν το επιτρέπει η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, η εφαρμογή μπορεί να είναι κατευθυνόμενη στα κατώτερα σημεία με σκοπό αφενός την οικονομικότερη χημική επέμβαση, και αφετέρου τη διατήρηση των πληθυσμών των φυσικών εχθρών στα ανώτερα σημεία. Πάντως, πρέπει να αξιολογείται η πιθανή εφαρμογή τοπικών εφαρμογών αφιδοκτόνων, όταν το επιτρέπει η διαθέσιμη τεχνολογία.

Επίσης, πρέπει να συνυπολογίζονται οικονομικοί παράγοντες (λόγος κόστους προς ωφέλεια) και η ποσοτικοποίηση τυχόν ζημιών από την προσβολή με υιοθέτηση οικονομικών καταφυγίων ζημιάς, δεδομένα που βέβαια στην Ελλάδα δεν είναι ευρέως μελετημένα και εύκολα εκτιμήσιμα. Γενικά, σε περιόδους με πυκνή φυτοκάλυψη του βαμβακιού, ίσως είναι προτιμότερος ο φυσικός έλεγχος των αφίδων με διατήρηση των πληθυσμών των ωφελίμων εντόμων, γεγονός που αντικατοπτρίζεται και στην καλή συσχέτιση διακυμάνσεων αφίδων και αρπακτικών στην παρούσα διατριβή.

Δεδομένα αξιολόγησης καταπολέμησης της αφίδας *A. gossypii* με πυρεθρίνη σε αγρούς βαμβακιού στην Ημαθία και τη Μαγνησία (Tsitsipis *et al.* 1998b) έδειξαν ότι αυτή καλύπτει τα φυτά μόνο για μικρό χρονικό διάστημα. Στην ίδια εργασία, η χρήση ηλεκτροστατικά φορτισμένου ψεκαστήρα έδωσε σχετικά καλά αποτελέσματα καταπολέμησης, μόνο προτού τα φυτά να έχουν αποκτήσει πλήρη κάλυψη της γραμμής σποράς με το φύλλωμά τους (τέλη Ιουνίου-μέσα Ιουλίου) και όχι αργότερα (μέσα Αυγούστου). Αντίθετα, η χρήση φερομόνης συναγερού σε συνδυασμό με εντομοκτόνο απέτυχε να καταπολεμήσει την αφίδα. Πάντως, όποια και να είναι η μεθοδολογία και η τεχνολογία της χημικής καταπολέμησης, ο καθορισμός των επεμβάσεων πρέπει να συνοδεύεται από δειγματοληψία, για εκτίμηση τόσο του μεγέθους, όσο και της διασποράς των πληθυσμών, καθώς και των πληθυσμών των ωφελίμων εντόμων.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι η παρούσα εργασία προσέφερε τη δυνατότητα να αξιολογηθεί η δράση των φυσικών εχθρών και η τυχόν ανάγκη χημικής επέμβασης. Αν και δεν ήταν εφικτό να καταγραφούν ποσοτικά στοιχεία ζημιάς από την προσβολή αφίδων στον πειραματικό αγρό, ιδίως το έτος 1999, που αποδεδειγμένα η προσβολή ήταν μεγάλη, εντούτοις κάποιος μακροσκοπικά και χωρίς τη βοήθεια δειγματοληψίας θα σύστηνε χημική καταπολέμηση στα μέσα Ιουλίου. Όμως, οι ακριβείς μετρήσεις των

πληθυσμών των αρπακτικών, η χωροταξική τους κατανομή και η συσχέτισή τους με αυτούς των αφίδων ανέδειξε τη δράση των πρώτων ως σημαντικό παράγοντα θνησιμότητας των δεύτερων. Αν και η ποσοτική εκτίμηση των απωλειών σε βιομάζα στο βαμβάκι είναι πολύ δύσκολη και πολυπαραγοντική, ωστόσο εκτιμήθηκε ότι τελικά η προσβολή από αφίδες και τα τρία έτη των πειραμάτων δε στοιχειοθετούσε επεμβάσεις. Η χονδρική αυτή εκτίμηση ενισχύεται από το γεγονός ότι η παραγωγή σε σύσπορο βαμβάκι ήταν για την ίδια ποικιλία και τον ίδιο αγρό αρκετά υψηλή (> 300 κιλά / στρέμμα), και παρόμοια στα τρία έτη.

Συνοψίζοντας, επισημαίνουμε ότι η εξάπλωση των πληθυσμών της αφίδας *A. gossypii* στο βαμβάκι γίνεται μέσω ομαδοποιήσεων και όχι τυχαία ή ομοιόμορφα, τουλάχιστον στις μεγάλες πυκνότητες. Η εξάπλωση των αρπακτικών που μελετήθηκαν, είναι σε μεγάλο βαθμό παρόμοια και ακολουθεί αυτή των αφίδων, γεγονός που τα αναδεικνύει ως σημαντικό παράγοντα φυσικού βιολογικού ελέγχου της αφίδας σε συνθήκες αγρού. Επίσης, η ανισοκατανομή των αφίδων στο φυτό έχει άμεση επίπτωση στην εφαρμογή χημικών επεμβάσεων, οι οποίες πρέπει να συνοδεύονται από παρακολούθηση των πληθυσμών αφίδων και αρπακτικών μέσω δειγματοληψιών. Η δυναμική πληθυσμών εχθρών και ωφελίμων εντόμων στο αγροοικοσύστημα του βαμβακιού είναι δύσκολο να περιγραφεί επακριβώς· ωστόσο η μελέτη της συμβάλλει στην ανάπτυξη μοντέλων αντιμετώπισης εχθρών των φυτών στα πλαίσια της ολοκληρωμένης διαχείρισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Μελέτη αναπαραγωγικού δυναμικού της αφίδας *Aphis gossypii* σε διαφορετικές ποικιλίες βαμβακιού

Εισαγωγή

Το βαμβάκι συγκαταλέγεται μεταξύ των οικονομικά πιο σημαντικών καλλιεργειών παγκοσμίως και διαθέτει εύρος ειδών και βοτανικών ποικιλιών. Το είδος *Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae) (upland cotton) είναι κοσμοπολίτικο είδος, καλά προσαρμοσμένο στο κλίμα της λεκάνης της Μεσογείου, και αποτελεί μία από τις σημαντικότερες καλλιέργειες στην Ελλάδα για πολλές δεκαετίες (Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος 1999). Όμως, η αφίδα *A. gossypii*, όντας σημαντικό είδος παγκοσμίως, προκαλεί σοβαρές απώλειες παραγωγής και ποιοτική υποβάθμιση της ίνας (sticky lint) (Rosenheim *et al.* 1997, Deguine *et al.* 2000, Slosser *et al.* 2002). Η αφίδα αυτή είναι εξαιρετικά πολυφάγος και αποικίζει περισσότερα από 900 φυτικά είδη ανά τον κόσμο (Blackman & Eastop 2000). Ωστόσο, θεωρείται πιθανό ότι το είδος έχει διαφοροποιηθεί σε γενοτύπους με προσαρμογή ξενιστή (Guldmond *et al.* 1994, Vanlerberghe-Masutti & Chavigny 1998).

Στην Ελλάδα, η καταπολέμηση της *A. gossypii* βασίζεται κυρίως στη χρήση εντομοκτόνων ουσιών. Κατά το 2003 6,5 τόνοι δραστικών ουσιών διαφόρων εντομοκτόνων χρησιμοποιήθηκαν για την προστασία του βαμβακιού από την αφίδα αυτή (Bayer CropScience Ελλάς Α.Β.Ε.Ε., προσωπική επικοινωνία). Όμως, η ανάπτυξη ανθεκτικότητας πληθυσμών της αφίδας *A. gossypii* σε ένα μεγάλο εύρος εντομοκτόνων, που αναφέρθηκε σε πολλές περιοχές του κόσμου (Grafton-Cardwell 1991, Kerns & Gaylor 1992, Ahmad *et al.* 2003) και στην Ελλάδα (Ioannidis 1999, Nauen & Elbert 2003), επιβάλλει την ανάπτυξη εναλλακτικών στρατηγικών αντιμετώπισης του εντόμου, συμβατών με την Ολοκληρωμένη Διαχείριση Εχθρών (Ο.Δ.Ε.). Εκτός από τον κλασικό βιολογικό έλεγχο της *A. gossypii*, μία καινοτόμος προοπτική, συμβατή με την Ο.Δ.Ε., στηρίζεται στην ιδέα χρήσης ανεκτικών ή ανθεκτικών ποικιλιών βαμβακιού. Κατά τα τελευταία χρόνια, πολλοί ερευνητές έχουν αναφέρει ότι το αναπαραγωγικό δυναμικό της *A. gossypii* είναι διαφορετικό σε διαφορετικές ποικιλίες του ίδιου ξενιστή, π.χ. του

χρυσανθέμου, *Chrysanthemum* spp. (Asteraceae), (Markkula *et al.* 1969, Wyatt 1965, 1969, Storer & van Emden 1995) και της πεπονιάς, *Cucumis melo* L. (Cucurbitaceae) (Shinoda & Tanaka 1987, Collins *et al.* 1994). Στο βαμβάκι η έρευνα έχει επικεντρωθεί στη δράση των δευτερευόντων μεταβολιτών και στην επίδραση του τριχώματος φύλλου του φυτού. Οι Du *et al.* (2004) βρήκαν ότι υψηλά ποσοστά γκοσυπόλης στο φυτό έχουν ως αντιβιοτική δράση στην αφίδα, ενώ οι Mansour *et al.* (1997) ανέφεραν σε ποικιλίες αιγυπτιακού βαμβακιού αρνητική γραμμική συσχέτιση μεταξύ συγκέντρωσης τανίνης και πυκνότητας πληθυσμού αφίδων (Aphididae), αλευρωδών (Aleyrodidae) και ιασσίδων (Cicadellidae) στον αγρό. Άλλοι συγγραφείς ασχολήθηκαν με την επίδραση της πυκνότητας τριχώματος σε πληθυσμούς αφίδων, αν και εδώ έχουν αναφερθεί κάποια αντικρουόμενα αποτελέσματα έρευνας (Niles 1980). Ο τελευταίος έδειξε αντιφατικά δεδομένα σχέσης τριχοφυΐας φύλλων και ανθεκτικότητας ποικιλιών σε πληθυσμούς της αφίδας. Γενικά, υποστηρίζεται ότι φυτά βαμβακιού με αδενώδεις (glandular) ή νύσσουσες (stellate) τρίχες στα φύλλα τους είναι ανθεκτικά στον αποικισμό από αφίδες (Dixon 1998). Η κάτω επιφάνεια των φύλλων του βαμβακιού διαθέτει είτε μονοκύτταρες βελονοειδείς επιμήκεις μονήρεις είτε αδενώδεις τρίχες (Bondada & Oosterhuis 2000). Οι τελευταίες εμπλέκονται στην έκκριση διαφόρων χημικών ουσιών, όπως διαλύματα αλάτων, λιπίδια κ.λπ. (Elleman & Entwistle 1982). Πειράματα αγρού στο Πακιστάν με τέσσερις ποικιλίες βαμβακιού έδειξαν μεγαλύτερους πληθυσμούς αφίδων σε ποικιλίες με αραιότερο και κοντότερο τρίχωμα από ό,τι σε αυτές με πυκνό (Naveed *et al.* 1995). Ομοίως, ο Harland (1932) ανέφερε ότι η ευαισθησία στην προσβολή από αφίδες σχετίζεται με τη λεία επιφάνεια των φύλλων.

Αντίθετα, οι Weathersbee & Hardee (1994) και οι Weathersbee *et al.* (1994) βρήκαν σε πειράματα αγρού στις Η.Π.Α. ότι γενότυποι βαμβακιού με λεία επιφάνεια φύλλου προσβάλλονται λιγότερο από αφίδες παρά εκείνοι με παρουσία τριχών. Η ουσιαστική αντοχή ποικιλιών με λεία επιφάνεια φύλλων σε προσβολή από αφίδες αποδείχθηκε ακόμη και σε πειράματα αγρού από τους Weathersbee *et al.* (1995). Οι Chu *et al.* (2001) ανέφεραν παρόμοια αποτελέσματα για ένα άλλο ομόπτερο είδος, τον αλευρώδη *Bemisia tabaci* (Gennadius). Οι συγγραφείς ανέφεραν σε πειράματα αγρού στις Η.Π.Α. ότι ποικιλίες με πολύ τριχωτή επιφάνεια φύλλου ανέχθηκαν μεγαλύτερο αριθμό αβγών, νυμφών και τελείων του εντόμου από ό,τι άλλες με λεία επιφάνεια.

Τα δημοσιευμένα πειραματικά δεδομένα μέχρι σήμερα, σχετικά με την επίδραση λείων φύλλων βαμβακιού, προέρχονται από πειραματισμό αγρού, που αφορά επίπεδα προσβολής από αφίδες σε διαφορετικές ποικιλίες του φυτού. Δεν υπάρχει κάποια μελέτη που να περιγράφει την επίδραση του τριχώματος απευθείας στο αναπαραγωγικό δυναμικό των αφίδων στο εργαστήριο ή στον αγρό. Η απόδοση των αφίδων ως προς το αναπαραγωγικό τους δυναμικό αποτελεί ένα δυναμικό εργαλείο για την αξιολόγηση του επιπέδου της ανθεκτικότητας των φυτών. Ένα αξιόπιστο μέσο μέτρησης της απόδοσης πληθυσμών αφίδων είναι η χρήση δημογραφικών χαρακτηριστικών, όπως της γονιμότητας και του ενδογενούς ρυθμού αύξησης (r_m) (Dixon 1987). Οι αφίδες στα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές σε κατάλληλους ξενιστές από ό,τι σε ανθεκτικούς.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα και το γεγονός ότι παρ' όλη την υψηλή οικονομική σημασία των ελληνικών ποικιλιών, δεν υπάρχουν μέχρι σήμερα στοιχεία αναπαραγωγικού δυναμικού της αφίδας *A. gossypii* στις ποικιλίες αυτές, στο παρόν κεφάλαιο στοχεύεται η εξέταση του αναπαραγωγικού δυναμικού και των δημογραφικών χαρακτηριστικών παρθενογενετικών σειρών (κλώνων) σε σημαντικές ποικιλίες, καθώς και η διερεύνηση πιθανών συσχετίσεων με συγκεκριμένα φυτικά χαρακτηριστικά.

Υλικά και Μέθοδοι

Αφίδες

Χρησιμοποιήθηκαν τρεις παρθενογενετικές σειρές (κλωνικές αποικίες) της αφίδας στα πειράματα, που δημιουργήθηκαν από ένα ενήλικο θηλυκό η καθεμιά, συλλεγμένο από βαμβάκι σε περιοχές της κεντρικής Θεσσαλίας (Γιάννουλη, Βελεστίνο και Λάρισα) κατά το έτος 1997. Οι αποικίες διατηρούνταν σε κομμένα φύλλα κολοκυθιάς, *Cucurbita pepo* L. (Cucurbitaceae) σε κλωβούς εκτροφής τύπου Blackman (Blackman 1971) για αρκετές γενιές σε βιοκλιματικό θάλαμο με συνθήκες $17 \pm 0,5$ °C και φωτοπερίοδο L16:D8 μέχρι την έναρξη των πειραμάτων. Οι αφίδες διατηρήθηκαν σε διαφορετικό φυτικό είδος από αυτό των πειραματικών φυτών για αποφυγή πιθανής πρότερης επιρροής φυτού στο αναπαραγωγικό δυναμικό των αφίδων (Lushai *et al.* 1997).

Ποικιλίες βαμβακιού

Χρησιμοποιήθηκαν έξι ποικιλίες βαμβακιού: Ζέτα-2, Ζέτα-5, Εύα, Κορίνα, Άκαλα-SJ2 και Σίνδος-80, ευρέως καλλιεργούμενες για πολλά χρόνια, κάποιες μέχρι και σήμερα, στην Ελλάδα. Η ποικιλία Άκαλα-SJ2 είναι η πιο διαδεδομένη ποικιλία παγκοσμίως με υψηλή προσαρμοστικότητα. Οι ποικιλίες Ζέτα-2 και Ζέτα-5 είναι προϊόντα ελληνικής επιλογής από τις ποικιλίες Άκαλα-SJ2 και -SJ5 αντίστοιχα, ενώ οι Εύα, Κορίνα και Σίνδος-80 προέρχονται ή από διασταυρώσεις ή από επιλογή ή και από τα δύο, από τον τ. Ελληνικό Οργανισμό Βάμβακος. Εμπειρικά δεδομένα αναφορικά με πυκνότητα τριχώματος φυλλικής επιφάνειας ποικιλιών βαμβακιού παραχωρήθηκαν από το Ινστιτούτο Βάμβακος και Βιομηχανικών Φυτών Σίνδου (προσωπική επικοινωνία). Για επιβεβαίωση των στοιχείων αυτών μετρήθηκε η πυκνότητα τριχώματος σε φυτά των έξι ποικιλιών με χρήση διοπτρικού στερεοσκοπίου (Leica MZ12, Wetzlax, Germany) σε επίπεδο μεγέθυνσης 75x στο στάδιο του δεύτερου ζεύγους μόνιμων φύλλων. Η πυκνότητα τριχών προσδιορίστηκε ως η μέση τιμή από δέκα δείγματα σχήματος τετραγώνου, εμβαδού 2x2 mm² το καθένα, που επιλέχθηκαν τυχαία ανά ζεύγη στην κάτω επιφάνεια των πέντε λοβών του φύλλου, που σχηματίζονται ανάμεσα στις κύριες νευρώσεις και πάντα κοντά στην περιφέρεια του φύλλου. Μετρήθηκαν τρίχες μόνο ανάμεσα στις κύριες νευρώσεις, αφού το αναπαραγωγικό δυναμικό μελετήθηκε χρησιμοποιώντας ατομικά κλουβάκια παγίδευσης (clip-cages) περιορίζοντας τις αφίδες μόνο μεταξύ των κυρίων νευρώσεων. Οι σπόροι των ποικιλιών του βαμβακιού παραχωρήθηκαν από τον τ. Ελληνικό Οργανισμό Βάμβακος το 1997.

Τα φυτά βαμβακιού αναπτύσσονταν σε γλαστράκια διαμέτρου 10cm και σε εδαφικό υπόστρωμα τύρφης ("Primo", Plantaflor, Germany) μέχρι το βλαστικό στάδιο του δεύτερου ζεύγους μόνιμων φύλλων. Στη συνέχεια, μεταφέρονταν σε βιοκλιματικό θάλαμο σταθερών συνθηκών (19°C, L16:D8) μία ημέρα πριν από την έναρξη των πειραμάτων. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων τα φυτά δέχονταν τακτική άρδευση, αζωτούχο λίπανση (με ριζοπότισμα στο στάδιο των δύο μόνιμων φύλλων) και τεχνητό φωτισμό ημέρας με λάμπες φθορίου έντασης 10.000lux.

Ανάπτυξη, γονιμότητα, μακροζωία και θνησιμότητα αφίδων

Πραγματοποιήθηκαν δύο πειράματα. Το πρώτο αφορούσε στη συγκριτική μελέτη του δυναμικού αναπαραγωγής μίας παρθενογενετικής σειράς (Λάρισα), και στις έξι ποικιλίες κατά το έτος 1997. Στο δεύτερο πείραμα (1998) επιλέχθηκαν για μελέτη αναπαραγωγικού δυναμικού οι τέσσερις από τις προηγούμενες έξι ποικιλίες με κριτήριο τις διαφορές που βρέθηκαν στο πρώτο πείραμα. Οι δύο από αυτές (Εύα και Κορίνα) είχαν επιδείξει υψηλό, ενώ οι άλλες δύο (Ζέτα-2 και Άκαλα-SJ2) μέτριο έως χαμηλό δυναμικό αναπαραγωγής στους πληθυσμούς της αφίδας. Δεδομένης της γνωστής ενδοειδικής παραλλακτικότητας στην απόδοση των αφίδων (Weber 1985, Wilhoit & Mittler 1991, Sandström 1994), στο πείραμα αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι άλλες δύο παρθενογενετικές σειρές (Βελεστίνο, Γιάννουλη) για την αξιολόγηση των τεσσάρων ποικιλιών.

Ένα άπτερο παρθενογενετικό θηλυκό («μητέρα») κάθε κλώνου που διατηρούνταν σε φυτά κολοκυθιάς περιορίστηκε σε ατομικό κλωβό εκτροφής τύπου clip-cage, τοποθετημένο ανάμεσα στις κύριες νευρώσεις της κάτω επιφάνειας των δύο κορυφαίων φύλλων του κάθε φυτού βαμβακιού. Μετά από 24 ώρες κάθε μητέρα μαζί όλες τις παραχθείσες, εκτός από μία, νύμφες αφαιρούνταν από τον κλωβό. Κάθε μία-δύο ημέρες καταγραφόταν ο χρόνος ανάπτυξης, T_d (η περίοδος από τη γέννηση της ατομικής αφίδας μέχρι την παραγωγή του πρώτου απογόνου) και ο συνολικός αριθμός απογόνων. Πραγματοποιήθηκαν 120 και 220 επαναλήψεις στο πρώτο και το δεύτερο πείραμα αντίστοιχα. Στο δεύτερο πείραμα καταγράφηκε επίσης και η νυμφική θνησιμότητα.

Δημογραφικά χαρακτηριστικά

Ο ενδογενής ρυθμός αύξησης του πληθυσμού, r_m (θηλυκοί απόγονοι / θηλυκό / ημέρα) υπολογίστηκε με δύο μεθόδους. Και στα δύο πειράματα χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση των Wyatt & White (1977):

$$r_m = 0.738 \cdot \ln(M_d) / T_d$$

όπου M_d είναι ο αριθμός των απογόνων που παράγονται σε χρόνο ίσο με T_d μετά την έναρξη της αναπαραγωγής. Στο δεύτερο πείραμα το r_m υπολογίστηκε και με τη μέθοδο

του Birch (1948):

$$\int_0^n \exp(-r_m \cdot x) l_x m_x = 1$$

όπου n είναι ο αριθμός των εξεταζόμενων ατόμων. Ο λόγος του αριθμού των ατόμων του εξεταζόμενου δείγματος που επιβιώνουν ύστερα από το διάστημα μεταξύ της ημέρας $\chi-1$ και χ αυτού προς τον αρχικό πληθυσμό ατόμων ονομάζεται πιθανότητα επιβίωσης στην ηλικία x (l_x). Για τα ίδια χρονικά διαστήματα καταγράφεται ο μέσος αριθμός θηλυκών απογόνων, m_x . Η παράμετρος αυτή προκύπτει από τη διαίρεση του συνολικού αριθμού θηλυκών απογόνων του δείγματος ανά ημέρα, με τον αριθμό θηλυκών ατόμων του δείγματος που επιζεί ως την ημέρα αυτή. Ακόμη, υπολογίστηκαν ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός ($R_0 = \sum l_x m_x$), ο μέσος χρόνος γενιάς ($T = \ln(R_0)/r_m$) και ο χρόνος διπλασιασμού του πληθυσμού ($DT = \ln(2)/r_m$). Η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε μόνο για τα δεδομένα του δευτέρου πειράματος, αφού στο πρώτο δεν καταγραφόταν η νυμφική θνησιμότητα.

Δεδομένου ότι δεν υπάρχει η έννοια της πειραματικής επανάληψης για τις τιμές του r_m , για να υπολογιστεί στατιστικό τυπικό σφάλμα στις τιμές της δεύτερης μεθόδου, χρησιμοποιήθηκε η μαθηματική προσέγγιση «jackknife subsampling» (Sokal & Rohlf 1995) για τον υπολογισμό «ψευδοτιμών» r_m . Μετά τον υπολογισμό των τιμών r_m για κάθε ποικιλία και κλώνο τα πρωτογενή δεδομένα ανασυνδυάστηκαν $n-1$ φορές, όπου n είναι ο αριθμός των επαναλήψεων, δηλαδή αυτός των εξετασθέντων αφίδων. Έτσι, προέκυψαν «υπο-δείγματα». Κάθε φορά ένα διαφορετικό από τα n άτομα παραλειπόταν από το δείγμα και υπολογιζόταν η αντίστοιχη τιμή r_{m-i} . Οι ονομαζόμενες «ψευδο-τιμές» Φ_i υπολογίστηκαν με βάση την εξίσωση: $\Phi_i = nr_m - (n-1)r_{m-i}$. Επομένως, προέκυψαν n ψευδο-τιμές, από τις οποίες εκτιμήθηκε ο μέσος όρος και το τυπικό σφάλμα, για να καταστεί δυνατή η στατιστική σύγκριση των μέσων όρων. Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε επίσης και για τον υπολογισμό των δημογραφικών χαρακτηριστικών: T , R_0 και DT .

Στατιστική ανάλυση

Η σύγκριση μεταξύ των ποικιλιών όσο αφορά την πυκνότητα τριχώματος έγινε μέσω ANOVA με ένα παράγοντα. Στο πρώτο πείραμα η επίδραση των ποικιλιών στο δυναμικό αναπαραγωγής εξετάστηκε μέσω ANOVA με ένα παράγοντα, ενώ στο δεύτερο, η επίδραση των κλώνων και των ποικιλιών στο δυναμικό αναπαραγωγής εξετάστηκε μέσω ANOVA με δύο παράγοντες. Οι διαφορές στη νυμφική θνησιμότητα συγκρίθηκαν με δοκιμή X^2 , ενώ η πιθανή συσχέτιση πυκνότητας τριχώματος και δημογραφικών χαρακτηριστικών διερευνήθηκε με τη χρήση του συντελεστή συσχέτισης Pearson (r).

Όλες οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS v.12.0 (SPSS Inc. 2003).

Αποτελέσματα

Πυκνότητα τριχώματος φύλλων βαμβακιού

Η πυκνότητα τριχώματος (μ.ό. / mm²) ήταν υψηλότερη στην ποικιλία Σίνδος-80 (1,71), ακολουθούμενη από τις Εύα (1,46), Κορίνα (1,35), Ζέτα-5 (0,96) και Άκαλα-SJ2 (0,77), ενώ η χαμηλότερη πυκνότητα καταγράφηκε στην ποικιλία Ζέτα-2 (0,41) ($F = 69,9$, $B.E. = 5$, $P < 0,001$, $N = 300$). Έτσι, οι ποικιλίες ταξινομήθηκαν ανάλογα με το βαθμό τριχοφυΐας τους ως εξής: Σίνδος-80: υψηλός, Εύα και Κορίνα: μέτρια υψηλός, Ζέτα-5 και Άκαλα-SJ2: μέτριος, Ζέτα-2: χαμηλός.

Βιολογικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά

Στο πρώτο πείραμα τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο παράγοντας ποικιλία επέδρασε σημαντικά στο αναπαραγωγικό δυναμικό της παρθενογενετικής σειράς που εξετάστηκε (πίνακας 1). Οι αφίδες εμφάνισαν τις υψηλότερες τιμές ενδογενούς ρυθμού αύξησης και γονιμότητας και το μικρότερο χρόνο ανάπτυξης στην ποικιλία Εύα.

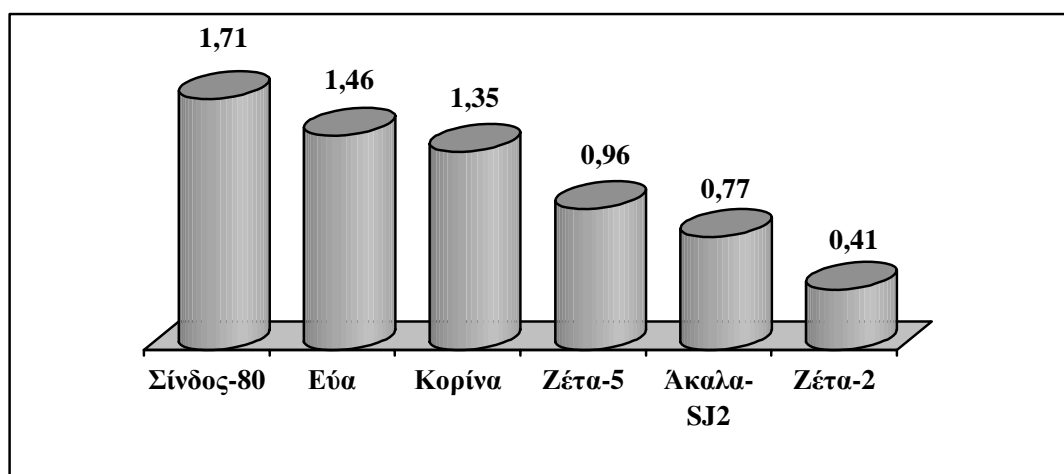
Η κατηγοριοποίηση ανάλογα με το βαθμό τριχοφυΐας φαίνεται στο σχήμα 1. Μία εξίσου υψηλή απόδοση σε αναπαραγωγικό δυναμικό παρατηρήθηκε στις ποικιλίες Κορίνα και Σίνδος-80, οι οποίες διαθέτουν σχετικά υψηλή πυκνότητα τριχώματος (πίνακας 1). Αντίθετα, η χαμηλής πυκνότητας τριχώματος ποικιλία Ζέτα-2 επηρέασε αρνητικά το αναπαραγωγικό δυναμικό της εξετασθείσας παρθενογενετικής σειράς. Οι αφίδες επέδειξαν το μεγαλύτερο χρόνο ανάπτυξης και τις χαμηλότερες τιμές ενδογενούς ρυθμού αύξησης και γονιμότητας. Οι άλλες δύο ποικιλίες (Ζέτα-5 και Άκαλα-SJ2) κατατάχθηκαν ανάμεσα στις προηγούμενες τέσσερις ποικιλίες. Η μακροζωία των αφίδων διέφερε επίσης ανάμεσα στις ποικιλίες, αν και ακολούθησε την ίδια κατηγοριοποίηση μέσα στις ποικιλίες σχετικά με άλλα βιολογικά χαρακτηριστικά. Τα δημογραφικά χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν, εκτός από την μακροζωία ($r = 0,684$, $B.E. = 5$, $P < 0,05$), συσχετίστηκαν σημαντικά με την πυκνότητα τριχώματος. Ιδιαίτερα, υπήρξε σημαντική αρνητική συσχέτιση με το χρόνο ανάπτυξης ($r = -0,831$, $B.E. = 5$, $P < 0,05$)

και σημαντική θετική συσχέτιση με τον ενδογενή ρυθμό ανάπτυξης ($r = 0,872$, $B.E. = 5$, $P < 0,05$) και τη γονιμότητα ($r = 0,920$, $B.E. = 5$, $P < 0,01$).

Πίνακας 1. Πυκνότητα τριχώματος (τρίχες / mm^2) (Μ.Ο.±Τ.Σ.), χρόνος ανάπτυξης (T_d) σε ημέρες, ενδογενής ρυθμός αύξησης (r_m), γονιμότητα (αριθμός αφίδων ανά θηλυκό) και μακροζωία σε ημέρες μίας παρθενογενετικής σειράς του *Aphis gossypii* από τη Γιάννουλη Λάρισας που εκτράφηκε σε διαφορετικές ποικιλίες βαμβακιού στους $19\pm 0,5$ °C και L16:D8 (20 επαναλήψεις ανά ποικιλία).

Ποικιλία	Πυκνότητα τριχώματος	T_d	r_m	Γονιμότητα	Μακροζωία
Εύα	1,46±0,09 ^b	7,1±0,2 ^a	0,359±0,018 ^e	58,9±3,5 ^c	33,4±2,1 ^{bc}
Κορίνα	1,35±0,05 ^b	7,4±0,3 ^{ab}	0,318±0,017 ^{de}	42,2±5,0 ^b	30,3±2,2 ^{ab}
Σίνδος-80	1,71±0,06 ^a	8,1±0,3 ^{bc}	0,306±0,015 ^{cd}	56,5±3,2 ^c	37,5±2,1 ^c
Ζέτα-5	0,96±0,04 ^c	8,6±0,4 ^{cd}	0,274±0,012 ^{bc}	41,1±5,0 ^b	27,5±1,6 ^a
Άκαλα-SJ2	0,77±0,05 ^d	8,8±0,3 ^{cd}	0,254±0,015 ^{ab}	37,3±4,1 ^{ab}	27,8±1,8 ^{ab}
Ζέτα-2	0,41±0,05 ^e	9,5±0,4 ^d	0,218±0,016 ^a	29,4±3,9 ^a	31,1±2,6 ^{ab}
$F_{5,114}$	-	7,8	10,2	7,4	3,3

Οι μέσοι όροι σε κάθε στήλη, που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά με βάση τη δοκιμή Duncan ($P < 0,05$).



Σχήμα 1. Κατάταξη ποικιλιών ανάλογα με την πυκνότητα τριχώματος φύλλου (τρίχες / mm^2)

Στο δεύτερο πείραμα που αφορούσε στο αναπαραγωγικό δυναμικό των δύο παρθενογενετικών σειρών από τη Λάρισα και το Βελεστίνο η *two-way-ANOVA* αποκάλυψε σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις τέσσερις ποικιλίες σε όλα τα βιολογικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν. Διαφορές, ωστόσο, δεν εντοπίστηκαν ανάμεσα στις δύο σειρές (βλ. Παράρτημα, πίνακα Π5). Τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια με αυτά που ελήφθησαν στο πρώτο πείραμα (σύγκρισε πίνακες 1 και 2). Η απόδοση ήταν χαμηλότερη στην ποικιλία Ζέτα-2, που χαρακτηρίζεται από τη χαμηλότερη πυκνότητα τριχώματος. Οι αφίδες σημείωσαν σημαντικά καλύτερες τιμές παραμέτρων στις ποικιλίες Εύα και Κορίνα από ό,τι στις Άκαλα-SJ2 και Ζέτα-2. Εντούτοις, ο σημαντικά μεγαλύτερος χρόνος ανάπτυξης και ο ενδογενής ρυθμός αύξησης, που υπολογίστηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο Wyatt και White (1977), καθώς και η γονιμότητα παρατηρήθηκαν σε αφίδες που εκτράφηκαν στην ποικιλία Ζέτα-2.

Πίνακας 2. Χρόνος ανάπτυξης (T_d) σε ημέρες (Μ.Ο.±Τ.Σ.), ενδογενής ρυθμός αύξησης (r_m), γονιμότητα (αριθμός αφίδων ανά θηλυκό) και μακροζωία σε δύο παρθενογενετικές σειρές της *Aphis gossypii* από τη Γιάννουλη Λάρισας και το Βελεστίνο, που εκτράφηκαν σε διαφορετικές ποικιλίες βαμβακιού στους $19\pm 0,5$ °C και L16:D8 (συγχωνευμένα στοιχεία από τις δύο παρθενογενετικές σειρές).

Ποικιλία	N ¹	T_d	r_m^2	Γονιμότητα	Μακροζωία
Εύα	40	7,0±0,17 ^a	0,330±0,010 ^d	41,7±1,7 ^c	29,8±0,5 ^a
Κορίνα	55	7,9±0,15 ^b	0,290±0,005 ^c	48,2±2,1 ^d	34,5±0,7 ^b
Άκαλα-SJ2	48	8,5±0,16 ^c	0,270±0,005 ^b	35,1±1,3 ^b	31,2±0,5 ^a
Ζέτα-2	40	9,0±0,15 ^c	0,244±0,004 ^a	29,3±1,2 ^a	30,4±0,7 ^a

¹ N = αριθμός επαναλήψεων. ² Ο ενδογενής ρυθμός αύξησης υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μέθοδο Wyatt & White (1977). Οι μέσοι όροι σε κάθε στήλη, που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά με βάση τη δοκιμή Duncan ($P < 0,05$).

Όσον αφορά τη μακροζωία των αφίδων, βρέθηκε μικρή παραλλακτικότητα ανάμεσα στις τέσσερις ποικιλίες με τη σημαντικά υψηλότερη τιμή στην ποικιλία Κορίνα. Η νυμφική θνησιμότητα ποίκιλλε μεταξύ των ποικιλιών (πίνακας 3). Και οι δύο

παρθενογενετικές σειρές εμφάνισαν μηδενική θνησιμότητα στην ποικιλία Κορίνα, ενώ σημαντικές διαφορές δεν παρατηρήθηκαν μεταξύ των αφίδων που εκτράφηκαν στις άλλες τρεις ποικιλίες.

Πίνακας 3. Νυμφική θνησιμότητα δύο παρθενογενετικών σειρών της *Aphis gossypii* από τη Λάρισα (Λ) και το Βελεστίνο (Β), που εκτράφηκαν σε διαφορετικές ποικιλίες βαμβακιού στους $19\pm 0,5$ °C και L16:D8 (σε παρένθεση οι αριθμοί εξετασθέντων αφίδων).

Παρθενογενετική σειρά	Ποικιλίες				χ^2 (BE = 3)
	Εύα	Ζέτα-2	Άκαλα-SJ2	Κορίνα	
	% θνησιμότητα				
Λ	20,0 ^a (25)	20,0 ^a (25)	8,0 ^a (25)	0,0 ^a (25)	6,0 *
Β	33,3 ^a (30)	33,3 ^a (30)	16,7 ^a (30)	0,0 ^b (30)	11,0 **
Συγχωνευμένα στοιχεία	27,3 ^a	27,3 ^a	12,7 ^a	0,0 ^b	16,9 ***

Τα ποσοστά σε κάθε γραμμή, που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά με βάση τη δοκιμή χ^2 . * $P < 0,111$ ** $P < 0,012$ *** $P < 0,001$.

Οι τιμές του ενδογενούς ρυθμού αύξησης κατά τον Birch (1948) κατέταξαν τις ποικιλίες παρομοίως με τη μέθοδο Wyatt & White (1977) (πίνακες 2 και 4), αν και ελήφθησαν χαμηλότερες τιμές με την πρώτη μέθοδο. Οι αφίδες που εκτράφηκαν στην ποικιλία Ζέτα-2 έδειξαν χαμηλότερες τιμές r_m από ό,τι στις άλλες τρεις υψηλής τριχοφυΐας ποικιλίες. Ακόμη, οι αφίδες στην Ζέτα-2 επέδειξαν σημαντικά μεγαλύτερο χρόνο γενιάς και χρόνο διπλασιασμού πληθυσμού και το μεγαλύτερο καθαρό αναπαραγωγικό ρυθμό (πίνακας 4). Τέλος, όλα τα εξετασθέντα δημογραφικά χαρακτηριστικά, εκτός από τη μακροζωία ($r = 0,307$, $B.E. = 3$, $P < 0,694$), παρουσίασαν σημαντική συσχέτιση με τον παράγοντα «πυκνότητα τριχώματος». Ιδιαίτερα, υπήρξε σημαντικά αρνητική συσχέτιση της τριχοφυΐας με το χρόνο ανάπτυξης ($r = -0,934$, $B.E.$

= 3, $P < 0,05$) και σημαντικά θετική συσχέτιση με τον ενδογενή ρυθμό αύξησης ($r = 0,931$, $B.E. = 3$, $P < 0,05$) και τη γονιμότητα ($r = 0,913$, $B.E. = 3$, $P < 0,05$).

Πίνακας 4. Δημογραφικές παράμετροι (Μ.Ο.±Τ.Σ.) δύο παρθενογενετικών σειρών της *Aphis gossypii* από τη Λάρισα και το Βελεστίνο, που εκτράφηκαν σε διαφορετικές ποικιλίες βαμβακιού στους 19±0,5 °C και L16:D8 (συγχωνευμένα στοιχεία από τις δύο παρθενογενετικές σειρές, 55 άτομα από κάθε ποικιλία).

Ποικιλία	T	r_m^1	DT	R_0
Εύα	12,8±0,3 ^a	0,266±0,011 ^a	2,6±0,10 ^b	30,1±2,8 ^b
Κορίνα	14,2±0,2 ^b	0,272±0,005 ^a	2,6±0,04 ^b	46,7±2,1 ^a
Άκαλα-SJ2	14,6±0,2 ^{bc}	0,235±0,006 ^b	3,0±0,07 ^a	30,7±2,0 ^b
Ζέτα-2	15,2±0,2 ^c	0,202±0,007 ^c	3,4±0,12 ^a	21,3±2,0 ^c

¹ Ο ενδογενής ρυθμός αύξησης υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μέθοδο του Birch (1948).

Οι μέσοι όροι σε κάθε στήλη, που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά με βάση τη δοκιμή Duncan ($P < 0,05$).

T = Μέσος χρόνος γενιάς (ημέρες), r_m = ενδογενής ρυθμός αύξησης (αριθμός θηλυκών / θηλυκών / ημέρα, R_0 = Καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός (αριθμός θηλυκών ανά θηλυκό στη συνολική διάρκεια ζωής), DT = χρόνος διπλασιασμού πληθυσμού (ημέρες)

Συζήτηση

Η παρούσα μελέτη αποκάλυψε ότι οι ποικιλίες βαμβακιού επηρέασαν την απόδοση όσον αφορά στο αναπαραγωγικό δυναμικό των αφίδων, και κατά συνέπεια την αύξηση των πληθυσμών τους. Η λιγότερο ευαίσθητη ποικιλία στην προσβολή αφίδων ήταν η Ζέτα-2. Όταν η παρθενογενετική σειρά από τη Γιάννουλη εκτράφηκε στη Ζέτα-2, μειώθηκε ο ενδογενής ρυθμός αύξησης και η γονιμότητα κατά 31-39% και 30-50% αντίστοιχα, σε σχέση με τις πιο ευαίσθητες ποικιλίες Εύα και Κορίνα. Η αντίστοιχη μείωση, όταν συγκρίθηκαν η Ζέτα-2 με τις Εύα και Κορίνα, στην περίπτωση των δύο παρθενογενετικών σειρών ήταν 19-25% και 13-26% για την παρθενογενετική σειρά από

τη Λάρισα και 38-42% και 21-36% για αυτή από το Βελεστίνο. Αν και εξετάστηκαν διαφορετικές ποικιλίες στην παρούσα διατριβή, τα αποτελέσματά της συμφωνούν με την πλειοψηφία των σχετικών αναφορών στη βιβλιογραφία, υποδηλώνοντας τη διαφορετική απόδοση σε αναπαραγωγικό δυναμικό της αφίδας *A. gossypii* σε διάφορες ποικιλίες βαμβακιού και τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της ανθεκτικότητας φυτών για την ορθολογική αντιμετώπιση πληθυσμών αφίδων στα πλαίσια προγραμμάτων ολοκληρωμένης διαχείρισης εχθρών (Weathersbee & Hardee 1994, Weathersbee *et al.* 1994, 1995, Mansour *et al.* 1997, Du *et al.* 2004). Ένα ενδιαφέρον αποτέλεσμα είναι το ότι όλες οι παρθενογενετικές σειρές που εξετάστηκαν, συμπεριφέρθηκαν παρόμοια στις ίδιες εξετασθείσες ποικιλίες (π.χ. η Ζέτα-2 κατατάχθηκε ως η λιγότερο ευαίσθητη ποικιλία και στα δύο πειράματα και δεν εντοπίστηκε αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων «παρθενογενετική σειρά» και «ποικιλία»). Παρ' όλα αυτά, σε άλλα παρόμοια συστήματα που μελετήθηκαν, καταγράφηκε υψηλή παραλλακτικότητα μεταξύ παρθενογενετικών σειρών, όπως π.χ. σε πληθυσμούς της *A. pisum* σε μπιζέλια, *Pisum sativum* L. (Fabaceae) (Sandström 1994). Το ερώτημα που προκύπτει είναι κατά πόσο ένας πιθανός παράγοντας ανθεκτικότητας δρα παρόμοια σε όλες τις παρθενογενετικές σειρές ή αν όλες αντιπροσωπεύουν τον ίδιο γενότυπο. Η αφίδα *A. gossypii* θεωρείται ότι αναπαράγεται παρθενογενετικά στην Ανατολική Μεσόγειο (Blackman & Eastop 2000, Τσιτσιπής και συνεργάτες, αδημοσίευτα στοιχεία), και το γεγονός αυτό θα μπορούσε να ελαττώσει τον αριθμό των γενοτύπων που αποικίζουν το βαμβάκι. Για έναν άλλο εχθρό, την αφίδα *Myzus persicae nicotianae* Blackman, οι Fuentes-Contreras *et al.* (2004) βρήκαν ότι όλες οι ανολοκυκλικές σειρές που αποίκιζαν τον καπνό στη Χιλή αποτελούνται από ένα γενότυπο. Γενετικές αναλύσεις, όπως γενοτυπική ανάλυση μικροδορυφορικού DNA (microsatellite genotyping analysis) θα μπορούσαν να ξεκαθαρίσουν την παραπάνω όντως πολύπλοκη θεώρηση.

Τα πειραματικά αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν μία ευθεία συσχέτιση αναπαραγωγικού δυναμικού και πυκνότητας τριχώματος στην κάτω επιφάνεια των φύλλων του βαμβακιού. Οι ποικιλίες στις οποίες οι αφίδες επέδειξαν χαμηλό αναπαραγωγικό δυναμικό διαθέτουν χαμηλή πυκνότητα τριχώματος, ενώ οι πιο ευαίσθητες στην προσβολή αφίδων (υψηλό αναπαραγωγικό δυναμικό) είναι γενικά υψηλής τριχοφυΐας. Είναι ευρέως γνωστό ότι η παρουσία τριχώματος στα φύλλα

ορισμένων φυτών επηρεάζει δυσμενώς τη δυναμική πληθυσμών διαφόρων ειδών αφίδων, όπως για παράδειγμα στο φυτό *Benincasa hispida* (Thunb.) (Cucurbitaceae) η παρουσία τριχών στο έλασμα του φύλλου ελάττωσε την προσβολή από το *A. gossypii* (Dixon 1998, Khan *et al.* 2000). Στην παρούσα εργασία η παρουσία τριχών δεν επηρέασε αρνητικά τη σχετική προσβολή από την αφίδα (που μεταφράζεται σε απόδοση των αφίδων), και πιθανώς εμπλέκονται άλλοι παράγοντες. Τα παρόντα αποτελέσματα είναι σε συμφωνία με άλλες μελέτες, οι οποίες διαπίστωσαν χαμηλότερα επίπεδα προσβολής λειόφυλλων ποικιλιών σε πειράματα αγρού (Weathersbee & Hardee 1994, Weathersbee *et al.* 1994, 1995).

Αξίζει να αναφερθεί ότι η παρούσα μελέτη αποτελεί την πρώτη προσπάθεια αποσαφήνισης της επίδρασης του τριχώματος των φύλλων του βαμβακιού στην αφίδα *A. gossypii* με ακριβείς μετρήσεις δημογραφικών και βιολογικών χαρακτηριστικών σε ελεγχόμενες συνθήκες. Αντιφατικά αποτελέσματα αναφέρθηκαν από τους Naveed *et al.* (1995), που βρήκαν υψηλότερη προσβολή από αφίδες σε μία ποικιλία με μικρό αριθμό και μήκος τριχών σε πειράματα αγρού στο Πακιστάν. Πρέπει όμως να αναφερθεί ότι οι διαφορές στην πυκνότητα τριχώματος μεταξύ των τεσσάρων ποικιλιών που εξέτασαν, ήταν σχετικά μικρές (4,2-5,2 τρίχες / mm²) και παραμένει άγνωστη η εμπλοκή και άλλων παραγόντων. Εντούτοις, η επίδραση του τριχώματος έχει διερευνηθεί και σε ένα άλλο ομόπτερο, τον αλευρώδη *B. tabaci*. Πολλοί ερευνητές έχουν αναφέρει παρόμοιες καταστάσεις με αυτή για το *A. gossypii*, δηλαδή ότι ο παράγοντας τρίχωμα συνδέεται με υψηλές προσβολές από τον αλευρώδη συγκριτικά με λειόφυλλες ποικιλίες (Butler & Henneberry 1984, Butler *et al.* 1991, Chu *et al.* 2001). Φαίνεται επομένως ότι υπάρχει όμοια επίδραση και στα δύο προαναφερθέντα μυζητικά έντομα του βαμβακιού.

Συμπεραίνεται λοιπόν ότι το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό της λείας επιφάνειας των φύλλων σχετίζεται με σημαντική μείωση της προσβολής από την αφίδα του βαμβακιού, όπως αυτό βρέθηκε από τα συγκεκριμένα πειράματα εργαστηρίου και υποστηρίζεται από άλλες μελέτες αγρού. Επομένως, η χρήση ποικιλιών βαμβακιού θα μπορούσε να αποτελέσει βιώσιμη εναλλακτική ή συμπληρωματική λύση στη χημική καταπολέμηση της αφίδας. Το ερώτημα που προκύπτει είναι σχετικά με την αιτιολογία της ύπαρξης ανθεκτικότητας τέτοιων ποικιλιών. Μερικοί συγγραφείς έχουν αποδώσει κατά καιρούς την ευαισθησία τριχωτών ποικιλιών σε πληθυσμούς του *B. tabaci* είτε στο

ιδιαίτερα υψηλό στρώμα υγρασίας που συγκρατείται στην κάτω επιφάνεια του φύλλου (Burrage 1971) είτε σε φυσική δυσκολία που συναντούν στην κίνησή τους τα παρασιτοειδή ή τα αρπακτικά (Li *et al.* 1987, Heinz & Zalom 1995). Τα αποτελέσματα του Burrage (1971) όμως μπορεί να εξηγούν επίσης την κατάσταση στην *A. gossypii* και λειόφυλλων ποικιλιών. Αντίθετα, οι Weathersbee & Hardee (1994) τόνισαν ότι οι διαφορές στην πληθυσμιακή πυκνότητα των αφίδων στις εξετασθείσες ποικιλίες πηγάζουν απευθείας από την επίδραση του τριχώματος ή πιθανώς και από άλλα χαρακτηριστικά του φυτού και όχι από τη μειωμένη ή όχι δράση των φυσικών εχθρών. Επιπρόσθετα, οι Weathersbee *et al.* (1995) διαπίστωσαν παρόμοια δραστηριότητα παρασιτοειδών εναντίον αφίδων σε τριχωτές ή όχι ποικιλίες. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας στο εργαστήριο υποδηλώνουν ότι χημικοί παράγοντες-συστατικά στις εξετασθείσες ποικιλίες, όχι ακόμη καθορισμένοι, είναι δυνατό να εμπλέκονται. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα εργαστηρίου, σχετική με τη συμπεριφορά διατροφής και με τη θρέψη της αφίδας, με στόχο να διερευνηθεί η πηγή της ανθεκτικότητας των φυτών στις αφίδες (π.χ. αντιβίωση, αντιξένοση ή ανοχή) και να επιχειρηθεί συσχέτιση με διαφορετικό αναπαραγωγικό δυναμικό.

Οι διαφορές που βρέθηκαν αναφορικά με την ευπάθεια των φυτών στις προσβολές αφίδων θα μπορούσαν να εξηγηθούν εν μέρει, αν μελετηθεί η γενεαλογία των ποικιλιών. Τρεις από τις έξι ποικιλίες που εξετάστηκαν (Ακαλα-SJ2, Ζέτα-2, Ζέτα-5), που είχαν χαμηλή με μέτρια πυκνότητα τριχώματος (< 1 τρίχα / mm^2) και υψηλή ανθεκτικότητα / ανοχή σε προσβολές, αποτελούν όλες παράγωγα προγραμμάτων ελληνικών διασταυρώσεων από βελτίωση της ποικιλίας Ακαλα ως βάση. Η ποικιλία αυτή κατάγεται από το Μεξικό και εισήχθη στην Ελλάδα το 1906 (Ινστιτούτο Βάμβακος και Βιομηχανικών Φυτών Σίνδου, προσωπική επικοινωνία). Οι ποικιλίες Εύα και Κορίνα προέρχονται από δύο πολύ παλιές ελληνικές ποικιλίες (“16X” και “10E” αντίστοιχα), οι οποίες με τη σειρά τους είναι προϊόντα διασταυρώσεων με δύο ποικιλίες από το Σουδάν (“Delfos” και “Wilds” αντίστοιχα). Η Σίνδος-80 είναι επίσης ελληνική επιλογή βελτίωσης μετά από αρχική διασταύρωση των ποικιλιών “Wilds” X “3803-K” (σουδανικής και ρωσικής προέλευσης αντίστοιχα). Επομένως, οι τρεις ποικιλίες υψηλής πυκνότητας τριχώματος (> 1 τρίχα / mm^2) ή αλλιώς ευαίσθητες ποικιλίες στις προσβολές από αφίδες (Εύα, Κορίνα και Σίνδος-80) έχουν κοινή γενετική καταγωγή και

διαφορετική από τις υπόλοιπες «ευαίσθητες». Άρα, η κατηγοριοποίησή τους ως προς τα επίπεδα ανεκτικότητας / ανθεκτικότητας είναι δυνατό να αποδοθεί, μεταξύ άλλων, και στην κοινή γενεαλογία.

Οι αλληλοχημικές ουσίες στο βαμβάκι έχει αποδειχθεί ότι επιδρούν δυσμενώς στους πληθυσμούς της αφίδας *A. gossypii* και άλλων εχθρών. Οι Du *et al.* (2004) ανέφεραν ότι η υψηλή περιεκτικότητα γκοσυπόλης στο βαμβάκι έχει αντιβιοτική δράση στην αφίδα όσον αφορά τη μακροζωία και τη γονιμότητά της, ενώ οι Meng & Li (1999), σε μελέτη αξιολόγησης δέκα ποικιλιών βαμβακιού, βρήκαν αρνητική συσχέτιση μεταξύ επιπέδων προσβολής και περιεκτικότητας γκοσυπόλης. Ακόμη, η υψηλή περιεκτικότητα τανινών έχει δυσμενή επίδραση στη δυναμική πληθυσμών αφίδων και αλευρωδών (Rao *et al.* 1990, Mansour *et al.* 1997).

Η ανάπτυξη ποικιλιών βαμβακιού ανθεκτικών σε πληθυσμούς της αφίδας *A. gossypii* αποτελεί επιθυμητό στόχο. Οι ποικιλίες με λεία κάτω επιφάνεια φύλλου φαίνεται να προσδίδει καθορισμένα επίπεδα ανθεκτικότητας. Επομένως, αυτά τα μορφολογικά χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με τις προαναφερθείσες αλληλοχημικές ουσίες εξασφαλίζουν δυναμικά εναλλακτικές μεθόδους αντιμετώπισης της αφίδας, και πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη σε προγράμματα γενετικής βελτίωσης για παραγωγή ανθεκτικών ποικιλιών βαμβακιού. Ωστόσο, καλλιεργητικές πρακτικές όπως, π.χ., αζωτούχος λίπανση και εποχή σποράς (Slosser *et al.* 1992, 1997, Cinseros & Godfrey 2001) επηρεάζουν τη φυσιολογική κατάσταση των βαμβακοφύτων και την ευαισθησία στις προσβολές από τις αφίδες. Επίσης, οι ανθεκτικές ποικιλίες θα μπορούσαν να περιορίζουν στα κατώτερα δυνατά όρια τους πληθυσμούς των αφίδων και να οδηγούν σε αυξημένη αποτελεσματικότητα διαφόρων βιοτικών παραγόντων (π.χ. φυσικών εχθρών) και βελτιωμένη δραστηριότητα της χημικής καταπολέμησης (van Emden 1987). Επομένως, αυτοί οι παράγοντες επιβάλλεται να είναι αντικείμενα ορθολογικής εκμετάλλευσης σε προγράμματα ολοκληρωμένης διαχείρισης ποικιλιών των φυτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

Μελέτη των αρπακτικών *Coccinella septempunctata*, *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae) και *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) και της δράσης τους επί της αφίδας *Aphis gossypii* σε συνθήκες εργαστηρίου

Εισαγωγή

Η αφίδα *A. gossypii* είναι ένα πολυφάγο είδος, που προσβάλλει περισσότερα από 900 είδη φυτών ανά τον κόσμο (Blackman & Eastop 2000). Ειδικότερα, προσβάλλει το καλλιεργούμενο βαμβάκι στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες, προκαλώντας σοβαρή μείωση παραγωγής και ποιοτική υποβάθμιση της ίνας (sticky lint) (Rosenheim *et al.* 1997, Slosser *et al.* 2002). Στην Ελλάδα, η καταπολέμηση του εχθρού αυτού βασίζεται κυρίως στη χρήση εντομοκτόνων ουσιών, αν και έχουν αναφερθεί περιπτώσεις ανθεκτικότητας πληθυσμών του είδους σε μεγάλο εύρος εντομοκτόνων (Ioannidis 1999, Nauen & Elbert 2003). Το γεγονός αυτό επιβάλλει τη χρήση εναλλακτικών στρατηγικών αντιμετώπισης. Μία αποτελεσματική και περιβαλλοντικά ηπιότερη διαχείριση της αφίδας *A. gossypii* θα μπορούσε να περιλαμβάνει την αξιοποίηση των φυσικών της εχθρών. Ο ρόλος των αρπακτικών ως βιολογικών μέσων ελέγχου και η σχετική τους αποτελεσματικότητα εναντίον εντομολογικών εχθρών έχουν τονιστεί από πολλούς συγγραφείς (Chang 1996, Kabissa *et al.* 1996, Dixon *et al.* 1997).

Αφιδοφάγα κολεόπτερα της οικογένειας Coccinellidae υπάρχουν σε πολλές καλλιέργειες· η ωφέλεια από τη δράση τους εναντίον πληθυσμών αφίδων είναι σημαντική (Hodek 1973). Οι Xia *et al.* (1999) ανέφεραν σημαντική καταστολή πληθυσμών αφίδων σε καλλιέργεια βάμβακος στην Κίνα από το είδος *C. septempunctata*, και οι Elliott & Kieckheffer (1990) μια σημαντική αρπακτική δράση του είδους *H. convergens* στη Βόρεια Αμερική, που συνέβαλε στον έλεγχο των αφίδων. Στη Θεσσαλία, έρευνες σε βαμβακοφυτείες και στην παρακείμενη χλωρίδα ανέδειξαν τα είδη *C. septempunctata* και *H. convergens* ως τα συχνότερα απαντώμενα αρπακτικά της οικογένειας Coccinellidae μαζί με άλλα λιγότερο συνήθη, όπως είναι τα *H. variegata*, *A. bipunctata* και *C. magnifica* (Τσιτσιπής και Ζάρπας 1999). Παρ' όλη τη σημασία των αρπακτικών Coccinellidae στην καταστολή πληθυσμών αφίδων, οι πληθυσμοί τους

συχνά εμφανίζουν παραλλακτικότητα στο δυναμικό εγκατάστασής τους (Elliot & Kieckheffer 1990), και ως συνέπεια η αποτελεσματικότητά τους συχνά ελαττώνεται (Kindlmann & Dixon 1993). Ένα άλλο αφιδοφάγο αρπακτικό γνωστό για τον έλεγχο πληθυσμών της *A. gossypii* στο βαμβάκι είναι το *C. carnea* (Burke & Martin 1956). Στην Ελλάδα το *C. carnea* απαντάται σε πολλές καλλιέργειες, ειδικά σε αγρούς βαμβακιού, όταν οι πληθυσμοί των αφίδων είναι υψηλοί (Τσιτσιπής και Ζάρπας 1999).

Γενικά, η χρήση των φυσικών εχθρών για την αντιμετώπιση των εντομολογικών προσβολών εξαρτάται από την αποτελεσματικότητα του κάθε εξειδικευμένου ή όχι φυσικού εχθρού στο να ελέγχει πληθυσμούς εντόμων (Alvarado *et al.* 1997, Carver 1989). Έχουν αναφερθεί περιπτώσεις διαειδικής παραλλακτικότητας στην αποτελεσματικότητα θήρευσης σε πολλά taxa, π.χ. Miridae, Anthocoridae (Alvarado *et al.* 1997), Chrysopidae (López-Arroyo *et al.* 1999) και Coccinellidae (Lanzoni *et al.* 2004). Όμως, η διαχείριση των φυσικών εχθρών στα αγροοικοσυστήματα και οι αποφάσεις που πρέπει να λαμβάνονται για τη δυναμική χρήση τους ως βιολογικών παραγόντων απαιτούν πρότερη γνώση της βιολογίας και συμπεριφοράς τους, την προτίμηση λείας, καθώς και τη γνώση της γενετικής πληθυσμών και της βιολογίας αποικισμού τους (Obrycki *et al.* 1993, Albuquerque *et al.* 1994, Kindlmann & Dixon 1999, Kean *et al.* 2003). Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες, σχετικές με διάφορα βιολογικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά σε συνάρτηση με βιοτικές και αβιοτικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Η επίδραση της θερμοκρασίας για παράδειγμα στην ανάπτυξη αφιδοφάγων Coccinellidae εύκρατης ζώνης (Obrycki & Tauber 1981, 1982, Michels & Behle 1991a, Miller 1992) και Chrysopidae (Tauber *et al.* 1987, Fujiwara & Nomura 1999) έχει μελετηθεί σχεδόν ικανοποιητικά, και κάποιοι συγγραφείς έχουν ασχοληθεί με τη διαειδική παραλλακτικότητα όσον αφορά στις θερμικές απαιτήσεις τους. Ενδεχόμενη ενδοειδική παραλλακτικότητα μπορεί να προέρχεται από γενετική διαφοροποίηση (π.χ. Tauber & Tauber 1978, Obrycki & Tauber 1982) ή από περιβαλλοντικούς παράγοντες που επιδρούν σε άτομα και πληθυσμούς. Οι Michels & Behle (1991b) και οι Orr & Obrycki (1990) διαπίστωσαν ότι η θερμο-εξαρτώμενη ανάπτυξη των ειδών *Hippodamia sinuata* Mulsant και *Hippodamia parenthesis* (Say) επηρεάζεται από το είδος της αφίδας-λείας. Το είδος λείας βρέθηκε ακόμη να επηρεάζει

την ανάπτυξη ατελών σταδίων και την αναπαραγωγή των *C. septempunctata* (Omkar & Srivastava 2003) και *C. carnea* (Burke & Martin 1956, Liu & Chen 2001).

Η γνώση των βιολογικών και δημογραφικών χαρακτηριστικών προαπαιτείται για την αξιολόγηση του δυνητικού ρυθμού αύξησης των πληθυσμών αρπακτικών μαζί με άλλες παραμέτρους (π.χ. αρπακτικότητα, στρατηγική διαχείμασης, ενδοειδική αρπακτικότητα και ικανότητα διασποράς) και μπορεί να παράσχει την απαραίτητη πληροφορία για την αποτελεσματικότητά τους ως παραγόντων βιολογικού ελέγχου. Ο ενδογενής ρυθμός αύξησης πληθυσμών αποτελεί χρήσιμο στατιστικό εργαλείο, το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς σε περιπτώσεις διαειδικών και ενδοειδικών συγκρίσεων ανάμεσα σε είδη φυσικών εχθρών, καθώς και σε περιπτώσεις αποτίμησης της αποτελεσματικότητάς τους (Nechols & Obrycki 1989, Obrycki *et al.* 1993, Lanzoni *et al.* 2004).

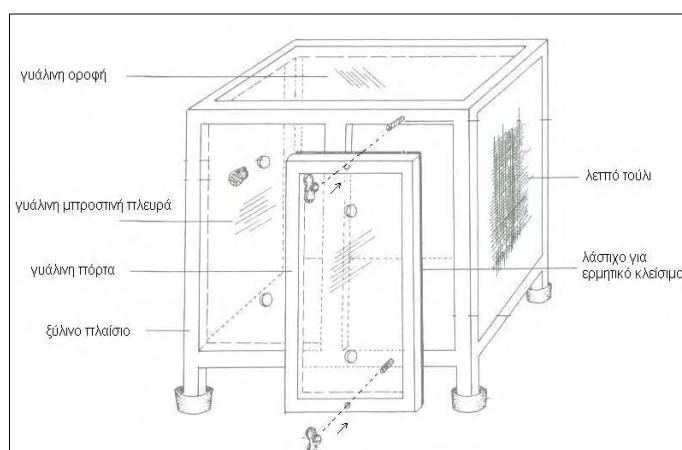
Η μελέτη αυτή έχει στόχο να αξιολογήσει τα αρπακτικά *C. septempunctata*, *H. convergens* και *C. carnea* s.l. συνολικά ως δυνητικούς φυσικούς εχθρούς της αφίδας του βαμβακιού στην Ελλάδα μέσω της εργαστηριακής μελέτης των βιολογικών στοιχείων και των δημογραφικών χαρακτηριστικών τους. Δεν υπάρχουν μέχρι σήμερα δημοσιευμένα στοιχεία για παρόμοιες μελέτες εργαστηρίου ελληνικών πληθυσμών. Έτσι, η μελέτη σε συνδυασμό με στοιχεία δυναμικής και χωροταξικής κατανομής τους στον αγρό θα συνεισφέρει στην καλύτερη γνώση της δράσης τους επάνω στην αφίδα.

Υλικά και Μέθοδοι

Εκτροφές εντόμων

Μία κλωνική αποικία της *A. gossypii* δημιουργήθηκε στο εργαστήριο με αφίδες που συλλέχθηκαν από βαμβάκι στο Βελεστίνο Μαγνησίας το 1997. Η αποικία αναπτύχθηκε σε φυτά βάμβακος σε γλαστράκια εντός κλωβού διαστάσεων 40x45x50cm με την κάτω σταθερή επιφάνεια ξύλινη (σχήμα 1). Δύο από τις τέσσερις απέναντι πλευρές και η επάνω επιφάνεια ήταν γυάλινες, για να επιτρέπουν το φωτισμό και τη φροντίδα της αποικίας, ενώ οι υπόλοιπες δύο πλαϊνές ήταν καλυμμένες με αφιδοστεγανή μουσελίνα, που επέτρεπε επαρκή αερισμό του κλωβού. Οι κλωβοί διατηρούνταν σε χώρο ελεγχόμενων συνθηκών (23±0,5 °C, 50±5%RH, L16:D8, 8-10.000Lux).

Οι αποικίες των *C. septempunctata* και *H. convergens* δημιουργήθηκαν από ενήλικα άτομα και νύμφες από αγρούς βαμβακιού και από παρακείμενα αυτοφυή φυτά από τις περιοχές Βελεστίνου Μαγνησίας και Λάρισας κατά την περίοδο Μαΐου-Ιουνίου του 1997 και διατηρούνταν σε ελεγχόμενο χώρο. Οι συνθήκες ήταν όμοιες με αυτές της εκτροφής των αφίδων. Εκτρέφονταν ατομικά σε διαφανή πλαστικά κουτιά διαστάσεων 8,5x7x4cm με ένα κυκλικό άνοιγμα διαμέτρου 3,5cm στο πάνω μέρος, καλυμμένο με μουσελίνα (σχήμα 2). Στο κατώτερο 1/4 του κουτιού δημιουργήθηκε με πλαστική λωρίδα ένα διαμέρισμα, όπου τοποθετήθηκε τεμάχιο διαβρεγμένου σπόγγου (moss). Στο ανώτερο μέρος του κουτιού τοποθετήθηκε ένα φύλλο βαμβακιού προσβεβλημένο με αφίδες, του οποίου ο μίσχος περνούσε μέσω οπής του πλαστικού χωρίσματος στο διαβρεγμένο σπόγγο.



Σχήμα 1. Κλωβός εκτροφής αφίδων

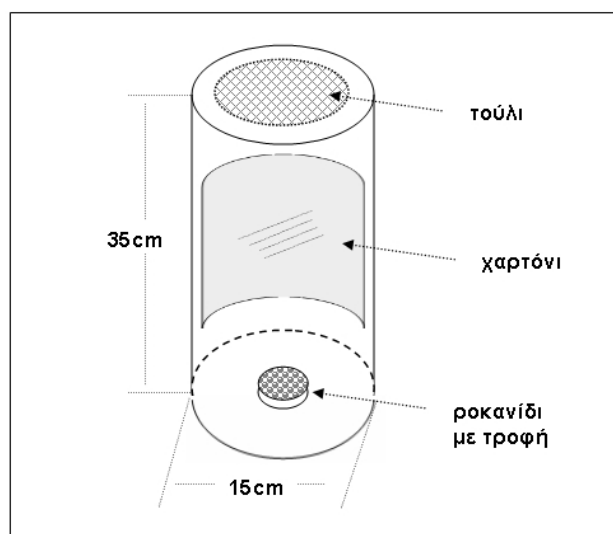


Σχήμα 2. Κλωβός εκτροφής Coccinellidae

Σε κάθε κουτί τοποθετούνταν 2-3 ζεύγη από το κάθε αρπακτικό και τους χορηγούνταν ποσότητα αφίδων σε υπερεπάρκεια κάθε δύο ημέρες. Τα φύλλα βαμβακιού αντικαθίσταντο από νέα, όταν κρινόταν απαραίτητο. Τα κουτιά ελέγχονταν ως προς νέες ωοθεσίες και τα αβγά μεταφέρονταν σε άλλα κουτιά για εκκόλαψη. Οι νεοεκκολαφθείσες προνύμφες (γενιά F1) εισάγονταν ατομικά σε διαφανή κυλινδρικά πλαστικά κουτάκια διαμέτρου 4,5cm και ύψους 2cm με οπή διαμέτρου 2 cm στην κορυφή τους, καλυμμένη με λεπτό τούλι, και τους παρέχονταν ποσότητα αφίδων σε

υπερεπάρκεια κάθε 1-2 ημέρες. Τα τέλεια που προέρχονταν από αυτό το σύστημα εκτροφής μεταφέρονταν στα προαναφερθέντα μεγαλύτερα κουτιά όπου συνεχιζόταν η εκτροφή της γενιάς F2. Τα αρχικά τέλεια που χρησιμοποιούνταν ανά ζεύγη στις ατομικές εκτροφές προέρχονταν πάντα από μητρικές εκτροφές των κολεοπτέρων επί πολλές γενιές μετά τη συλλογή τους από τον αγρό στους ειδικούς ξύλινους κλωβούς, όπως και οι πληθυσμοί των αφίδων. Οι μητρικές εκτροφές ανανεώνονταν κατά καιρούς με νέες συλλογές αγρού, για να αποφευχθούν ανεπιθύμητα φαινόμενα γενετικών αλλαγών λόγω προσαρμογής από μακροχρόνιες εργαστηριακές εκτροφές (Promislow & Tatar 1998, Sgrò & Partridge 2000), και μόνο άτομα της F2 γενιάς χρησιμοποιούνταν στα πειράματα.

Οι αποικίες του *C. carnea* δημιουργήθηκαν από τέλεια, που συλλέχθηκαν το 1997 από το Βελεστίνο Μαγνησίας και από περιοχή της Βοιωτίας, από βαμβάκι και από παρακείμενα αυτοφυή φυτά, όπως *Solanum nigrum* L. (Solanaceae), *Xanthium strumarium* L. (Asteraceae) και *Datura stramonium* L. (Solanaceae). Τα έντομα εκτράφηκαν ανά 30-50 άτομα τυχαίας αναλογίας φύλου σε κυλινδρικούς πλαστικούς κλωβούς ύψους 35cm και διαμέτρου 15cm σε συνθήκες $23\pm 0,5$ °C, $50\pm 5\%$ RH, L16:D8, 8-10.000Lux. Οι κύλινδροι είχαν το κορυφαίο τμήμα τους καλυμμένο με τούλι για αερισμό· εσωτερικά ήταν επενδυμένοι με λευκό χαρτόνι για ωστοκία και εύκολο χειρισμό των αβγών, που ως γνωστό είναι προσκολλημένα σε επιφάνειες μέσω λεπτού μίσχου (σχήμα 3). Στα τέλεια παρέχονταν ειδική ρευστή τεχνητή τροφή που αποτελούνταν από 63% νερό, 31% μέλι και 6% εκχύλισμα μικροβιολογικής μαγιάς (“granulated yeast extract for microbiology”, Π. Μπακάκος Α.Ε., οίκος Merck Γερμανίας, κωδ. πρ. 40645293). Η τροφή παρέχονταν αναμεμιγμένη με ροκανίδι (αναλογία 1:1) σε πλαστικό δοχείο 3,5x4,5cm στη βάση του κυλίνδρου και αντικαθίστατο κάθε 3-4 ημέρες. Το χαρτόνι ελεγχόταν για ύπαρξη αβγών και αντικαθίστατο όποτε κρινόταν ότι ο αριθμός των εναποτιθέμενων αβγών ήταν αρκετός για την έναρξη πειραμάτων ή όταν διαπιστώνονταν εκκολάψεις ώριμων αβγών με κίνδυνο κανιβαλισμού σε νέες ωοθεσίες. Και εδώ όλα τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν μετά από εκτροφή τουλάχιστον μίας γενιάς στο εργαστήριο.



Σχήμα 3. Κύλινδρος εκτροφής τελείων του *Chrysoperla carnea*

Προνυμφική ανάπτυξη, θνησιμότητα και κατανάλωση αφίδων

Η εκκολαπτικότητα και η περίοδος επώασης των αυγών Coccinellidae μελετήθηκαν με τοποθέτηση νεοαποτιθέμενων (< 12 ωρών) αυγών σε αποστειρωμένα τριβλία Petri σε συνθήκες $23 \pm 0,5$ °C, $50 \pm 5\%$ RH και L16:D8. Οι εκκολάψεις ελέγχονταν κάθε ημέρα και κάθε νέα προνύμφη μεταφερόταν ατομικά πάνω σε φύλλο βαμβακιού σε κλωβό τύπου Blackman (Blackman 1971), παρόμοιο με τους μεγαλύτερους πλαστικούς κλωβούς· στη βάση του υπήρχε διαβρεγμένος σπόγγος. Κάθε ημέρα τοποθετούνταν πενήντα νεαρά άπτερα τέλεια της *A. gossypii* σε κάθε φύλλο και καταγραφόταν η έκδυση, η θνησιμότητα, ο αριθμός των καταναλωθεισών και ζωντανών αφίδων και στη συνέχεια όλες οι ζωντανές αφίδες αντικαθίσταντο από νέες. Τα φύλλα αντικαθίσταντο επίσης, όποτε κρινόταν απαραίτητο, και καταγραφόταν η διάρκεια και η θνησιμότητα των νυμφικών σταδίων και το φύλλο των εξερχόμενων τελείων. Κάθε αυγό και η αντίστοιχη προνύμφη θεωρούνταν ως ατομικές πειραματικές επαναλήψεις.

Η εκκολαπτικότητα και η περίοδος επώασης του *C. carnea* καταγράφηκαν με τοποθέτηση των γεννηθέντων αυγών σε τριβλία Petri σε συνθήκες $23 \pm 0,5$ °C, $50 \pm 5\%$ RH και L16:D8. Τα αυγά τοποθετούνταν ατομικά στα τριβλία προσκολλημένα επάνω σε τμήμα του χαρτονιού ωστοκίας από τον κύλινδρο εκτροφής τελείων. Γινόταν

καθημερινός έλεγχος των αβγών και καταγράφονταν η προνυμφική και νυμφική διάρκεια, καθώς και η κατανάλωση αφίδων, όπως έγινε και στα άλλα δύο αρπακτικά.

Γονιμότητα (ωοπαραγωγή) τελείων και διάρκεια ζωής

Εικοσιένα ζεύγη από το *C. septempunctata*, 26 από το *H. convergens* και 37 από το *C. carnea* εκτράφηκαν χωριστά σε συνθήκες $23 \pm 0,5$ °C, $50 \pm 5\%$ RH και L16:D8 στα προαναφερθέντα κλουβιά εκτροφής τελείων. Τα ζεύγη προέρχονταν από τα πειράματα μελέτης νυμφικής ανάπτυξης. Κάθε δύο ημέρες εξετάζονταν τα κλουβιά και καταμετρούνταν τα αβγά. Ταυτόχρονα, στα τέλεια των Coccinellidae παρέχόταν υπερεπάρκεια αφίδων (50-100) και τα φύλλα βαμβακιού αντικαθίσταντο, όταν κρινόταν σκόπιμο, ενώ η συνθετική τροφή για τα τέλεια του *C. carnea* αντικαθίσταντο κάθε 3-4 ημέρες. Τέλος, για όλα τα είδη η περίοδος προωτοκίας και η διάρκεια ζωής καταγράφονταν καθημερινά.

Δημογραφικά χαρακτηριστικά

Τα δεδομένα ανάπτυξης και θνησιμότητας ατελών σταδίων, καθώς και η παρατηρούμενη αναλογία φύλου, η γονιμότητα και η διάρκεια ζωής των τελείων χρησιμοποιήθηκαν για την κατάρτιση πινάκων ζωής των τριών ειδών αρπακτικών. Ο ενδογενής ρυθμός αύξησης (r_m) των αντίστοιχων πληθυσμών υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μέθοδο του Birch (1948) μέσω της εξίσωσης:

$$\int_0^n \exp(r_m x) l_x m_x = 1$$

όπου n είναι ο αριθμός των εξετασθέντων θηλυκών, x η ηλικία των ατόμων, l_x η πιθανότητα επιβίωσης στην ηλικία x και m_x ο μέσος αριθμός θηλυκών απογόνων σε χρόνο x . Για τον υπολογισμό της αρχικής τιμής του l_x για το ενήλικο στάδιο της ζωής ενός είδους εντόμου, χρησιμοποιείται ο λόγος του αριθμού ατόμων του εξεταζόμενου δείγματος, τα οποία φτάνουν ως την ενηλικίωση προς τον αρχικό αριθμό αβγών του δείγματος. Ακόμη, υπολογίστηκαν ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός ($R_o = \sum l_x m_x$), η μέση διάρκεια γενιάς ($T = \ln(R_o)/r_m$) και ο χρόνος διπλασιασμού του πληθυσμού ($DT = \ln(2)/r_m$).

Στατιστική ανάλυση

Τα δεδομένα επιβίωσης των επιμέρους σταδίων σε κάθε πληθυσμό και μεταξύ των ειδών αναλύθηκαν με τη δοκιμή χ^2 και όταν διαπιστώνονταν σημαντικές διαφορές, πραγματοποιούνταν συγκρίσεις ανά ζεύγη. Για τη σύγκριση της διάρκειας των ατελών σταδίων μεταξύ των πληθυσμών σε κάθε είδος αρπακτικού, καθώς και για αυτή της γονιμότητας και της περιόδου προωοτοκίας μεταξύ των ειδών πραγματοποιήθηκε ανάλυση παραλλακτικότητας με ένα παράγοντα (*one-way-ANOVA*). Η επίδραση των παραγόντων «είδος» (fixed factor) και «πληθυσμός» (random factor) στη διάρκεια των ατελών σταδίων και στην κατανάλωση αφίδων σε όλη την προνομφική διάρκεια εξετάστηκαν με *Nested ANOVA*. Ανάλυση παραλλακτικότητας με δύο παράγοντες (*two-way-ANOVA*) εφαρμόστηκε για την εξέταση της επίδρασης των παραγόντων «προνομφικό στάδιο» και «πληθυσμός» στην κατανάλωση αφίδων σε κάθε είδος ξεχωριστά. Η ίδια ανάλυση χρησιμοποιήθηκε και για την επίδραση των παραγόντων «φύλο» και «είδος» στην διάρκεια ζωής. Όταν διαπιστώνονταν σημαντικές αλληλεπιδράσεις, οι αντίστοιχες ομάδες δεδομένων διαιρούνταν (*data-set partitioning*) και οι επιδράσεις των παραγόντων εξετάζονταν ξεχωριστά με χρήση *one-way-ANOVA*. Όλα τα δεδομένα μετατράπηκαν σε νέες τιμές με βάση την εξίσωση $y = \sqrt{x+1}$ πριν από τις επιμέρους στατιστικές αναλύσεις. Όλες οι αναλύσεις έγιναν με το στατιστικό πακέτο Statistica v.6 (StatSoft Inc. 2001).

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Ανάπτυξη ατελών σταδίων και επιβίωση

Η θνησιμότητα αβγών, προνομφών και νυμφών των τριών ειδών φαίνονται στον πίνακα 1. Γενικά, από τις συγκρίσεις ανά ζεύγη (pair wise comparisons) της θνησιμότητας ατελών σταδίων μεταξύ πληθυσμών κάθε είδους δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, εκτός από τη θνησιμότητα αβγών του *H. convergens*, η οποία ήταν σημαντικά υψηλότερη στον πληθυσμό από το Βελεστίνο (17%) από ό,τι σε αυτόν από τη Λάρισα (10%) ($\chi^2 = 5,3$, $BE = 1$, $P < 0,02$). Η θνησιμότητα στο τελευταίο προνομφικό και νυμφικό στάδιο ήταν υψηλότερη από ό,τι στα υπόλοιπα ατελή στάδια σε όλα τα είδη, αν και οι παρατηρούμενες διαφορές δεν ήταν πάντα σημαντικές (*C.*

septempunctata: $X^2 = 17,4$, $BE = 4$, $P < 0,001$ και $X^2 = 19,5$, $BE = 4$, $P < 0,001$, *H. convergens*: $X^2 = 7,3$, $BE = 4$, $P < 0,12$ και $X^2 = 21,6$, $BE = 4$, $P < 0,001$, *C. carnea*: $X^2 = 104$, $BE = 3$, $P < 0,001$ και $X^2 = 43,5$, $BE = 3$, $P < 0,001$). Υψηλές τιμές θνησιμότητας στο τελευταίο προνυμφικό και το νυμφικό στάδιο έχουν αναφερθεί επίσης από τους Obrycki & Tauber (1982), Rodriguez-Saona & Miller (1999) σε πληθυσμούς του *H. convergens* από τη Βόρεια Αμερική και τους Obrycki *et al.* (1989) και Liu & Chen (2001) σε άλλους νεαρτικούς πληθυσμούς του *C. carnea*. Διαφορές παρατηρήθηκαν στη θνησιμότητα των αβγών ($X^2 = 125$, $BE = 5$, $P < 0,001$) και των νυμφών ($X^2 = 16,1$, $BE = 5$, $P < 0,01$) ανάμεσα στα τρία είδη αρπακτικών, με τη σημαντικά υψηλότερη τιμή στα *C. septempunctata* και *C. carnea* αντίστοιχα ($X^2 = 125$, $BE = 5$, $P < 0,001$). Αντίθετα, η συνολική προνυμφική ($X^2 = 1,4$, $BE = 5$, $P < 0,92$) ή η συνολική θνησιμότητα ατελών σταδίων (από πρώτο προνυμφικό στάδιο έως νύμφη) ($X^2 = 4,7$, $BE = 5$, $P < 0,45$) δε διέφεραν στατιστικώς σημαντικά ανάμεσα στα είδη. Η θνησιμότητα αβγών των *H. convergens* και *C. septempunctata* ήταν χαμηλότερη από αυτή που αναφέρθηκε σε νεαρτικούς πληθυσμούς των ειδών αυτών (Frazer & McGregor 1992, Michaud 2000), ενώ η θνησιμότητα του τελευταίου ήταν παρεμφερής αυτή πληθυσμών από Μ. Ανατολή και Ασία (ElHag & Zaitoon 1996, Xia *et al.* 1999, Omkar & Srivastava 2003). Η συνολική θνησιμότητα ατελών σταδίων των δύο κολεοπτέρων που εξετάστηκαν ήταν παρόμοια ή υψηλότερη από αυτή πληθυσμών από τη Βόρεια Αμερική, και την Ανατολική και Δυτική Ευρώπη (Obrycki & Tauber 1981, 1982, Michels & Behle 1991a, Phoofofo & Obrycki 1995, Rodriguez-Saona & Miller 1995, 1999). Ωστόσο, η παρατηρούμενη θνησιμότητα του *C. septempunctata* ήταν χαμηλότερη από ό,τι αυτή από Μέση και Άπω Ανατολή (ElHag & Zaitoon 1996, Omkar & Srivastava 2003), βλ. πίνακες 1 και 2. Άλλες έρευνες που εξέτασαν νεαρτικούς πληθυσμούς (Βόρεια Αμερική και Μεξικό) του *C. carnea* ανέφεραν υψηλότερη προνυμφική και νυμφική θνησιμότητα από ό,τι η παρούσα εργασία όταν οι προνύμφες τρέφονταν με την αφίδα *A. pisum* στους 24 °C (Wiebe & Obrycki 2002), *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) στους 22 °C (Obrycki *et al.* 1989), *M. persicae* και *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach) (Liu & Chen 2001). Παρ' όλα αυτά, οι τελευταίοι συγγραφείς βρήκαν πολύ χαμηλότερες τιμές θνησιμότητας από ό,τι οι δικές μας όταν το *C. carnea* τρεφόταν με το *A. gossypii* στους 25 °C. Παλαιαρκτικοί πληθυσμοί από την Ανατολική Τουρκία (Athhan *et al.* 2004) και την Αίγυπτο (Zaki &

Gesraha 2001) εμφάνισαν παρόμοια ή χαμηλότερη θνησιμότητα ατελών σταδίων από ό,τι οι πληθυσμοί στην παρούσα εργασία, όταν οι προνύμφες τρέφονταν με *A. gossypii* και *Hyalopterus pruni* (Geofei) στους 25 °C. Τέλος, χαμηλότερη θνησιμότητα αβγών και συνολική ατελών σταδίων από αυτή της παρούσας εργασίας παρατηρήθηκε σε πληθυσμό από την Ιαπωνία που εκτράφηκε σε αβγά λεπιδοπτέρων στους 25 °C (Fujiwara & Nomura 1999), βλ. πίνακες 1 και 3.

Πίνακας 1. Θνησιμότητα (%) ατελών σταδίων δύο πληθυσμών των αρπακτικών *Coccinella septempunctata* (C7), *Hippodamia convergens* (HC) και *Chrysoperla carnea* (CC), που συλλέχθηκαν από το Βελεστίνο (A), τη Λάρισα (B) και τη Βοιωτία (C) (οι αριθμοί στις παρενθέσεις συμβολίζουν τον αριθμό των εξετασθέντων ατόμων)

Στάδιο	C7-A	C7-B	HC-A	HC-B	CC-A	CC-C
Αβγό	34,3A (601)	29,0A (100)	17,2B (1022)	9,9C (152)	7,8C (322)	9,3C (333)
L1	0,0c (100)	0,0c (60)	2,0b (50)	4,4b (45)	4,0c (350)	3,0b (200)
L2	4,0b (100)	3,3bc (60)	2,0b (49)	0,0b (43)	2,4c (336)	2,1b (194)
L3	7,3b (96)	5,2bc (58)	4,2ab (48)	0,0b (43)	14,9b (350)	16,3a (190)
L4	14,6b (89)	20,0a (55)	13,0ab (46)	18,6a (43)	-	-
Νύμφη	10,5aC (76)	9,1abBC (44)	7,5aC (40)	14,3aBC (35)	26,9aA (279)	21,4aAB (159)
L1-L4	24,0A (100)	26,7A (60)	20,0A (50)	22,2A (45)	20,3A (279)	20,5A (200)
L1-Νύμφη	32,0A (100)	33,3A (60)	26,0A (50)	33,3A (45)	41,7A (350)	37,5A (200)

Τα ποσοστά σε κάθε γραμμή και στήλη, που ακολουθούνται από διαφορετικό κεφαλαίο και μικρό γράμμα αντίστοιχα, διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με βάση το κριτήριο χ^2 ($P < 0,05$).

Πίνακας 2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση δεδομένων βιολογίας και δημογραφίας για τα είδη *Coccinella septempunctata* και *Hippodamia convergens*

% Θνησιμότητα		Δ.Α.	% του Δ.Α.			Π.Π.	Γονιμότητα (αβγά/θηλυκό)	r_m	Είδος λείας / Θερμοκρασία εκτροφής	Προέλευση πληθυσμού	Αναφορά
A	Π+N		A	Π	N						
<i>Hippodamia convergens</i>											
-	16	18,0	17	55	28	-	-	-	<i>S. graminum</i> / 25 °C	B. Αμερική	1
-	25/34	-	-	-	-	-	308/363	0,09/0,10	<i>A. pisum</i> / 22 °C	B. Αμερική	2
	19	28,7	-	-	-	-	-	-			3
0	10	19,8	17	59	24	-	-	-	<i>A. pisum</i> / 24 °C	B. Αμερική	4
-	18	17,8	17	57	26	-	-	-	<i>Diuraphis noxia, Rhopalosiphum padi</i> / 25 °C	B. Αμερική	5
-	18	18,0	16	60	24	-	-	-			
27/33	32	20,9 ^a	-	-	-	10,7/12,1	135/400	-	<i>A. spiraeicola - Toxoptera citricida</i> ^c / 24°C	B. Αμερική	6
39	-	-	-	-	-	-	-	-	20 °C	B. Αμερική	14
										B. Αμερική	
<i>Coccinella septempunctata</i>											
32	55 ^d	20,0	14	60	26	-	201	0,08	<i>B. brassicae</i> / 25 °C	Σ. Αραβία	7
-	-	18,3	16	53	31	11,1	287	-	<i>A. gossypii</i> / 25 °C	Κίνα	8
29	50	17,9	17	64	19	16,4	739	-	<i>A. gossypii</i> / 25 °C	Ινδία	9
20	42	15,2	19	62	19	12,3	1199	-	<i>M. persicae</i> / 25 °C		
-	5	17,0	19	55	26	-	-	-	<i>A. pisum</i> / 24 °C	B. Αμερική	10
		28,5	17	53	30	-	-	-	22 °C	B. Ευρώπη	11
		25-29							22-23 °C	K. Ευρώπη	12
-	7	14,6 ^a	-	-	-	6,7	1357	0,17	<i>A. pisum</i> (+ μέλι με μαγιά για τα τέλεια) /	B. Αμερική	13
-	10	14,3 ^a	-	-	-	5,1	1563	0,20	26 °C	B. Αμερική	
-	17	14,9 ^a	-	-	-	6,2	1712	0,19		Δ. Ευρώπη	
-	21	14,4 ^a	-	-	-	6,4	1712	0,18		A. Ευρώπη	
-	20	21,0	17	57	26	-	-	-	<i>S. graminum</i> / 25 °C	B. Αμερική	1
46	-	-	-	-	-	-	-	-	20 °C	B. Αμερική	14

A = αβγό, L = προνύμφη, N = νύμφη, Δ.Α. = διάρκεια ανάπτυξης (ημέρες) για αβγό-τέλειο, Π.Π.= περίοδος προωτοκίας (ημέρες)

^a X.A.: L1-τέλειο. ^{b,d} συνολική θνησιμότητα γενιάς. ^c προνύμφες με λεία το *A. spiraeicola* και τέλεια το *A. spiraeicola* ή το *T. citricida*

Αναφορές: 1: Michels & Behle (1991), 2, 3: Rodriguez-Saona & Miller (1995, 1999), 4: Obyrcki & Tauber (1982), 5: Miller (1992) 6: Michaud (2000), 7: ElHag & Zaitoon (1996), 8: Xia *et al.* (1999), 9: Omkar & Srivastava (2003), 10: Obyrcki & Tauber (1981), 11: Sundby (1966), 12: Jöhnnsen (1930), 13: Phoofolo & Obyrcki (1995), 14: Frazer & Mc Gregor (1992)

Πίνακας 3. Βιβλιογραφική ανασκόπηση δεδομένων βιολογίας και δημογραφίας για το είδος *Chrysoperla carnea*

% Θνησιμότητα		Δ.Α.	Π.Π.	Γονιμότητα (αβγά/θηλυκό)	r_m	Είδος λείας / Θερμοκρασία εκτροφής	Προέλευση πληθυσμού	Αναφορά
A	Π+N							
9,4	25,1	26,3 ¹	-	-	-	<i>Sitotroga cerealella</i> , <i>Anagasta kuehniella</i> (αβγά) / 20 °C	Ιαπωνία	1
-	6	19,8	-	-	-	<i>A. gossypii</i> / 25 °C	Β. Αμερική	2
-	13	22,8	-	-	-	<i>M. persicae</i> / 25 °C		
-	85	25,5	-	-	-	<i>Lipaphis erysimi</i> / 25 °C		
-	-	-	5,9	716	-	Τεχνητή (υδρολυμένη πρωτεΐνη, μαγιά, ζάχαρη, μέλι) / 24 °C	Αρκάνσας Καλιφόρνια Νέα Υόρκη Β. Ντακότα	3
-	-	-	7,3	855	-			
-	-	-	3,3	870	-			
-	-	-	4,1	826	-			
-	27	30,9	-	-	-	<i>R. maidis</i> / 22 °C	Αϊόβα	4
-	8-20	15,2	6,0	514-807	0,101-0,149	<i>H. pruni</i> / 25 °C	Α. Τουρκία	5
-	27	27,9	-	-	-	<i>A. pisum</i> και <i>Ephestia kuehniella</i> / 24 °C	Αϊόβα	6
-	13	-	-	322	-	<i>A. gossypii</i>	Αίγυπτος	7
-	-	-	14,5	20,2 ²	-	<i>M. persicae</i> / 24 °C	Β. Μεξικό	8

A = αβγό, Π = προνύμφη, N = νύμφη, Δ.Α. = διάρκεια ανάπτυξης (ημέρες) από πρώτο προνυμφικό στάδιο έως τέλειο, Π.Π. = περίοδος προωτοκίας (ημέρες)

¹ διάρκεια από αβγό έως έξοδο τελείου

² αβγά / θηλυκό

Αναφορές. 1: Fujiwara & Nomura (1999), 2: Liu & Chen (2001), 3: Chang *et al.* (2000), 4: Obrycki *et al.* (1989), 5: Athhan *et al.* (2004), 6: Wiebe & Obrycki (2002), 7: Zaki & Gesraha (2001), 8: Tauber *et al.* (1997)

Πίνακας 4. Διάρκεια ανάπτυξης (Δ.Α.) σε ημέρες ατελών σταδίων σε διάφορα είδη αρπακτικών κολεοπτέρων.

Είδος	Δ.Α.	% της Δ.Α.			Λεία / Θερμοκρασία, °C	Αναφορές
		Αβγό	Προνύμφη	Νύμφη		
<i>Coccinella trifasciata</i>	25,2	17,9	56,7	25,4	<i>A. pisum</i> / 22	Miller & LaMana 1995
<i>Hippodamia parenthesis</i>	22	17,7	58,2	24,1	<i>A. pisum</i> , <i>S. graminum</i> / 22	Orr & Obrycki 1990
<i>Eriopis connexa</i>	18,6	23,1	55,4	21,5	<i>D. noxia</i> , <i>R. padi</i> / 22	Miller & Paustian 1992
<i>Calvia quatuordecimguttata</i>	22	17,3	59,1	23,6	<i>A. pisum</i> / 22	LaMana & Miller 1995
<i>Hippodamia sinuata</i>	18,2	11	62,1	26,9	<i>R. maidis</i> / 25	Michels & Behle 1991
	18,3	10,9	56,3	32,8	<i>S. graminum</i> / 25	

Από τη σύγκριση της διάρκειας ανάπτυξης των ατελών σταδίων με τη χρήση της *one-way-ANOVA* για τους πληθυσμούς κάθε είδους παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (πίνακας 5). Η διάρκεια των σταδίων αβγού και των προνυμφικών διέφερε σημαντικά στους δύο πληθυσμούς του *C. septempunctata* που εξετάστηκαν. Στο *H. convergens* βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στη διάρκεια των σταδίων του αβγού, του τελευταίου προνυμφικού και όλων των προνυμφικών, καθώς και της συνολικής διάρκειας ανάπτυξης (από το αβγό έως την έξοδο των τελείων). Στο *C. carnea* η διάρκεια όλων των ατελών σταδίων, καθώς επίσης και η προνυμφική διάρκεια διέφεραν σημαντικά μεταξύ των δύο πληθυσμών. Η *Nested ANOVA* απεκάλυψε διαφορές μεταξύ των τριών ειδών αρπακτικών. Οι συνολικές διάρκειες των ατελών σταδίων, αυτού της νύμφης και του αβγού ήταν σημαντικά υψηλότερες στο *C. carnea* από ό,τι στα δύο *Coccinellidae*. Παρ' όλα αυτά, η σημαντικά μακρύτερη προνυμφική ανάπτυξη παρατηρήθηκε στο *C. septempunctata* (πίνακας 5). Η μεγαλύτερη διάρκεια νυμφικού σταδίου στο *C. carnea*, συγκρινόμενη με τα άλλα δύο είδη, θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένα σχετικό μειονέκτημα, αφού η νύμφη είναι στάδιο ακίνητο, ευάλωτο και η διαειδική αλληλεπίδραση αρπακτικότητας (*intraguild predation*) μεταξύ *Coccinellidae* και

Chrysopidae πρέπει να αναμένεται σε συνθήκες περιβάλλοντος. Απεναντίας, το *H. convergens* είναι πιθανό να διαθέτει ένα συγκριτικό πλεονέκτημα ως χαρακτηριστικό, αφού παρουσίασε τη μικρότερη διάρκεια νυμφικής ανάπτυξης. Οι Phoofolo & Obrycki (1998) υποστήριξαν ότι τα *Coleomegilla maculata* (DeGeer) (Coleoptera: Coccinellidae) και *C. carnea* είναι δυνατό να επηρεάζουν αρνητικά το ένα το άλλο στον αγρό, ελαττώνοντας έτσι τον έλεγχο των πληθυσμών αφίδων.

Η συνολική διάρκεια ανάπτυξης του *H. convergens* της παρούσας μελέτης ήταν παρόμοια με αυτή που αναφέρθηκε σε μελέτες πληθυσμών της Βόρειας Αμερικής, που εκτράφηκαν στους 22-25 °C με λεία διάφορα είδη αφίδων (Obrycki & Tauber 1982, Michels & Behle 1991a, Miller 1992, Rodriguez-Saona & Miller 1995, Michaud 2000), αν και οι Rodriguez-Saona & Miller (1999) ανέφεραν μεγαλύτερη διάρκεια (28,7 ημέρες) στους 22 °C για ένα πληθυσμό με λεία το *A. pisum*. Στο *C. septempunctata* η μέση περίοδος ανάπτυξης στην παρούσα μελέτη ήταν βραχύτερη από αυτή πληθυσμών από την Κεντρική (Jöhnssen 1930) και Βόρεια Ευρώπη (Sundby 1966) στους 21-22 °C και 22-23 °C αντίστοιχα και υψηλότερη από τιμές πληθυσμών από την Ανατολική και Δυτική Ευρώπη, τη Βόρεια Αμερική (Obrycki & Tauber 1981, Phoofolo & Obrycki 1995), τη Μ. Ανατολή (ElHag & Zaitoon 1996) και την Ασία (Xia *et al.* 1999, Omkar & Srivastava 2003) στους 24-26 °C με λεία διάφορα είδη αφίδων (βλ. πίνακες 2 και 5).

Στα δύο Coccinellidae που εξετάστηκαν εδώ η ανάπτυξη των αυγών, προνυμφών και νυμφών σε σχέση με τη συνολική διάρκεια ανάπτυξης κυμάνθηκε μεταξύ 15,2-15,4%, 59,1-60,1% και 24,5-25,7% στο *H. convergens*, και 13,0-13,4%, 61,7-62,3% και 24,7-24,9% στο *C. septempunctata*. Αυτές οι αναλογίες βρίσκονται μέσα στο ίδιο εύρος αυτών που παρατηρήθηκαν σε άλλες έρευνες σε πληθυσμούς των ίδιων ειδών (Sundby 1966, Obrycki & Tauber 1981, 1982, Michels & Behle 1991, Miller 1992, ElHag & Zaitoon 1996, Xia *et al.* 1999, Omkar & Srivastava 2003), καθώς επίσης και σε άλλα αφιδοφάγα Coccinellidae, ανεξάρτητα από τις συνθήκες εκτροφής (π.χ. θερμοκρασία και είδος λείας) και τη γεωγραφική προέλευση (Orr & Obrycki 1990, Michels & Behle 1991b, Miller & Paustian 1992, LaMana & Miller 1995, Miller & LaMana 1995), βλ. επίσης πίνακες 2 και 4. Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα της παρούσας μελέτης και αυτά που βρίσκονται στη διεθνή βιβλιογραφία, διαφαίνεται ένα πρότυπο που υποδηλώνει ότι ο χρόνος που διαθέτουν τα αρπακτικά Coccinellidae σε κάθε στάδιο ανάπτυξής τους

είναι σχετικά σταθερός. Το γεγονός αυτό πιθανόν να οφείλεται σε παράγοντες που συντελούν στην εκκίνηση της έκδυσης. Ο Charman (1998) υποστήριξε ότι γενικά τα έντομα εκδύονται, όταν φτάνουν σε ένα συγκεκριμένο μέγεθος. Για το γένος *Manduca* το μέγεθος της κεφαλής και το σωματικό βάρος στο πρώτο προνυμφικό στάδιο αποτελούν σημαντικούς παράγοντες, για το έντομο να αρχίσει τη διαδικασία μεταμόρφωσής του (Nijhout 1975, 1981). Είναι πιθανό ότι τα Coccinellidae απαιτούν επίσης συγκεκριμένο μέγεθος, για να αρχίσουν τη διαδικασία έκδυσης, αλλά αυτό αποτελεί υπόθεση προς επιβεβαίωση από εμπειριστατωμένη μελέτη. Πολλά βιβλιογραφικά δεδομένα αναφέρουν παραλλακτικότητα στη διάρκεια ανάπτυξης των ατελών σταδίων του *C. carnea*. Οι Liu & Chen (2001) ανέφεραν μικρότερη διάρκεια προνυμφικής και νυμφικής ανάπτυξης για έναν νεαρτικό πληθυσμό με λεία την *A. gossypii* στους 25 °C από αυτή που αναφέρεται στην παρούσα μελέτη, ενώ οι ίδιοι συγγραφείς βρήκαν υψηλότερες τιμές από τις δικές μας, όταν το αρπακτικό τρεφόταν στα είδη *M. persicae* και *L. erysimi*. Ακόμη, οι Obrycki *et al.* (1989) βρήκαν αξιοσημείωτα μεγαλύτερη προνυμφική και νυμφική διάρκεια, όταν ένας νεαρτικός πληθυσμός του *C. carnea* τράφηκε με το *R. maidis* στους 22 °C από ό,τι η διάρκεια που αναφέρεται εδώ. Αντίθετα, βραχύτερη ανάπτυξη ατελών σταδίων βρέθηκε σε έναν πληθυσμό από την Ανατολική Τουρκία με λεία την αφίδα *H. pruni* στους 25 °C (Athhan *et al.* 2004). Τέλος, μικρότερες διάρκειες των σταδίων του αβγού και της προνύμφης και μεγαλύτερες του σταδίου της νύμφης από αυτές της παρούσας μελέτης βρέθηκαν από τους Fujiwara & Nomura (1999) σε έναν πληθυσμό από την Ιαπωνία που εκτράφηκε σε αβγά λεπιδοπτέρων στους 25 °C (βλ. πίνακες 3 και 5).

Πίνακας 5. Διάρκεια ανάπτυξης σε ημέρες (μ.ό.±Τ.Σ.) ατελών σταδίων δύο πληθυσμών των αρπακτικών *Coccinella septempunctata* (C7), *Hippodamia convergens* (HC) και *Chrysoperla carnea* (CC), που συλλέχθηκαν από το Βελεστίνο (Α), τη Λάρισα (Β) και τη Βοιωτία (C). N = αριθμός εξετασθέντων ατόμων

Είδος-πληθυσμός	Αβγό	N	Προνυμφικό στάδιο					Νύμφη	Αβγό- νύμφη ¹	N
			L1	L2	L3	L4	Σύνολο			
C7-A	3,5±0,0a	395	1,3±0,1a	1,2±0,1a	1,9±0,1a	9,7±0,3a	14,2±0,3a	5,7±0,1a	23,0±0,3a	68
C7-B	3,3±0,1b	71	1,3±0,1a	1,3±0,1a	2,1±0,1a	10,3±0,2a	15,0±0,2b	5,9±0,1a	23,9±0,3a	40
	$F_{1,464} = 5,9$		$F_{1,106} = 0,1$	$F_{1,106} = 1,0$	$F_{1,106} = 2,5$	$F_{1,106} = 2,5$	$F_{1,106} = 4,6$	$F_{1,106} = 0,9$	$F_{1,106} = 3,7$	
HC-A	3,2±0,0a	846	1,6±0,1a	1,4±0,1a	1,3±0,1a	7,0±0,3a	11,3±0,3a	4,6±0,2a	18,8±0,4a	37
HC-B	3,1±0,0b	137	1,4±0,1a	1,4±0,1a	1,3±0,1a	5,9±0,2b	10,1±0,2b	4,4±0,1a	17,1±0,3b	30
	$F_{1,981} = 6,9$		$F_{1,65} = 1,2$	$F_{1,65} = 0,3$	$F_{1,65} = 0,3$	$F_{1,65} = 5,9$	$F_{1,65} = 4,6$	$F_{1,65} = 0,5$	$F_{1,65} = 10,9$	
CC-A	4,7±0,0a	372	3,7±0,0a	3,2±0,0a	6,6±0,0a	-	13,5±0,1a	9,5±0,1a	27,7±0,1a	204
CC-C	4,6±0,0b	321	3,3±0,0b	2,8±0,0b	6,1±0,1b	-	12,2±0,1b	8,4±0,1b	24,4±0,1b	125
	$F_{1,691} = 4,7$		$F_{1,327} = 67,3$	$F_{1,327} = 48,1$	$F_{1,327} = 51,7$	-	$F_{1,327} = 142,4$	$F_{1,327} = 158,3$	$F_{1,327} = 456,6$	
			Συγχωνευμένα στοιχεία							
C7	3,4±0,1A ¹	466					14,5±0,2A ²	5,8±0,1A ³	23,4±0,2A ⁴	108
HC	3,2±0,1A	983					10,7±0,2B	4,5±0,1B	18,0±0,3B	67
CC	4,6±0,1B	693					13,0±0,1C	9,1±0,1C	26,5±0,1C	329
	$F_{2,500} = 67,8$						$F_{2,498} = 1.922,7$	$F_{2,498} = 10.160,0$	$F_{2,498} = 1.975,4$	

Οι μέσοι όροι σε κάθε στήλη, που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα, διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με βάση τη δοκιμή Duncan για $P < 0,05$. Οι συγκρίσεις έγιναν μεταξύ των δύο πληθυσμών για κάθε είδος ξεχωριστά (μικρά γράμματα) και μεταξύ των ειδών (κεφαλαία γράμματα).

¹ Η διάρκεια ανάπτυξης από αβγό έως και την έξοδο τελείου υπολογίστηκε με βάση τον αριθμό μόνο εκείνων των αβγών, από τα οποία προήλθαν οι προνύμφες στη συνέχεια μελετήθηκαν.

Κατανάλωση αφίδων

Διαφορές σημειώθηκαν επίσης μεταξύ των εξετασθέντων πληθυσμών σε κάθε είδος αρπακτικού σε σχέση με το ρυθμό κατανάλωσης αφίδων. Η *two-way-ANOVA* αποκάλυψε σημαντική αλληλεπίδραση των παραγόντων «προνομφικό στάδιο» και «πληθυσμός» σε όλα τα είδη (*C. septempunctata* $F_{3, 424} = 10,5$, $P < 0,001$, *H. convergens* $F_{3, 260} = 8,1$, $P < 0,001$, *C. carnea* $F_{2, 294} = 29,3$, $P < 0,001$). Οι αναλύσεις με *two-way-ANOVA*, που πραγματοποιήθηκαν μετά τη διαίρεση των δεδομένων (*data partitioning*), έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους πληθυσμούς και μεταξύ των επιμέρους προνομφικών σταδίων σε κάθε πληθυσμό (πίνακας 6). Στα *C. septempunctata* και *C. carnea* η σημαντικά υψηλότερη κατανάλωση αφίδων από κάθε προνομφικό στάδιο παρατηρήθηκε στους πληθυσμούς από το Βελεστίνο συγκριτικά με αυτούς από τη Λάρισα (*C. septempunctata*) και τη Βοιωτία (*C. carnea*). Σε αντιπαράβολή, στο *H. convergens* οι διαφορές εμφανίστηκαν μόνο σε δύο στάδια: Το πρώτο στάδιο του πληθυσμού από το Βελεστίνο κατανάλωσε περισσότερες αφίδες από ό,τι αυτό της Λάρισας, ενώ το αντίθετο συνέβη στο τέταρτο στάδιο. Ακόμη, στα τρία είδη που εξετάστηκαν, το τελευταίο προνομφικό στάδιο ήταν πάντοτε το πιο αδηφάγο. Η ίδια τάση έχει αναφερθεί για το *C. septempunctata* με λεία την αφίδα *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) (Michels & Behle 1991a), για το *H. convergens* με λεία το *S. graminum* (Michels & Behle 1991a) και το *Therioaphis maculata* (Buck) (Hemiptera: Aphididae) (Campbell & Cone 1999) και για το *C. carnea* με λεία τα είδη *A. gossypii* και *M. persicae* (Liu & Chen 2001). Συνεπώς, πληθυσμοί αρπακτικών που αποτελούνται από υψηλότερα ποσοστά προνομφών τελευταίου σταδίου, μπορούν ενδεχομένως να είναι περισσότερο αποτελεσματικοί στον έλεγχο πληθυσμών αφίδων. Ακόμη, το φαινόμενο της μεγαλύτερης αδηφαγίας του τελευταίου προνομφικού σταδίου σε άλλα αρπακτικά έχει αναφερθεί στο κολεόπτερο *H. sinuata* με λεία τα *R. maidis* και *S. graminum* (Michels & Behle 1991b) και Chrysopidae, όπως το *Chrysoperla rufilabris* (Burmeister) με λεία την *A. gossypii* (Chen & Liu 2001). Η *Nested ANOVA* φανέρωσε σημαντικές διαφορές ($F_{2, 269} = 1.842,9$, $P < 0,001$) στην κατανάλωση αφίδων κατά τη διάρκεια όλων των προνομφικών σταδίων μεταξύ των τριών αρπακτικών. Το *C. carnea* κατανάλωσε σημαντικά περισσότερες άπτερες ενήλικες αφίδες ως προνόμφη ($273,5 \pm 0,5$ αφίδες ανά προνόμφη, συγχωνευμένα στοιχεία δύο πληθυσμών) από ό,τι το *C.*

septempunctata (183,0±1,5) και το *H. convergens* (112,1±0,8). Φαίνεται λοιπόν ότι οι προνύμφες του *C. carnea* διαθέτουν υψηλότερο δυναμικό ελέγχου πληθυσμών αφίδων από ό,τι τα δύο κολεόπτερα. Το *C. septempunctata* είχε μεγαλύτερο ρυθμό κατανάλωσης από ό,τι το *H. convergens*, αναφορά που υπάρχει για τα δύο κολεόπτερα με λεία το *S. graminum* (Michels & Behle 1991a). Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι η συνολική κατανάλωση αφίδων από προνύμφες του *C. carnea* στην παρούσα εργασία είναι παρόμοια με αυτή που αναφέρθηκε για έναν νεαρικό πληθυσμό με την ίδια λεία στους 25 °C (Liu & Chen 2001). Από την άλλη πλευρά, οι Omkar & Srivastava (2003) βρήκαν ότι προνύμφες του *C. septempunctata* από ινδικό πληθυσμό κατανάλωναν περίπου τριπλάσιο αριθμό αφίδων *A. gossypii* στους 25 °C από ό,τι οι προνύμφες των εξετασθέντων πληθυσμών.

Πίνακας 6. Μέσος αριθμός (±Τ.Σ.) άπτερων ενηλίκων της *Aphis gossypii*, τα οποία καταναλώθηκαν από προνύμφες δύο πληθυσμών των αρπακτικών *Coccinella septempunctata* (C7), *Hippodamia convergens* (HC) και *Chrysoperla carnea* (CC), που συλλέχθηκαν από το Βελεστίνο (A), τη Λάρισα (B) και τη Βοιωτία (C). N = αριθμός εξετασθέντων ατόμων

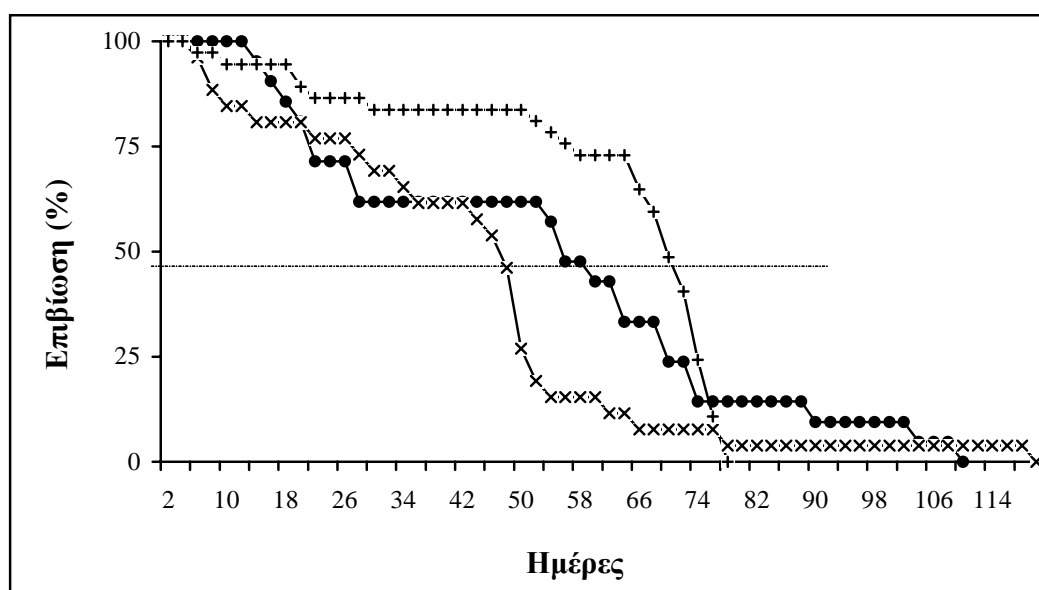
Είδος	Προνυμφικό στάδιο					N	
	L1	L2	L3	L4	Σύνολο		
C7 (A)	10,4±0,2aA	20,1±0,4aB	41,0±0,5aC	118,2±1,6aD	189,7±1,5a	68	$F_{3, 268} = 4559$
C7 (B)	9,6±0,3bA	18,4±0,5bB	39,5±0,8bC	104,1±1,7bD	171,7±2,3b	40	$F_{3, 156} = 2449$
$F_{1, 106}$	4,2	8,3	3,2	34,0	49,5		
HC (A)	8,9±0,3aA	15,9±0,5aB	24,8±0,5aC	61,4±0,8aD	111,1±1,3a	37	$F_{3, 144} = 1650$
HC (B)	7,3±0,3bA	16,0±0,4aB	24,3±0,4aC	64,6±0,5bD	112,2±0,8a	30	$F_{3, 116} = 2879$
$F_{1, 65}$	16,6	0,1	0,5	11,1	0,6		
CC (A)	20,6±0,6aA	51,1±0,8aB	235,2±4,6aC	-	306,9±4,7a	50	$F_{2, 147} = 3344$
CC (C)	17,8±0,5bA	36,9±0,7bB	185,4±3,5bC	-	240,1±3,5b	50	$F_{2, 147} = 3201$
$F_{1, 98}$	13,2	158,6	80,2		137,8		

Οι μέσοι όροι σε κάθε στήλη (οι συγκρίσεις έγιναν μεταξύ των δύο πληθυσμών κάθε είδους ξεχωριστά) και γραμμή (με χρήση της δοκιμής Duncan), που ακολουθούνται από διαφορετικό μικρό και κεφαλαίο γράμμα αντίστοιχα, διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά για $P < 0,05$.

Δημογραφικά χαρακτηριστικά

Το σχήμα 1 δείχνει τις καμπύλες επιβίωσης των τελείων θηλυκών κάθε είδους. Η επιβίωση στο επίπεδο 50% επετεύχθη περίπου στις 48, 56 και 72 ημέρες ζωής των *H. convergens*, *C. septempunctata* και *C. carnea* αντίστοιχα. Με τη σύγκριση, μέσω της χρήσης *two-way-ANOVA*, της διάρκειας ζωής των τελείων των τριών ειδών, παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων «είδος» και «φύλο» ($F_{2, 128} = 19,8$). Η *one-way-ANOVA* που εφαρμόστηκε μετά τη διαίρεση των δεδομένων, έδειξε σημαντικές διαφορές στη διάρκεια ζωής των αρσενικών και θηλυκών μεταξύ των ειδών, καθώς και μεταξύ των φύλων μέσα στο κάθε είδος (πίνακας 7). Η σημαντικά μεγαλύτερη και μικρότερη διάρκεια ζωής θηλυκών και αρσενικών ατόμων παρατηρήθηκε στο *C. carnea*, ενώ δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των δύο κολοεπτέρων. Οι Omkar & Srivastava (2003) βρήκαν παρόμοια με της παρούσας εργασίας διάρκεια ζωής αρσενικών του *C. septempunctata* (59,2 ημέρες), όταν λεία ήταν η *A. gossypii* στους 25 °C, και μεγαλύτερη διάρκεια στα θηλυκά (73,7 ημέρες). Άλλοι ερευνητές ανέφεραν χαμηλότερες τιμές διάρκειας ζωής τελείων. Οι ElHag & Zaitoon (1996) και Xia *et al.* (1999) ανέφεραν διάρκειες 36,9 και 45,3 ημερών στους 25 °C, όταν τα αρπακτικά τρέφονταν με τις αφίδες *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) και *A. gossypii* αντίστοιχα. Ελληνικός πληθυσμός συλλεγμένος από καπνό με λεία το *M. persicae* εμφάνισε μέση διάρκεια ζωής για τα δύο φύλα 22,2 ημέρες στους 23°C (Katsarou *et al.* 2005). Ο Hodek (1973) δήλωσε ότι τα τέλεια του *C. septempunctata* έζησαν κατά μέσο όρο 47,6 και 46,9 ημέρες αντίστοιχα, στους 20 °C. Στο *H. convergens*, οι Rodriguez-Saona & Miller (1995) βρήκαν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στα θηλυκά άτομα (50,2 ημέρες) από ό,τι στην παρούσα μελέτη, αλλά μικρότερη στα αρσενικά (56,1 ημέρες) με λεία την *A. pisum* στους 21 °C. Ελληνικός πληθυσμός συλλεγμένος από καπνό με λεία το *M. persicae* εμφάνισε μέση διάρκεια ζωής για τα δύο φύλα 27,3 ημέρες στους 20°C (Katsarou *et al.* 2005). Τα τέλεια αρσενικά του *H. convergens* εμφάνισαν σημαντικά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από ό,τι τα θηλυκά ($F_{1, 50} = 10,3, P < 0,002$), ενώ το αντίθετο παρατηρήθηκε στο *C. carnea* ($F_{1, 38} = 227, P < 0,001$). Όμως, δεν υπήρχαν αντίστοιχες διαφορές στα δύο φύλα του *C. septempunctata* ($F_{1, 40} = 2,8, P < 0,1$), βλ. πίνακα 7. Οι Omkar & Srivastava (2003) ανέφεραν μεγαλύτερη διάρκεια στα θηλυκά από ό,τι στα αρσενικά του *C. septempunctata* με λεία διάφορα είδη

αφίδων. Επιπλέον, σύμφωνα με τους Rodriguez-Saona & Miller (1995) παρόμοια ήταν η διάρκεια στα δύο φύλα του *H. convergens*. Οι ElHag & Zaitoon (1996) δε βρήκαν διαφορές μεταξύ των φύλων στο *C. septempunctata* και στα κολεόπτερα αρπακτικά *A. variegata*, *Coccinella undecimpunctata* L. και *Coccinella novemnotata* Herbst. Σύμφωνα με τα προηγούμενα ευρήματα, δεν προκύπτει κάποιο κοινό πρότυπο ανάπτυξης των τελείων στα δύο φύλα των παραπάνω κολεοπτέρων. Αντί αυτού, η μακροζωία τους φαίνεται ότι επηρεάζεται από γενετικούς ή εξωγενείς παράγοντες ή και από τους δύο μαζί, όπως είναι το είδος της λείας και οι συνθήκες εκτροφής. Αυτό το συμπέρασμα φαίνεται να ισχύει επίσης και για το *C. carnea*. Για παράδειγμα, οι Athhan *et al.* (2004) και Zaki & Gesraha (2001) βρήκαν μεγαλύτερη μακροζωία στα θηλυκά (37-47 και 40,1 ημέρες αντίστοιχα) και παρόμοια στα αρσενικά (32,7 ημέρες) σε σχέση με τα αποτελέσματα αυτής εδώ της μελέτης.



Σχήμα 1. Επιβίωση θηλυκών ατόμων των *Coccinella septempunctata* (●), *Hippodamia convergens* (×) και *Chrysoperla carnea* (+), που εκτράφηκαν με *Aphis gossypii* στους $23 \pm 0,5$ °C.

Πίνακας 7. Δημογραφικά χαρακτηριστικά (μ.ό±Τ.Σ.) πληθυσμών των αρπακτικών *Coccinella septempunctata* (C7), *Hippodamia convergens* (HC) και *Chrysoperla carnea* (CC), που συλλέχθηκαν από το Βελεστίνο Μαγνησίας. N = αριθμός εξετασθέντων ατόμων.

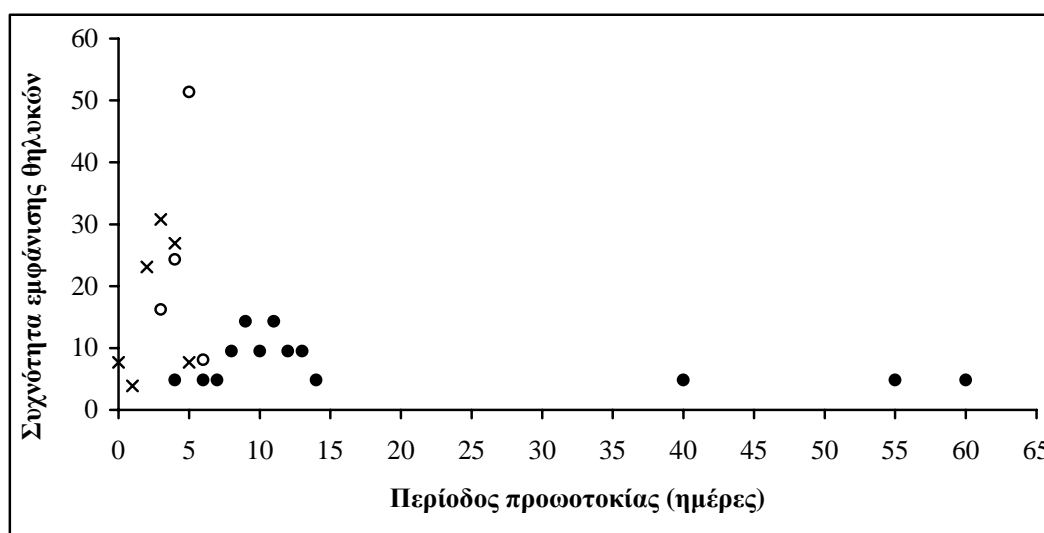
Παράμετρος	C7	HC	CC	Τιμή κριτηρίου F
N	21	26	37	
Διάρκεια ζωής ♂ (ημέρες)	63,5±5,2a	62,8±5,6a	29,9±1,2b	$F_{2,64} = 19,5$
Διάρκεια ζωής ♀ (ημέρες)	51,1±6,5ab	40,9±4,9a	62,1±1,8b	$F_{2,64} = 5,6$
Γονιμότητα (ωοπαραγωγή) (αβγά / ♀)	417,0±64,6a	432,6±91,5a	581,3±38,4a	$F_{2,81} = 1,8$
Περίοδος προωτοκίας (ημέρες)	15,8±3,4a	2,6±0,3b	4,5±0,1b	$F_{2,81} = 37,7$
Ενδογενής ρυθμός αύξησης (r_m , ♀ / ♀ / ημέρα)	0,071	0,124	0,104	
Μέση διάρκεια γενιάς (T, ημέρες)	56,8	34,3	48,2	
Καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός (R_o , ♀ / ♀)	54,9	69,0	148,9	
Χρόνος διπλασιασμού πληθυσμού (DT, ημέρες)	9,8	5,6	6,7	

Οι μέσοι όροι σε κάθε σειρά, που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά με βάση τη δοκιμή Duncan ($P < 0,05$).

Η μέση περίοδος προωτοκίας διέφερε σημαντικά μεταξύ των τριών ειδών, με το *C. septempunctata* να εμφανίζει μία διάρκεια 3-5 φορές μεγαλύτερη από ό,τι τα *C. carnea* και *H. convergens* (πίνακας 7). Στο *H. convergens* η μέση περίοδος προωτοκίας ήταν πολύ μικρότερη από αυτή που ανέφερε ο Michaud (2000) για έναν νεαρκό πληθυσμό που εκτράφηκε στους 24 °C. Τα παρόντα αποτελέσματα για το *C. septempunctata* είναι παραπλήσια με αυτά που αναφέρθηκαν για πληθυσμούς από τη Μ. Ανατολή και την Ασία στους 25 °C σε διάφορα φυτά (ElHag & Zaitoon 1996, Xia *et al.* 1999, Omkar & Srivastava 2003). Αντίθετα, οι Phoofolo & Obrycki (1995) βρήκαν πολύ χαμηλότερες τιμές για τα συγκεκριμένα είδη από ευρωπαϊκούς και αμερικάνικους πληθυσμούς στους 26 °C (βλ. επίσης πίνακες 2 και 3). Η μέση περίοδος προωτοκίας

που βρέθηκε στα πλαίσια της παρούσας μελέτης για το είδος *C. carnea* ήταν πολύ βραχύτερη από αντίστοιχη πληθυσμού Μεξικού με λεία το *M. persicae* στους 24 °C (Tauber *et al.* 1997) και ενός άλλου από την Ανατολική Τουρκία με λεία το *H. pruni* στους 25 °C (Athhan *et al.* 2004). Αντίθετα, τα ευρήματα αυτής εδώ της μελέτης σχετικά με την προωτοκία δείχνουν υψηλότερες τιμές από ό,τι σε δύο νεαρτικούς πληθυσμούς τεχνητής εκτροφής στους 24 °C (Chang *et al.* 2000). Το σχήμα 2 απεικονίζει τη συχνότητα των κατανομών της περιόδου προωτοκίας στα τρία αρπακτικά. Φαίνεται ότι οι τιμές για τα *H. convergens* και *C. carnea* κατανέμονται κοντά στο μέσο όρο (2,6 και 4,5 ημέρες αντίστοιχα)· δηλαδή, υπάρχει μικρή παραλλακτικότητα, το αντίθετο από ό,τι συνέβη με το *C. septempunctata*. Εκεί, οι συχνότητες εμφανίστηκαν με κατανομή δύο προτύπων (*bimodal pattern*). Το 66% των θηλυκών είχαν περίοδο μικρότερη των 15 ημερών, ενώ το υπόλοιπο 34% πολύ υψηλότερες τιμές (> 40 ημέρες). Τέτοια πρότυπα έχουν επίσης αναφερθεί τόσο για παλαιαρκτικούς, όσο και νεαρτικούς πληθυσμούς Coccinellidae (*C. septempunctata* και *Propylea quatuordecimpunctata* L.) (Phoofolo & Obrycki 1995, 2000). Οι τελευταίοι συγγραφείς υποστήριξαν ότι αυτή η διακύμανση στο *C. septempunctata*, προκαλούμενη είτε από στρατηγική *bet-hedging* (εμφάνιση φαινομένου με δύο τύπους ή πρότυπα) (Cohen 1966) είτε από φαινοτυπική πλαστικότητα (West-Eberhard 1989), είναι παράγοντας που συμβάλλει στη μεγάλη εξάπλωση του είδους αυτού. Παραπλήσια αποτελέσματα λήφθηκαν από τους Hodek (1966, 1973) και Hodek & Ruzicka (1979) για κεντροευρωπαϊκούς πληθυσμούς· αυτοί παρατήρησαν τόσο διαπαύοντα, όσο και αναπαραγόμενα θηλυκά σε ιδανικές συνθήκες για αναπαραγωγή. Ο Hodek (1966) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι αυτό το πρότυπο αντανακλά την ύπαρξη πληθυσμών με ανάμιξη μονοκυκλικών (*univoltine*) και πολυκυκλικών (*multivoltine*) ατόμων. Στρατηγικές *bet-hedging* στην εποχιακή αναπαραγωγή έχουν βρεθεί επίσης και για το *C. carnea* (Tauber & Tauber 1986, 1992, 1993), καθώς και στο φυτοφάγο κολεόπτερο *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae) (de Wilde & Hsiao 1981). Οι τελευταίοι συγγραφείς υποστήριξαν ότι στη στρατηγική αυτή οφείλεται η ικανότητα εισβολής του είδους. Αντίθετα, οι Lanzoni *et al.* (2004) δεν εντόπισαν παρόμοιο πρότυπο στα αρπακτικά *A. bipunctata*, *H. variegata* (πληθυσμοί από δείγματα αγρού) και *Harmonia axyridis* (Pallas) (πληθυσμός από την εταιρεία προμήθειας βιολογικού υλικού Koppert). Οι συγγραφείς απέδωσαν την παρόμοια περίοδο

προωτοκίας είτε στη μακρά περίοδο αποικισμού από τα είδη με επακόλουθη κατευθυνόμενη επιλογή του συγκεκριμένου χαρακτηριστικού (για τα δύο πρώτα είδη) είτε σε επιλογή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκτροφής στο εργαστήριο (για το *H. axyridis*). Δεν έχει αναφερθεί έως σήμερα σημαντική ενδοπληθυσμιακή παραλλακτικότητα στο χαρακτηριστικό της προωτοκίας ούτε στο *C. carnea* ή άλλα Chrysopidae σε δημοσιευμένες μελέτες (Albuquerque *et al.* 1994, Chang *et al.* 2000, Athhan *et al.* 2004).

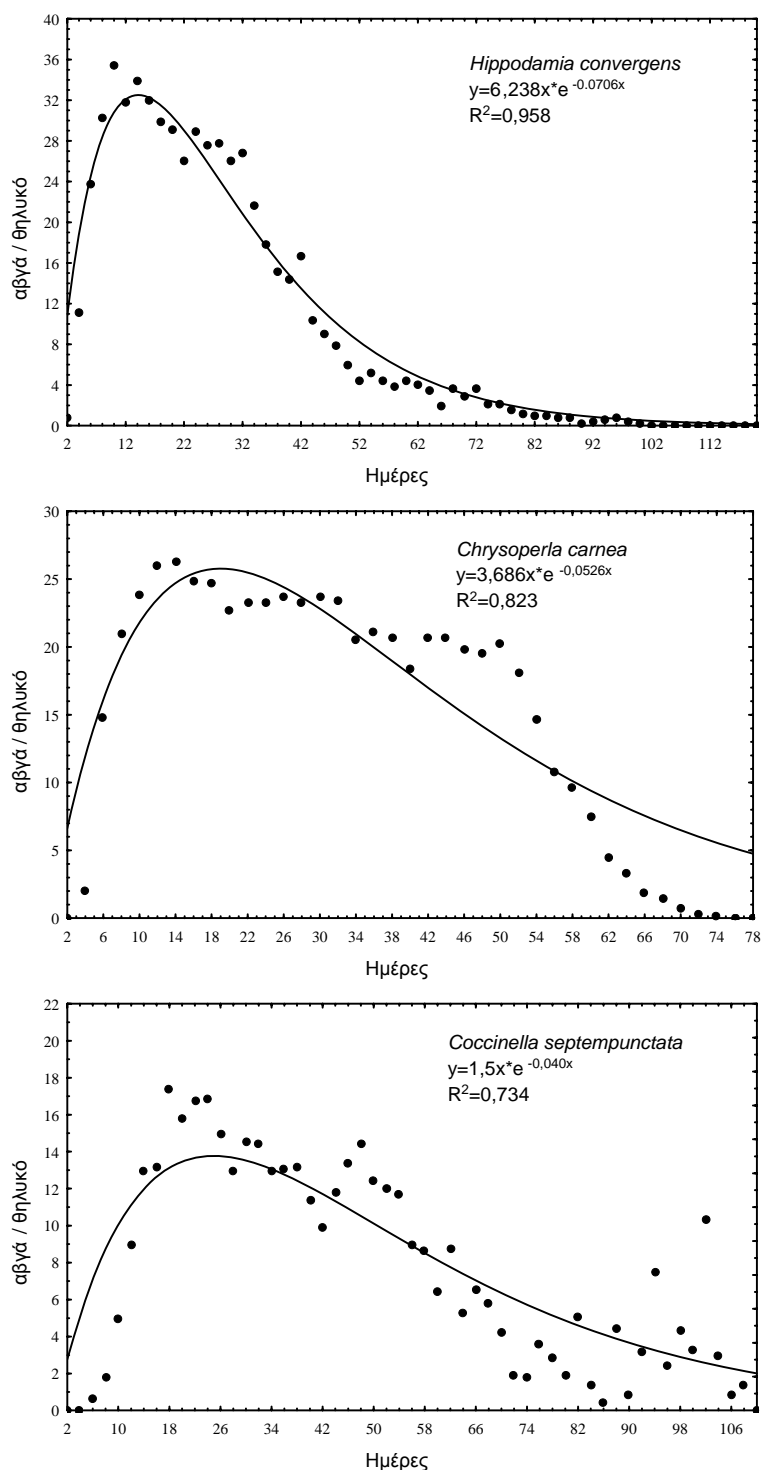


Σχήμα 2. Κατανομή συχνοτήτων περιόδων προωτοκίας σε πληθυσμούς των αρπακτικών *Coccinella septempunctata* (●), *Hippodamia convergens* (x) και *Chrysoperla carnea* (o) από το Βελεστίνο Μαγνησίας, οι οποίοι εκτράφηκαν με *Aphis gossypii* στους $23 \pm 0,5$ °C.

Το σχήμα 3 περιγράφει την γονιμότητα των θηλυκών των τριών αρπακτικών στη μονάδα του χρόνου. Ο υψηλότερος αριθμός αυγών παρατηρήθηκε στην ημέρα 18, 10 και 14 για τα *C. septempunctata*, *C. convergens* και *C. carnea* αντίστοιχα. Το εκθετικό μοντέλο περιγράφει ικανοποιητικά την καμπύλη ωοτοκίας για τα *H. convergens* και *C. carnea* ($R^2 = 0,96$ και $0,82$ αντίστοιχα), αλλά λιγότερο για το *C. septempunctata* ($0,73$). Η διακύμανση των ρυθμών ωοτοκίας, που παρατηρήθηκαν στο τελευταίο είδος, μπορεί να

αποδοθεί στη μεγάλη ενδοπληθυσμιακή παραλλακτικότητα κατά την περίοδο προωτοκίας, και παρατηρήθηκε και από άλλους ερευνητές (Phoofolo & Obrycki 1995).

Τα πειραματικά δεδομένα της μελέτης αυτής δεν αποκάλυψαν σημαντικές διαφορές στη γονιμότητα ανάμεσα στα τρία είδη. Ωστόσο, η μεγαλύτερη τιμή ενδογενούς ρυθμού αύξησης πληθυσμού (r_m) παρατηρήθηκε στο *H. convergens*, ενώ το *C. carnea* εμφάνισε το μεγαλύτερο καθαρό αναπαραγωγικό ρυθμό (R_0). Το *H. convergens* έδειξε μικρότερες τιμές μέσης διάρκειας γενιάς (T) και διπλασιασμού πληθυσμού (DT) από ό,τι τα άλλα δύο είδη. Τόσο η γονιμότητα, όσο και ο r_m στο *H. convergens* ήταν υψηλότερα από ό,τι αυτά βορειοαμερικανικού πληθυσμού με λεία την *A. pisum* στους 22 °C (Rodriguez-Saona & Miller 1995), αλλά η γονιμότητα ήταν παρόμοια με αυτή παρόμοιου πληθυσμού με λεία την αφίδα *Aphis spiraecola* Patch στους 24 °C (Michaud 2000). Αντίθετα, η τιμή του r_m για το *C. septempunctata* ήταν πολύ μικρότερη από αυτή πληθυσμών αμερικάνικων και ευρωπαϊκών πληθυσμών (Phoofolo & Obrycki 1995), που εκτράφηκαν με μικτή δίαιτα στους 26 °C, αλλά παρόμοια με αυτή πληθυσμού από τη Σ. Αραβία στους 25 °C με λεία το *B. brassicae* (ElHag & Zaitoon 1996). Οι τιμές που προκύπτουν από αυτή εδώ τη μελέτη για τη γονιμότητα του *C. septempunctata* είναι πολύ υψηλότερες από αυτές που αναφέρθηκαν από τους ElHag & Zaitoon (1996) και από αυτές ενός κινέζικου πληθυσμού αρπακτικού με λεία την αφίδα *A. gossypii* στους 25 °C (Xia *et al.* 1999). Πολύ υψηλότερες τιμές γονιμότητας όμως αναφέρθηκαν από τους Phoofolo & Obrycki (1995) για τους προαναφερθέντες πληθυσμούς, σε σύγκριση με αυτές που βρέθηκαν από τους Omkar & Srivastava (2003) για πληθυσμό από την Ινδία με λεία το *A. gossypii* στους 25 °C. Η γονιμότητα των θηλυκών του *C. carnea*, η οποία βρέθηκε στην παραπάνω τελευταία εργασία κυμάνθηκε λίγο ως πολύ στο εύρος των τιμών που ανέφεραν οι Athhan *et al.* (2004) για έναν πληθυσμό από την Ανατολική Τουρκία με τις προνύμφες του να διατρέφονται με το είδος *H. pruni* στους 25 °C, αλλά και πολύ υψηλότερη συγκριτικά με αυτή αιγυπτιακών πληθυσμών, που εκτράφηκαν με *A. gossypii* (Zaki & Gesraha 2001). Επιπλέον, οι Chang *et al.* (2000) ανέφεραν πολύ μεγαλύτερη γονιμότητα σε βορειοαμερικανικούς πληθυσμούς στους 24 °C. Τέλος, η παρούσα μελέτη ανέδειξε τιμές r_m για το *C. carnea* χαμηλότερες από αυτές που βρήκαν οι Athhan *et al.* (2004) για τον προαναφερθέντα πληθυσμό του ίδιου είδους.



Σχήμα 3. Παρατηρούμενη (με κουκκίδες) και προβλεπόμενη (με γραμμές) γονιμότητα των ειδών: *Hippodamia convergens*, *Chrysoperla carnea* και *Coccinella septempunctata*. Οι πληθυσμοί συλλέχθηκαν στο Βελεστίνο Μαγνησίας και εκτράφηκαν με *Aphis gossypii* στους $23 \pm 0,5$ °C

Στην παρούσα μελέτη αναδείχθηκαν ενδοειδικές διαφορές στην ανάπτυξη ατελών σταδίων, στην επιβίωση και στην αφιδοκατανάλωση στα τρία αρπακτικά είδη, ιδίως στο *C. carnea*. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της εργασίας με αυτά δημοσιευμένων μελετών δείχνει ότι οι ενδοειδικές διαφορές που παρατηρήθηκαν σε βιολογικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά θα μπορούσαν πιθανώς να αποδοθούν εν μέρει σε παράγοντες σχετικούς με το σύστημα εκτροφής (λεία, ξενιστής, συνθήκες). Οι Orr & Obyrcki (1990) και Michels & Behle (1991b) υπογράμμισαν ότι το είδος λείας επηρέασε την ανάπτυξη ατελών σταδίων, το βάρος τελείου στα κολεόπτερα *Hippodamia parenthesis* (Say) και τις θερμικές απαιτήσεις στο *Hippodamia sinuata* Mulsant αντίστοιχα. Όμοια, στο *C. carnea* το είδος λείας επηρέασε το μέγεθος του τελείου και το βάρος (Wiebe & Obyrcki 2002), τη διάρκεια ανάπτυξης και την επιβίωση (Obyrcki *et al.* 1989, Liu & Chen 2001, Wiebe & Obyrcki 2002) και την κατανάλωση αφίδων (Liu & Chen 2001). Επιπλέον, το είδος του ξενιστή επηρεάζει την προτίμηση ωστοκίας και τη γονιμότητα (Ballal & Singh 1999). Τέλος, οι Francis *et al.* (2000, 2001) και Giles *et al.* (2002) υπογράμμισαν ότι οι βιολογικές παράμετροι των αρπακτικών Coccinellidae πρέπει να μελετώνται σε ένα τριτροφικό επίπεδο.

Πρέπει όμως να τονιστεί ότι οι ενδοειδικές διαφορές μπορεί να προκαλούνται επίσης από γενετική παραλλακτικότητα, σχετιζόμενη με τη γεωγραφική προέλευση. Σημαντική γεωγραφική παραλλακτικότητα έχει αναφερθεί στο *H. convergens* (Obyrcki & Tauber 1982, Michels & Behle 1991a) και στο *C. carnea* (Tauber & Tauber 1978) αναφορικά με τη θνησιμότητα και την ανάπτυξη ατελών σταδίων σε σχέση με τη θερμοκρασία, ενώ οι Obyrcki & Tauber (1982) υποστήριξαν ότι το γεγονός αυτό αντανακλά τη φαινολογική προσαρμογή του είδους και τα ιδιαίτερα βιοτικά και αβιοτικά χαρακτηριστικά του ενδιαιτήματός τους. Παραλλακτικότητα έχει αναφερθεί επίσης σε βορειοαμερικανικούς πληθυσμούς του κολεοπτέρου *C. maculata* σε σχέση με την προσαρμογή σε διάφορα είδη λείας (Munyanzeza & Obyrcki 1998), καθώς και τη γονιμότητα νεαρκτικών και πληθυσμών Άπω Ανατολής του *C. septempunctata* (σύγκρινε τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης με αυτά των Xia *et al.* (1999) και Omkar & Srivastava (2003), που χρησιμοποίησαν παρόμοια συστήματα εκτροφής, πίνακες 2 και 7) και τη φωτοπεριοδική αντίδραση (*photoperiodic response*) κεντροευρωπαϊκών πληθυσμών του τελευταίου είδους (Hodek 1973, Hodek & Ruzicka 1979). Ωστόσο, σε

άλλες μελέτες αφιδοφάγων αρπακτικών δε βρέθηκε ενδοειδική παραλλακτικότητα στις θερμικές απαιτήσεις (*C. septempunctata*: Hodek 1973, Obrycki & Tauber 1981, *Propylea quatuordecimpunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae): Obrycki *et al.* 1993, *Chrysopa oculata* Say (Neuroptera: Chrysopidae): Tauber *et al.* 1987) ή στα δημογραφικά χαρακτηριστικά (*P. quatuordecimpunctata*: Obrycki *et al.* 1993, *C. septempunctata*: Phoofole & Obrycki 1995), όταν εξετάστηκαν πληθυσμοί από διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές. Ωστόσο, σε κάποιες περιπτώσεις η προέλευση αποτελεί σημαντικό συστατικό της ενδοειδικής παραλλακτικότητας που παρατηρείται σε θέματα βιολογίας των αρπακτικών. Επομένως, υπάρχει ανάγκη να πραγματοποιούνται μελέτες σε εύρος περιοχών ταυτόχρονα, όταν πρέπει να αξιολογηθούν ως αποτελεσματικοί παράγοντες βιολογικού ελέγχου εντόμων.

Αξιολόγηση των αρπακτικών

Τα αποτελέσματα του εργαστηρίου και του αγρού (βλέπε Ειδικό Μέρος, Κεφάλαιο 1ο) παρέχουν πληροφορίες για τη σχετική αποτελεσματικότητα του κάθε αρπακτικού που εξετάστηκε. Τα τρία είδη εμφάνισαν περίπου παρόμοιες τιμές μέσης θνησιμότητας, αλλά τα *C. carnea* και *H. convergens* σημείωσαν πολύ μικρότερη θνησιμότητα αβγών, γεγονός που θα μπορούσε να βοηθήσει τα είδη αυτά στην πρώιμη εγκατάστασή τους στον αγρό. Στο *C. carnea* παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη νυμφική διάρκεια, ένα χαρακτηριστικό που μπορεί να θεωρηθεί ως συγκριτικό μειονέκτημα, αφού η νύμφη είναι ακίνητη και επιρρεπής σε διαειδική θήρευση και κανιβαλισμό. Αντίθετα, εξαιτίας της μεγάλης αδηφαγίας τους οι προνύμφες του *C. carnea* μπορούν να ελέγξουν αποτελεσματικότερα πληθυσμούς αφίδων από ό,τι αυτές των Coccinellidae. Φάνηκε επίσης ότι η γονιμότητα των θηλυκών και ο καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός του πληθυσμού ήταν υψηλότερα στο *C. carnea* από ό,τι στα δύο κολεόπτερα, ενώ το *H. convergens* εμφάνισε τον υψηλότερο ενδογενή ρυθμό αύξησης και τη μικρότερη μέση διάρκεια γενιάς. Οι χαρακτήρες αυτοί επιτρέπουν στα είδη *C. carnea* και *H. convergens* να συμπληρώνουν περισσότερες γενιές το έτος από ό,τι το *C. septempunctata* σε κατάσταση αφθονίας τροφής, γεγονός που είναι σύμφωνο με τον αριθμό των γενεών που παρατηρήθηκαν σε μελέτες αγρού. Τα αποτελέσματα της μελέτης στον αγρό έδειξαν ότι το *C. carnea* παραμένει για περισσότερο χρόνο στον αγρό και αναπτύσσει μεγαλύτερους αριθμούς φυτό από ό,τι τα δύο κολεόπτερα. Μετρήσεις αγρού (βλ. κεφ. 1ο, σχήμα 2)

έδειξαν ότι τα αβγά του *C. carnea* εναποτίθεντο νωρίτερα από τις πρώτες πληθυσμιακές εξάρσεις αφίδων (αναφέρεται και από τους Honěk & Kocourek 1988). Αυτό μπορεί να αποδοθεί στα πιθανά ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα του *C. carnea*, όπως η υψηλή γονιμότητα, η μεγάλη αφιδοκατανάλωση και η χαμηλότερη ουδός ανάπτυξης για αβγά, πούπες (Honěk & Kocourek 1988) και συνολική ανάπτυξη ατελών σταδίων (Fujiwara & Nomura 1999) σε σχέση με τιμές πληθυσμών Coccinellidae από την Κ. Ελλάδα (Katsarou *et al.* 2005) και άλλους παλαιαρκτικούς πληθυσμούς (Honěk & Kocourek 1988). Τα χαμηλότερα επίσης θερμοκρασιακά όρια είναι δυνατό να ευθύνονται για την πρόωμη ωοτοκία στο *C. carnea*. Άλλες παράμετροι της οικολογίας του είδους αυτού μπορεί να είναι επίσης υπεύθυνοι για την καλύτερη προσαρμογή του σε συνθήκες αγρού. Μονήρη αβγά προσκολλημένα σε μίσχο είναι λιγότερο επιρρεπή στην αρπαγή και τον κανιβαλισμό (Honěk & Kocourek 1988, Ruzicka 1997) από ό,τι ωοθεσίες Coccinellidae. Ακόμη, οι διαφορετικές διατροφικές απαιτήσεις (νέκταρ, γύρη κ.λπ.) των τελείων του *C. carnea* ελαττώνουν τον ανταγωνισμό με τις προνύμφες και τα καθιστούν ικανά να εκμεταλλεύονται πηγές τροφής εκτός αγρών βαμβακιού, π.χ. σε βλάστηση πλησίον, όπου συνήθως λείπουν οι επεμβάσεις εντομοκτόνων. Είναι άξιο αναφοράς ότι μεγάλοι πληθυσμοί του *C. carnea* δε μεταφράζονται πάντοτε σε υψηλή αποτελεσματικότητα θήρευσης σε σχέση με άλλα αρπακτικά. Ενήλικα άτομα του *C. septempunctata*, τα οποία έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από το *H. convergens*, καταναλώνουν μεγάλους αριθμούς αφίδων στη ζωή τους και ενδεχομένως να είναι καλύτερα στον έλεγχο εξάπλωσης μεγάλων πληθυσμών αφίδων (Hodek 1973, Omkar & Srivastava 2003). Το *C. septempunctata* επιδεικνύει μεγάλη ενδοπληθυσμιακή παραλλακτικότητα στην περίοδο προωοτοκίας, πιθανώς συνδεδεμένη με γενετικούς παράγοντες ή φαινοτυπική πλαστικότητα. Το γεγονός αυτό βοηθά το είδος να αντιπαραέρχεται περιβαλλοντικές μεταβολές και να προσαρμόζεται σε διαφορετικά αγροοικοσυστήματα.

Η μελέτη τόνισε τη σημασία των τριών φυσικών εχθρών ως δυνητικών παραγόντων ελέγχου της αφίδας. Κάθε είδος έδειξε διαφορετικά συγκριτικά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων και θα μπορούσε να είναι ωφέλιμο σε διαφορετικές περιόδους της καλλιέργειας. Όμως, η ενδοειδική θήρευση είναι παράγοντας που επιδρά στην αποτελεσματικότητα των ειδών και επομένως απαιτεί περαιτέρω έρευνα στο αγροοικοσύστημα του βαμβακιού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

Μελέτη μορφολογικής παραλλακτικότητας σε πληθυσμούς της αφίδας *Aphis gossypii* από διαφορετικούς ξενιστές

Εισαγωγή

Ανάμεσα στα διάφορα είδη αφίδων το είδος *A. gossypii* θεωρείται μια ενδιαφέρουσα περίπτωση για περαιτέρω έρευνα, αφού αποτελεί ένα κοσμοπολίτικο και ιδιαίτερα πολυφάγο είδος. Αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς εχθρούς των λαχανοκομικών φυτών που καλλιεργούνται σε θερμοκήπια και ανοικτούς αγρούς (τομάτα, γλυκοπιπεριά, αγγούρι, πεπόνι κ.λπ.). Επίσης, είναι σοβαρός εχθρός των εσπεριδοειδών, του βαμβακιού και των ανθοκομικών καλλιεργειών. Προσβάλλει φυτά που ανήκουν σε 32 τουλάχιστον διαφορετικές οικογένειες. Έχει πολλές γενιές το έτος (Τζανακάκης 1980, Τσιτσιπής 1999). Ο Paddock εξέθρεψε 60 γενιές σε ένα έτος (Τζανακάκης 1980, Τόλης 1986). Ως παρθενογενετικό άτομο είναι φορέας διαφόρων ιών, που προσβάλλουν τα φυτά (Blackman & Eastop 2000), ενώ παράλληλα γίνεται όλο και πιο ανθεκτικό στα εντομοκτόνα (Takada & Murakami 1988). Το είδος αναπαράγεται κυρίως παρθενογενετικά σε όλο το εύρος εξάπλωσής του (Blackman & Eastop 2000), αν και σεξουαλική αναπαραγωγή έχει παρατηρηθεί σε πληθυσμούς της Ασίας (Takada 1988) και της Αμερικής (Kring 1959).

Στις διάφορες περιοχές του κόσμου το *A. gossypii* εμφανίζεται με ένα απροσδιόριστο αριθμό παρθενογενετικών σειρών, κάποιες από τις οποίες μπορεί να παρουσιάζουν μια συγκεκριμένη προσαρμογή σε φυτά-ξενιστές. Για παράδειγμα, το είδος εμφανίζεται στο χρυσάνθεμο και στο αγγούρι των θερμοκηπίων της Δυτικής Ευρώπης, όμως οι αφίδες από το χρυσάνθεμο δεν αποικίζουν το αγγούρι και αντίστροφα. Μολονότι οι προσαρμοσμένοι αυτοί γενότυποι μπορούν να εκτραφούν σε βαμβάκι (Guldemon *et al.* 1994), η φυλή που τρέφεται στο χρυσάνθεμο μπορεί να παράγει έμφυλα άτομα κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Διάφοροι συγγραφείς θεωρούν τη φυλή του χρυσάνθεμου ως ανεξάρτητο είδος με το όνομα *Aphis parvus* Theobald, παράδειγμα που αποδεικνύει ότι σε κάποιες περιπτώσεις ίσως είναι απαραίτητο,

διαφορετικοί πληθυσμοί του *A. gossypii* να θεωρούνται ως ευδιάκριτες ταξινομικές οντότητες, π.χ. φυλές (Jaenike 1981, Diehl & Bush 1984, Guldemon *et al.* 1994).

Στην Ευρώπη, το τάξο *gossypii* κατατάσσεται ως υποείδος στο σύμπλοκο *Aphis frangulae* (Stroyan 1984, Heie 1986). Πρόκειται για μια ομάδα που περιλαμβάνει στενά μορφολογικά συσχετιζόμενα ιθαγενή ευρωπαϊκά είδη, που χρησιμοποιούν το *Rhamnus frangula* L. (Rhamnaceae) ως κύριο ξενιστή. Το *A. gossypii* θεωρείται το μοναδικό μέλος της ομάδας που δεν αναπαράγεται σεξουαλικά στο *Rhamnus*. Στη Βόρεια Ευρώπη διαχειμάζει παρθενογενετικά σε προστατευμένες θέσεις (π.χ. θερμοκήπια). Με βάση τα παραπάνω, το κοσμοπολίτικο είδος *A. gossypii* προερχόμενο από την Ευρώπη αναπαράγεται μόνιμα παρθενογενετικά, είναι πολυφάγο, προσαρμόζεται εύκολα κι εξαπλώνεται από την Ευρώπη σε όλα τα μέρη του κόσμου.

Η παραπάνω θεωρία αντιπροσωπεύει τους πληθυσμούς του *A. gossypii* που έχουν μελετηθεί μέχρι σήμερα σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας και σε διάφορους ξενιστές. Όμως, η παραπάνω θεωρία έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα σχετικών ερευνών που έγιναν στην Ιαπωνία και την Κίνα για το ίδιο είδος. Στις συγκεκριμένες χώρες βρέθηκε ότι το είδος περνάει από ετήσια σεξουαλική φάση και κατά τις παρθενογενετικές γενιές είναι πολυφάγο. Στην Ανατολική Ασία διαχειμάζει ως αβγό σε ποικιλία μη συγγενών φυτών, στα οποία συμπεριλαμβάνονται τα *Rhamnus* spp., *Hibiscus syriacus* L. (Malvaceae), *Cellastrus orbiculatus* Thunb. (Celasteraceae) και το *Rubia cordifolia* L. (Rubiaceae) (Inaizumi 1980, Zhang & Zhong 1990). Νωρίτερα, στη Βόρεια Αμερική ο Kring (1959) έδειξε ότι το *A. gossypii* έχει ετήσια σεξουαλική φάση, χρησιμοποιώντας τα *H. syriacus* (Malvaceae) και *Catalpa bignonioides* Walter (Bignoniaceae) ως πρωτεύοντες ξενιστές. Ωστόσο, η ύπαρξη ολοκυκλικών γενοτύπων σε κάποιες περιοχές του Πλανήτη αποτελεί κίνητρο για εντατική μελέτη της κατηγορίας βιολογικού κύκλου του συγκεκριμένου είδους στην Ευρώπη, και ιδιαίτερα στην Ελλάδα.

Εκτός από το καθαρά ταξονομικό ενδιαφέρον των διαφορετικών μορφών αφίδων από διαφορετικούς ξενιστές, υπάρχει και μία οικολογική διάσταση, που έχει αντίκτυπο στη φυτοπροστασία του βαμβάκιού. Είναι δυνατό ξενιστές που αποικίζονται ή όχι από τη μορφή που τρέφεται στο βαμβάκι, να αποτελούν ή όχι πηγή πληθυσμών, που δημιουργούν ή όχι νέες προσβολές στην καλλιέργεια αντίστοιχα. Επίσης, είναι δυνατό, γειτονικές καλλιέργειες διαφορετικών φυτών που αποικίζονται από γενετικά όμοιες

μορφές του είδους να ανταλλάσσουν πληθυσμούς και έτσι να εισάγονται γενότυποι ανθεκτικοί στη χρήση αφιδοκτόνων. Τέτοιες περιπτώσεις θα είχαν άμεση προέκταση στην καταπολέμηση των αφίδων σε ένα συγκεκριμένο αγρό.

Δεδομένων των προαναφερθέντων, σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση με μορφομετρική ανάλυση της ύπαρξης μορφολογικής διαφοροποίησης μεταξύ ελληνικών πληθυσμών του *A. gossypii*, που προέρχονται από ξενιστές των οικογενειών Malvaceae, Cucurbitaceae και Compositae, καθώς και η τυχόν απόδοσή της σε γενετικές διαφορές.

Υλικά και Μέθοδοι

Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν αφίδες που συλλέχθηκαν κατά τα έτη 2002-2004 από διάφορες περιοχές της Ελλάδας (πίνακας 1). Συγκεκριμένα, το 2002 συλλέχθηκαν 76 δείγματα από διάφορες περιοχές της Ελλάδας (Βόλος, Βελεστίνο, Κατερίνη, Μελίκη) από πεπόνι, *Cucumis melo* L. (Cucurbitaceae), καρπούζι, *Citrullus lanatus* (Thunb.) (Cucurbitaceae), μπάμια, *Abelmoschus* (=Hibiscus) *esculentus* (L.) (Malvaceae), κολοκύθι, *Cucurbita pepo* L. (Cucurbitaceae), βαμβάκι, *Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae), ιβίσκο, *Hibiscus syriacus* L. (Malvaceae), αγγούρι, *Cucumis sativus* L. (Cucurbitaceae), μολόχα, *Malva sylvestris* L. (Malvaceae) και πικραγγουριά, *Ecballium elaterium* (L.) (Cucurbitaceae). Το 2003 συλλέχθηκαν εννέα δείγματα στο Βόλο από χρυσάνθεμο, *Chrysanthemum* sp. (Compositae), ένα δείγμα στο Βόλο από ντάλια, *Dahlia variabilis* (Wild.) (Compositae), και τέσσερα δείγματα από το Βελεστίνο Μαγνησίας από ζωχό, *Sonchus oleraceus* L. (Compositae). Τέλος, το 2004 συλλέχθηκαν τέσσερα δείγματα από ζωχό από τη Μαγνησία. Τα δείγματα ήταν προσβεβλημένα φύλλα, στελέχη ή ολόκληρα φυτά και συλλέχθηκαν συνήθως από αγρούς μεγέθους 5-10 στρεμμάτων σε κάθε περιοχή.

Κάθε δείγμα που αποτελούνταν από 2-3 φύλλα προσβεβλημένα από αφίδες συλλεγόταν από ένα φυτό. Το κάθε δείγμα τοποθετούνταν σε πλαστικό σακουλάκι, που περιείχε τεμάχιο απορροφητικού χαρτιού. Η μεταφορά τους στο εργαστήριο γινόταν σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία με φορητά ψυγεία, που περιείχαν παγοκύστες. Από κάθε δείγμα δημιουργήθηκε κλωνική αποικία (παρθενογενετική σειρά), με επιλογή ενός

άπτερου παρθενογενετικού θηλυκού ατόμου. Οι αφίδες εκτράφηκαν για τρεις τουλάχιστον γενιές με φύλλα πιπεριάς, *Capsicum annuum* L. (Solanaceae), τοποθετημένα σε ειδικά κουτιά εκτροφής αφίδων, τύπου Blackman (1971), διαστάσεων 7,7cm x 4,5cm x 2cm σε συνθήκες 23±1 °C και φωτοπερίοδο L16:D8. Οι αφίδες εκτράφηκαν σε κοινό ξενιστή και σε σταθερές συνθήκες, για να εξασφαλιστεί η σταθερότητα του περιβάλλοντος για όλες τις παρθενογενετικές σειρές, με αποτέλεσμα οποιαδήποτε παραλλακτικότητα στη μορφολογία να αποδίδεται σε γενετικές διαφορές.

Πίνακας 1. Εργαστηριακά εκτρεφόμενες παρθενογενετικές σειρές

Ξενιστής	Περιοχή	Ημερομηνία συλλογής	Αριθμός παρθενογενετικών σειρών	Αριθμός δειγμάτων
Compositae				
<i>Chrysanthemum</i> sp.	Βόλος	1-9-2003	4	48
<i>Chrysanthemum</i> sp.	Βόλος	27-9-2003	3	30
<i>Chrysanthemum</i> sp.	Βόλος	15-10-2003	2	21
<i>Sonchus oleraceus</i>	Βελεστίνο	9-9-2003	4	39
<i>Sonchus oleraceus</i>	Βόλος	10-5-2004	4	23
<i>Dahlia variabilis</i>	Βόλος	15-10-2003	1	10
Cucurbitaceae				
<i>Ecballium elaterium</i>	Βόλος	5-9-2002	1	9
<i>Citrullus lanatus</i>	Κατερίνη	8-8-2002	5	54
<i>Cucumis melo</i>	Κατερίνη	8-8-2002	6	45
<i>Cucurbita pepo</i>	Βόλος	5-8-2002	9	59
<i>Cucurbita pepo</i>	Βόλος	14-8-2002	4	38
<i>Cucumis sativus</i>	Βόλος	30-8-2002	1	6
Malvaceae				
<i>Gossypium hirsutum</i>	Κατερίνη	8-8-2002	17	94
<i>Gossypium hirsutum</i>	Βελεστίνο	2-8-2002	15	100
<i>Abelmoschus esculentus</i>	Μελίκη Ημαθίας	8-8-2002	12	77
<i>Hibiscus syriacus</i>	Βόλος	29-8-2002	4	24
<i>Malva sylvestris</i>	Βόλος	26-8-2002	2	17

Περίπου 7-10 τέλεια άπτερα παρθενογενετικά θηλυκά από κάθε παρθενογενετική σειρά διατηρήθηκαν σε πλαστικό φιαλίδιο με διάλυμα 1:3 γαλακτικού οξέος (75% w/w) και αλκοόλης (95%), έως ότου γίνουν μόνιμα παρασκευάσματα. Τα μόνιμα παρασκευάσματα έγιναν με τη μέθοδο των Blackman & Eastop (2000). Οι αφίδες

παρέμειναν για μια ώρα σε υδατόλουτρο στους 80°C μέσα σε γυάλινο δοκιμαστικό σωλήνα με το υγρό διατήρησης. Στη συνέχεια, αφαιρέθηκε από το δοκιμαστικό σωλήνα το υγρό διατήρησης και προστέθηκε διάλυμα αιθυλικής αλκοόλης, ενώ ο σωλήνας τοποθετήθηκε για τρία λεπτά σε σκεύος με νερό που έβραζε. Κατόπιν αφαιρέθηκε το διάλυμα αλκοόλης και τοποθετήθηκε διάλυμα καυστικού καλίου (10%), ενώ ο σωλήνας τοποθετήθηκε για τέσσερα λεπτά σε σκεύος με νερό που έβραζε. Έπειτα, έγιναν τρεις πλύσεις με απεσταγμένο νερό συνολικής διάρκειας 15 λεπτών. Τέλος, στο δοκιμαστικό σωλήνα τοποθετήθηκε άνυδρο οξικό οξύ για οκτώ λεπτά και κατόπιν γαριφαλέλαιο για 2 ώρες. Σε αντικειμενοφόρο πλάκα τοποθετήθηκαν 4 αφίδες σε 1-2 σταγόνες Entellan (οίκου MERCK, Γερμανίας) και σκεπάστηκαν με καλυπτρίδα. Κατόπιν, τα παρασκευάσματα (εικόνα 1) παρέμειναν για 3-4 εβδομάδες σε κλίβανο θερμοκρασίας 37°C.

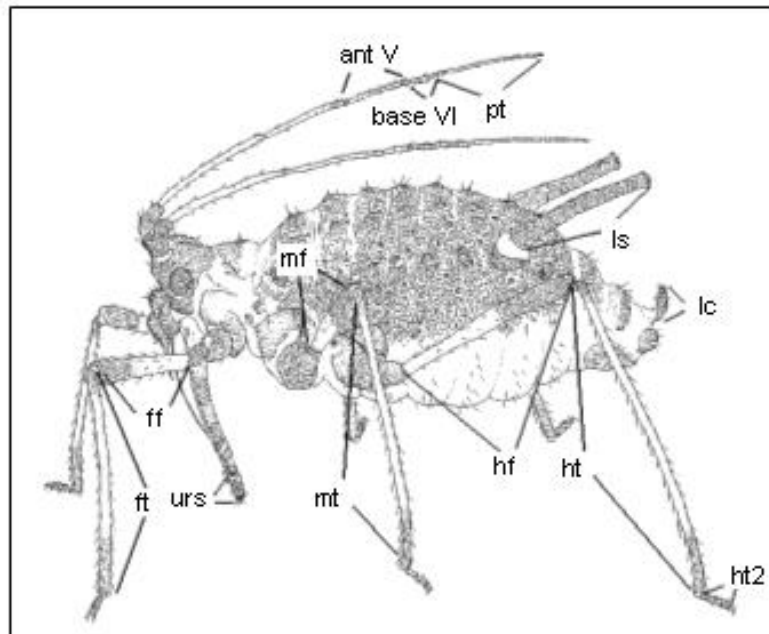


Εικόνα 1. Μόνιμο παρασκεύασμα (slide) της αφίδας *Aphis gossypii*

Συνολικά σωματομετρήθηκαν 1041 τέλεια άπτερα παρθενογενετικά θηλυκά (virginoparae), που προήλθαν από 94 παρθενογενετικές σειρές. Τα χρυσάνθεμα και η ντάλια που συλλέχθηκαν, καλλιεργήθηκαν σε τρία θερμοκήπια.

Μετρήθηκαν συνολικά 13 μορφολογικά χαρακτηριστικά (εικόνα 2) σύμφωνα με τη μέθοδο των Ilharco & van Harten (1987), και συγκεκριμένα: 1) το μήκος του

τελευταίου άρθρου του ρύγχους (urs), 2) το μήκος του βασικού τμήματος του τελευταίου άρθρου της κεραίας (base VI), 3) το μήκος του δεύτερου ταρσομερούς του πίσω ποδιού (ht2), 4) το μήκος του πέμπτου άρθρου της κεραίας (ant V), 5) το μήκος του τελικού τμήματος του τελευταίου άρθρου της κεραίας (pt), 6) το μήκος της ουράς (lc), 7) το μήκος του σιφωνίου (ls), 8) το μήκος του μηρού του πίσω ποδιού (hf), 9) το μήκος της κνήμης του πίσω ποδιού (ht), 10) το μήκος της κνήμης του μεσαίου ποδιού (mt), 11) το μήκος του μηρού του μεσαίου ποδιού (mf), 12) το μήκος της κνήμης του μπροστινού ποδιού (mt) και 13) το μήκος του μηρού του μπροστινού ποδιού (ff).



Εικόνα 2. Πλευρική όψη άπτερης αφίδας (τροποποιημένο από Miyazaki 1987) με τα 13 μορφολογικά χαρακτηριστικά που μετρήθηκαν

Οι μετρήσεις μήκους έγιναν με μικροσκόπιο που είχε δυνατότητα αντίθεσης φάσης (Leica DRMB, Leica Mikroskopie und System GmbH, Germany), βλ. εικόνα 3.



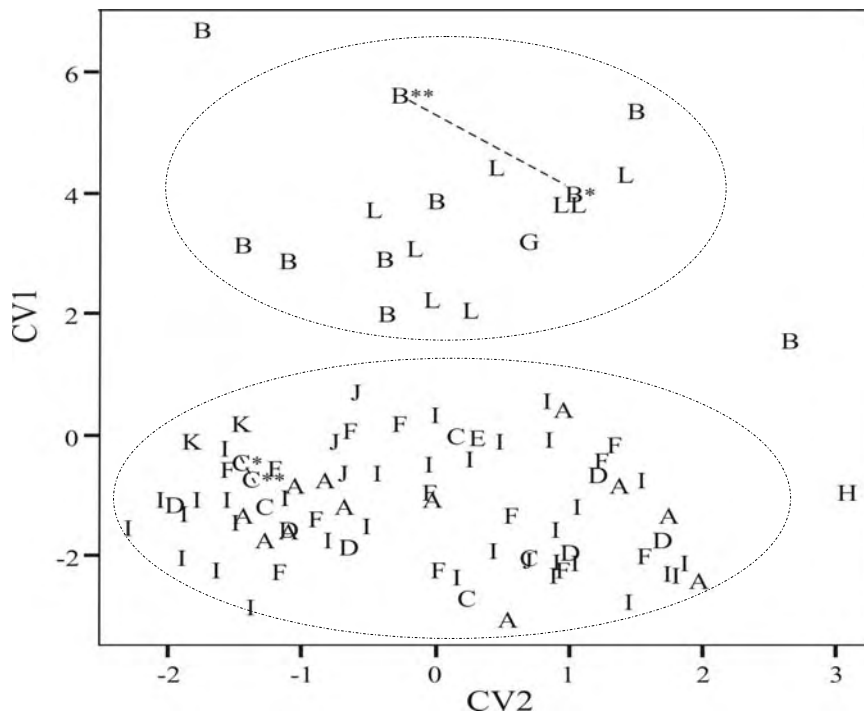
Εικόνα 3. Μικροσκόπιο αντίθεσης φάσης για μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών της αφίδας *Aphis gossypii*

Για να εξεταστεί ο διαχωρισμός των διαφόρων παρθενογενετικών σειρών και δειγμάτων αγρού που συλλέχθηκαν από διάφορα φυτά-ξενιστές, τα δεδομένα υποβλήθηκαν σε επεξεργασία ταυτόχρονα με τη μέθοδο της Ανάλυσης Κανονικών Μεταβλητών (Canonical Variates Analysis, CVA, Krzanowski 1990). Κάθε παρθενογενετική σειρά θεωρήθηκε ως παράγοντας ομαδοποίησης (group). Η μέθοδος ανάλυσης κανονικών μεταβλητών θεωρείται ένα ισχυρό εργαλείο στη διάκριση των διαφόρων τάξεων στις αφίδες, όταν οι παρθενογενετικές σειρές αντιμετωπίζονται στην ανάλυση ως παράγοντας ομαδοποίησης (Krzanowski 1990, Blackman 1992). Επίσης, χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson για σύγκριση των κανονικών συντελεστών της CVA με ένα γενικό δείκτη μεγέθους σώματος (= άθροισμα όλων των μηκών των μετρημένων χαρακτήρων). Η συσχέτιση αποσκοπεί στο να αποτελέσει οδηγό στη συνεισφορά γενετικών ή περιβαλλοντικών παραγόντων στην πιθανή εκδήλωση μορφολογικού διαχωρισμού ανάμεσα στα δείγματα. Στα δεδομένα δεν έγινε καμία μετατροπή πριν από την ανάλυση. Η στατιστική επεξεργασία έγινε με τα στατιστικά πακέτα SPSS v.12.0 (SPSS Inc. 2003) και Statistica v.6 (StatSoft Inc. 2001).

Αποτελέσματα

Το σχήμα 1 δείχνει τις μέσες τιμές των δύο πρώτων κανονικών μεταβλητών (CV ή KM), που μαζί εξηγούν το 66,4% της συνολικής παραλλακτικότητας. Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται μόνο οι μεταβλητές αυτές, καθώς αποτέλεσαν τον καλύτερο στατιστικό συνδυασμό για τη μέγιστη παραλλακτικότητα. Με βάση το ίδιο σχήμα γίνεται φανερή η διαφοροποίηση των παρθενογενετικών σειρών σε δύο ομάδες. Όλες οι παρθενογενετικές σειρές που προέρχονται από αυτοφυή φυτά της οικογένειας Compositae διαχωρίζονται από εκείνες που προέρχονται από καλλιεργούμενα φυτά των οικογενειών Cucurbitaceae και Malvaceae. Συγκεκριμένα, διακρίνονται δύο ξεχωριστές ομάδες, από τις οποίες η μία περιλαμβάνει όλες τις παρθενογενετικές σειρές από αυτοφυή Compositae και η άλλη όλες τις παρθενογενετικές σειρές από καλλιεργούμενα φυτά των οικογενειών Cucurbitaceae και Malvaceae. Ο διαχωρισμός των παρθενογενετικών σειρών σε δύο ομάδες οφείλεται κυρίως στην πρώτη κανονική μεταβλητή (CV1 ή KM1), που εξηγεί το 52% της συνολικής παραλλακτικότητας.

Στον πίνακα 2 φαίνεται ότι τα μορφολογικά χαρακτηριστικά που παρουσίασαν τη μεγαλύτερη συσχέτιση με τη CV1 ήταν το μήκος του τελικού τμήματος του τελευταίου άρθρου της κεραίας (pt), μήκος του πέμπτου άρθρου της κεραίας (ant V), το μήκος σιφωνίου (ls) και το μήκος του τελευταίου άρθρου του ρύγχους (urs).



Σχήμα 1. Τιμές των δύο πρώτων κανονικών μεταβλητών για 94 παρθενογενετικές σειρές της *A. gossypii*, οι οποίες συλλέχθηκαν από φυτά των οικογενειών Malvaceae, Cucurbitaceae και Compositae. A=*Abelmoschus esculentus*, B=*Chrysanthemum* sp., C=*Citrullus lanatus*, D=*Cucumis melo*, E=*Cucumis sativus*, F=*Cucurbita pepo*, G=*Dahlia variabilis*, H=*Ecballium elaterium*, I=*Gossypium hirsutum*, J=*Hibiscus syriacus*, K=*Malva sylvestris*, L=*Sonchus oleraceus*. Η διακεκομμένη γραμμή ενώνει υποδείγματα της ίδιας παρθενογενετικής σειράς, τα οποία μετρήθηκαν μετά από εκτροφή μικρής (B*, C*) και μεγάλης (B**, C**) διάρκειας στο εργαστήριο.

Πίνακας 2. Κανονικοί συντελεστές και ποσοστά συνολικής παραλλακτικότητας, που εξηγούνται από τις κανονικές μεταβλητές (ΚΜ ή CV) για παρθενογενετικές σειρές της *Aphis gossypii*

Χαρακτηριστικά	CV	
	CV1	CV2
urs	0,441	-0,158
base VI	0,073	0,027
ht2	0,379	0,172
ant V	0,898	-0,250
pt	-1,021	0,895
lc	0,133	0,582
ls	-0,746	-0,013
ht	0,093	0,233
hf	0,288	-0,237
mt	-0,029	0,447
mf	-0,004	-0,651
ft	0,255	0,058
ff	-0,114	-0,039
% συνολικής παραλλακτικότητας	51,8	14,6
Συσχέτιση με το δείκτη μεγέθους	$R=0,74$ $P < 0,01$	$R=0,63$ $P < 0,01$

Συζήτηση

Με την παρούσα μελέτη αποδείχθηκε η ύπαρξη μιας μορφολογικά διαφορετικής και ευρέως διαδεδομένης μορφής του *A. gossypii* που αποικίζει φυτά της οικογένειας Compositae. Ο συγκεκριμένος μορφολογικός διαχωρισμός των αφίδων που τρέφονται σε Compositae σε σχέση με εκείνες που τρέφονται σε Malvaceae και Cucurbitaceae βασίστηκε στη μέθοδο της ανάλυσης κανονικών μεταβλητών (Canonical Variates Analysis, CVA). Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την επίλυση προβλημάτων, που αφορούν σε στενά συσχετιζόμενα τάξα αφίδων. Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται αποτελεσματικά σε παρθενογενετικές σειρές αφίδων, που εκτρέφονται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες (Blackman & Spence 1994), καθώς και σε δείγματα αγρού (Blackman & De Boise 2002).

Η θερμοκρασία είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει τη συμμετρία ή ασυμμετρία στις αφίδες, ενώ η αλληλεπίδρασή της με το γενότυπο είναι περίπλοκη (Blackman & Spence 1994). Ακόμη, το είδος και η φυσιολογική κατάσταση του φυτού-ξενιστή μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη μορφολογία της αφίδας (Moran 1986, Dixon 1998, Wool & Hales 1997, Margaritopoulos *et al.* 2000). Φαινοτυπική πλαστικότητα λόγω αλληλεπίδρασης περιβάλλοντος και γενοτύπου έχει αποδειχθεί στο *Myzus antirrhinii* (Macchiati) (Blackman 1987). Το είδος *A. gossypii* χαρακτηρίζεται από φαινοτυπική πλαστικότητα (Rosenheim *et al.* 1994). Οι Wool & Hales (1997) βρήκαν ότι τα φυτά-ξενιστές επηρέασαν περισσότερο τη μορφολογία δειγμάτων που εξετάστηκαν από διάφορες περιοχές της Αυστραλίας από ό,τι οι γενετικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων. Στην παρούσα μελέτη βρέθηκε ισχυρή επίδραση του περιβάλλοντος στη μορφολογία. Όμως, σε κάποιες περιπτώσεις αποδείχθηκε ομαδοποίηση λόγω γενετικών διαφορών, που σχετίζονται με τον ξενιστή. Οι Wool & Hales (1997) εξέτασαν δείγματα του *A. gossypii* από την Αυστραλία, κυρίως από βαμβάκι, ιβίσκο, *Helianthus annuus* L. (Compositae), *Clerodendron* sp. (Verbenaceae) και μελιτζάνα. Δε βρήκαν μορφολογική διαφοροποίηση ανάμεσα σε αφίδες από *H. annuus* κι άλλους ξενιστές. Συμπεράναν λοιπόν ότι η μορφολογία των αφίδων επηρεάστηκε περισσότερο από το φυτό-ξενιστή που εκτράφηκαν, παρά από γενετικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων. Είναι πιθανό το *A. gossypii* που εισήλθε στην Αυστραλία να έχει λιγότερη γενετική παραλλακτικότητα και μάλλον δεν περιλαμβάνει τη μορφή που είναι προσαρμοσμένη στο χρυσάνθεμο.

Η μοναδική ομαδοποίηση που βρέθηκε με την παρούσα μελέτη είναι αυτή που διαχωρίζει τις αφίδες που τρέφονται σε Compositae από αυτές που δεν τρέφονται σε Compositae. Οι αφίδες που συλλέχθηκαν από φυτά Malvaceae και Cucurbitaceae τοποθετήθηκαν στην ίδια ομάδα. Αυτό υποδηλώνει ότι οι ίδιοι γενότυποι αποικίζουν και τις δύο παραπάνω οικογένειες. Διαφοροποίηση για την ίδια αφίδα έχει βρεθεί και μεταξύ διαφορετικών οικογενειών φυτών από αυτές που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη. Για παράδειγμα, οι Zhang & Zhong (1990) βρήκαν στη Κίνα ότι οι ανολοκυκλικοί γενότυποι σχετίζονταν με το αγγούρι, ενώ οι ολοκυκλικοί με το βαμβάκι. Η σημαντικότερη ίσως προσπάθεια γενετικού διαχωρισμού των μορφών της *A. gossypii* που τρέφονται σε διαφορετικούς ξενιστές με μοριακές μεθόδους, ήταν αυτή των Vanlerberghe-Masutti & Chavigny (1998). Οι ερευνητές αυτοί, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο RAPD-PCR,

απέδειξαν γενετική διαφοροποίηση ανάμεσα σε δείγματα από διάφορα είδη της οικογένειας Cucurbitaceae και από άλλα δείγματα μη Cucurbitaceae. Η προσπάθεια αυτή ήταν η πρώτη που ανέδειξε μορφές (γενοτύπους) της αφίδας με συγκεκριμένες σχέσεις αφίδας-ξενιστή που μπορεί να διασπείρονται σε μεγάλες γεωγραφικές αποστάσεις.

Είναι γεγονός ότι ο αξιόπιστος προσδιορισμός του είδους των αφίδων βάσει των μορφολογικών χαρακτηριστικών τους δεν είναι πάντα εφικτός, ενώ ο προσδιορισμός των ενδοειδικών (intraspecific) στοιχείων είναι πολλές φορές αδύνατος. Τελευταία χρησιμοποιούνται μοριακές τεχνικές, που στηρίζονται στην ανάλυση του DNA για τη συστηματική κατάταξη των αφίδων· είναι μάλιστα γρήγορες και αξιόπιστες. Επίσης, ανιχνεύουν την ύπαρξη γενετικού πολυμορφισμού και συχνά μπορούν να διαφοροποιήσουν είδη, τα οποία δε μπορούν να διαχωριστούν με άλλον τρόπο. Με την ανάλυση του μιτοχondριακού DNA μπορούν να διαφοροποιηθούν συγγενικά είδη (Footit & Bonen 1990), βιότυποι (Powers *et al.* 1989) και παρθενογενετικές σειρές του ίδιου είδους (Martinez *et al.* 1992), όπως και με το μικροδορυφορικό DNA (micro-satellite DNA Analysis) (Llewellyn *et al.* 1997). Άλλες μέθοδοι είναι: Η μέθοδος RAPD-PCR (τυχαία πολλαπλασιαζόμενο πολυμορφικό DNA-Αλυσιδωτή Αντίδραση Πολυμεράσης), η μέθοδος RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism) και η ανάλυση αλληλουχίας DNA. Τέτοιες μοριακές μέθοδοι θα μπορούσαν να αποσαφηνίσουν περισσότερο το διαχωρισμό που προέκυψε από τα στοιχεία της παρούσας μελέτης για το είδος *A. gossypii*.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα περίπτωσης αφίδας όπου η στατιστική μέθοδος, που περιγράφηκε νωρίτερα, διαχώρισε μορφολογικά πληθυσμούς της είναι αυτό του *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). Η διάκριση επιβεβαιώθηκε με τη μελέτη του βιολογικού κύκλου, αλλά και με μοριακές μεθόδους (Blackman 1987, Blackman & Spence 1992, Margaritoroulos *et al.* 2000). Αρχικά, ο Blackman (1987) περιέγραψε τη μορφή που τρέφεται στον καπνό ως νέο είδος, το *Myzus nicotiana* Blackman (Hemiptera: Aphididae). Γινόταν αποδεκτό ότι οι συγκεκριμένοι πληθυσμοί ήταν κυρίως παρθενογενετικοί, και συνεπώς δεν μπορούσαν να υβριδιστούν με το *M. persicae*. Όμως, ο βιολογικός κύκλος του *M. nicotiana* παρουσιάζει πολυμορφισμό. Σε πολλές περιοχές που καλλιεργείται ο καπνός δεν έχει αναφερθεί σεξουαλική αναπαραγωγή. Αντίθετα, στην Ιαπωνία, στην Κεντρική Ασία και το Καζακστάν βρέθηκαν ανδροκυκλικοί

πληθυσμοί του συμπλόκου *M. persicae* που τρέφονται σε καπνό. Στην Ελλάδα παρθενογενετικές σειρές που τρέφονται σε καπνό, βρέθηκαν να μεταναστεύουν από τη ροδακινιά στον καπνό. Επίσης, στη Βόρεια Ελλάδα, στις κύριες περιοχές όπου καλλιεργείται η ροδακινιά, ένα υψηλό ποσοστό παρθενογενετικών σειρών που τρέφεται στον καπνό και σε άλλους ξενιστές έχουν την ικανότητα σεξουαλικής αναπαραγωγής (Margaritopoulos *et al.* 2002). Σε μελέτη που έγινε, με τη μέθοδο της RAPD-PCR, χρησιμοποιήθηκαν 63 τυχαίοι primers, για να διαχωρίσουν παρθενογενετικές σειρές *M. persicae*, που προέρχονταν από τον καπνό και από άλλα φυτά ξενιστές. Τα αποτελέσματα αυτά έδειξαν ότι το *M. nicotianae* δεν πρέπει να θεωρείται διαφορετικό είδος από το *M. persicae*. Ωστόσο, οι αφίδες που αποικίζουν τον καπνό αποτελούν ξεχωριστή φυλή, προσαρμοσμένη στο συγκεκριμένο ξενιστή (Margaritopoulos *et al.* 1998). Έτσι, ο συνδυασμός μορφομετρικής και μοριακής ανάλυσης απέδωσε στο αρχικό είδος την ορθή ταξινομική θέση και ονομάστηκαν δύο τάξα: το *M. persicae* (Sulzer) *sensu stricto* και *M. persicae* ssp. *nicotianae* Blackman (Margaritopoulos *et al.* 2000, Blackman & Eastop in press).

Οι δύο μορφές που εντοπίστηκαν με την παρούσα έρευνα παρουσιάζουν σαφείς γενετικές διαφορές, γιατί οι μορφολογίες τους, που σχετίζονται με το φυτό-ξενιστή, είναι σταθερές στο χώρο και το χρόνο. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώθηκε με ευρύτερη μορφομετρική ανάλυση που περιελάμβανε τα δείγματα της παρούσας μελέτης μαζί με άλλες τρεις παρθενογενετικές σειρές από την Αγγλία και 26 δείγματα αγρού που συλλέχθηκαν εδώ και 40 χρόνια από διάφορες περιοχές του κόσμου (Margaritopoulos *et al.* 2006). Η ομαδοποίηση που προέκυψε στην εργασία αυτή διαχωρίζει και πάλι την Compositae από τη μη Compositae μορφή, ανεξάρτητα από τη γεωγραφική προέλευση και το χρόνο συλλογής των δειγμάτων, καθώς και από το φυτό εκτροφής των αφίδων στο εργαστήριο. Οι δύο μορφές θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως διαφορετικές φυλές ξενιστή του *A. gossypii* (Drès & Mallet 2002). Διάφοροι συγγραφείς (Rakauskas 2004, Blackman & Eastop in press) υποστήριξαν ότι στην περίπτωση σημαντικών εντομολογικών εχθρών είναι σημαντικό οι ενδοειδικές μορφές με σταθερές, αναγνωρίσιμες και οικονομικά σημαντικές ιδιότητες να προσδιορίζονται στη βιβλιογραφία με επίσημα, ενδεικτικά Λατινικά ονόματα. Είναι γενικώς αποδεκτό ότι στην προκειμένη περίπτωση ενδείκνυται η χρήση της κατηγορίας του υποείδους. Όμως, λόγω της εμφανούς πολυπλοκότητας των

σχέσεων εντός της ομάδας *A. frangulae/gossypii*, προτείνεται ότι χρειάζεται περαιτέρω αποσαφήνιση των σχέσεων ανάμεσα στις δύο μορφές, κυρίως σε σχέση με τον πρωτεύοντα ξενιστή, και επιβεβαίωση του διαχωρισμού με μοριακά εργαλεία. Προς το παρόν επισημαίνεται ότι η *A. gossypii* περιγράφηκε αρχικά από το βαμβάκι στη Β. Αμερική (Glover 1877)· άρα, η μορφή που τρέφεται στα Cucurbitaceae/Malvaceae μπορεί να περιγραφεί ως *A. gossypii* Glover sensu stricto. Αν στο μέλλον αποδειχθεί ότι χρειάζεται κάποιο επίσημο όνομα για τη μορφή που τρέφεται στα Compositae, το πιο κατάλληλο θα ήταν *A. gossypii parvus* Theobald. Το *Aphis parvus* περιγράφηκε σε καλλιεργούμενο χρυσάνθεμο στην Αίγυπτο (Theobald 1915).

Αναμφισβήτητα, ο διαχωρισμός γενοτύπων του *A. gossypii*, προσαρμοσμένων σε διαφορετικούς ξενιστές, και η ύπαρξη μορφολογικών διαφορών ανάμεσα σε αυτούς έχει ταξονομικό και εξελικτικό ενδιαφέρον. Ταυτόχρονα όμως αντανακλά κάποιες πρακτικές και οικολογικές διαστάσεις στη φυτοπροστασία του βαμβακιού.

Εν πρώτοις, είναι δυνατό γειτονικές καλλιέργειες διαφορετικών φυτών που αποικίζονται από γενετικά όμοιες μορφές του είδους να ανταλλάσσουν πληθυσμούς αφίδων. Για παράδειγμα μπορεί το βαμβάκι να γειτνιάζει με άλλα καλλιεργήσιμα Malvaceae (π.χ. μπάμια) ή κολοκυνθοειδή (κολοκύθι, καρπούζι, πεπόνι κ.λπ.), όπως συχνά συμβαίνει στην Ελλάδα. Έτσι, πέρα από τη μετακίνηση πτερωτών αφίδων που προσβάλλουν την καλλιέργεια, εισάγονται και γενοτύποι ανθεκτικοί στη χρήση αφιδοκτόνων που δεν υπήρχαν προηγουμένως στο βαμβάκι. Η ροή αυτή ανθεκτικών γονιδίων θα είχε άμεση προέκταση στην αποτελεσματικότητα της καταπολέμησης των αφίδων σε ένα συγκεκριμένο αγρό βαμβακιού.

Εξάλλου, η συνύπαρξη στην καλλιέργεια του βαμβακιού ζιζανίων-ξενιστών Malvaceae και Cucurbitaceae (π.χ. είδη των γενών *Abutilon*, *Malva*, *Ecballium*, *Hibiscus*), που αποικίζονται από τη μορφή που αποικίζει το βαμβάκι έχει ιδιαίτερη σημασία. Τα φυτά αυτά αποτελούν πηγή αφίδων, αρπακτικών και παρασιτοειδών που είναι δυνατό να μεταφέρονται στα φυτά του βαμβακιού.

Δευτερευόντως, ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα ζιζάνια και τα αυτοφυή φυτά πλησίον της καλλιέργειας ως πηγή πληθυσμών αφίδων. Η μορφή που δεν αποικίζει το βαμβάκι (ή τουλάχιστον εκεί έχει σχετικά χαμηλότερο αναπαραγωγικό δυναμικό), αλλά μόνο ξενιστές Compositae, είναι δυνατό να υπάρχει σε ζιζάνια Compositae εντός της

καλλιέργειας ή αυτοφυή Compositae στα όρια της καλλιέργειας. Σε αυτή την περίπτωση είναι πιθανό τα φυτά αυτά να αποτελέσουν πηγή αφίδων, που θα μετακινηθούν εντός της καλλιέργειας· θα την προσβάλουν και, μολονότι δεν προτιμούν το βαμβάκι, θα προκαλέσουν μακροπρόθεσμα μικρότερες ζημιές. Είναι όμως δυνατό τα αυτοφυή Compositae να αποτελούν πάγια πηγή τροφής για αρπακτικά Coccinellidae και Chrysopidae, καθώς και ξενιστές παρασιτοειδών, ιδίως σε περιόδους που οι αριθμοί των αφίδων ελαττώνονται στην καλλιέργεια, γεγονός που, όπως απέδειξε η παρούσα διατριβή, έχει άμεσο αντίκτυπο στη δυναμική πληθυσμών της αφίδας στο βαμβάκι. Πολύ κοινά στα ελληνικά αγροοικοσυστήματα ανοιξιάτικα και καλοκαιρινά αυτοφυή που έχουν βρεθεί (προσωπική παρατήρηση) να προσβάλλονται από την *A. gossypii* και να φιλοξενούν φυσικούς εχθρούς είναι για παράδειγμα τα *Xanthium spinosum* L., *X. strumarium* L., *Sonchus* spp., *Cirsium arvense* (L.) Scop. κ.λπ.

Παρ' όλα αυτά, για να επιβεβαιωθούν οι παραπάνω υποθέσεις, απαιτείται προηγουμένως η διασαφήνιση της ταξινομικής θέσης της αφίδας. Απαιτούνται ακόμη πειράματα εργαστηρίου για να εξεταστεί η συμπεριφορά διατροφής, και πειράματα αγρού, για να ελεγχθεί η προτίμηση ξενιστή. Όλα αυτά θα ενισχύσουν τυχόν διαφοροποίηση που θα επιβεβαιωθεί με μοριακές μεθόδους.

ΓΕΝΙΚΗ ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μελέτη συνέβαλε στην κατανόηση της κατανομής των πληθυσμών της αφίδας *Aphis gossypii* στο βαμβάκι στην Ελλάδα. Μελετήθηκε η συμβολή των αρπακτικών στον έλεγχο των φυσικών πληθυσμών των αφίδων, τα ιδιαίτερα βιολογικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά τους και, για πρώτη φορά στην Ελλάδα, η δράση τους στην αφίδα σε ελεγχόμενες συνθήκες εργαστηρίου. Επίσης, αποκτήθηκε γνώση για το αναπαραγωγικό δυναμικό της αφίδας *A. gossypii* στο εργαστήριο και, για πρώτη φορά στην Ελλάδα, διαπιστώθηκε ο σημαντικός ρόλος της πυκνότητας τριχώματος στα φύλλα διαφόρων ποικιλιών βαμβακιού στην απόδοση και τη δημογραφία της αφίδας. Τέλος, η μελέτη αποκάλυψε δύο μορφολογικά διακριτές και γενετικά διαφορετικές μορφές της αφίδας, που τρέφονται σε διαφορετικούς ξενιστές και είναι δυνατό να επηρεάζουν τις πληθυσμιακές διακυμάνσεις της αφίδας στο βαμβάκι και έμμεσα τη φυτοπροστασία του βαμβακιού.

Τα αποτελέσματα της μελέτης της δυναμικής των πληθυσμών της αφίδας *A. gossypii* σε γενικές γραμμές συμφωνούν με το πρότυπο των δύο κυμάτων προσβολών της αφίδας στο βαμβάκι στην Ελλάδα. Οι όψιμες προσβολές φαίνεται ότι προκαλούνται είτε από φυσικούς πληθυσμούς, που επαναδραστηριοποιούνται λόγω της τρυφερής βλάστησης είτε από τη θανάτωση των φυσικών εχθρών λόγω χημικών επεμβάσεων εναντίον λεπιδοπτέρων. Οι επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες είναι εν μέρει υπεύθυνες για τις πληθυσμιακές εξάρσεις. Τα αποτελέσματα της διατριβής δεν υποδεικνύουν την ανάγκη αντιμετώπισης των αφίδων σε νεαρά φαινολογικά στάδια του φυτού, αφού αυτό ανακάμπτει γρήγορα λόγω βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων.

Το νέο στοιχείο που προκύπτει από την παρούσα διατριβή σχετικά με την εποχική διακύμανση των πληθυσμών είναι η σχετική καθυστέρηση έναρξης των προσβολών (τέλη Ιουνίου) και κατά τα τρία χρόνια της μελέτης σε σχέση με προηγούμενες μελέτες (Karatos *et al.* 1996, 1994-1998, 1998, Λυκουρέσης και συνεργάτες 1999). Η καθυστέρηση αυτή οφείλεται πιθανώς στην επίδραση των κλιματολογικών συνθηκών κατά τη χειμερινή περίοδο πάνω στους πληθυσμούς των διαχειμαζόντων μορφών.

Μικρότερη καθυστέρηση (μέσα Ιουνίου) παρατηρήθηκε σε μία πιο πρόσφατη μελέτη (Χατζής 2005).

Η παρούσα εργασία αποτελεί την πρώτη λεπτομερή προσέγγιση της διακύμανσης σημαντικών αρπακτικών της αφίδας του βαμβακιού στην Ελλάδα. Το γεγονός της ύπαρξης περιοχών συγκέντρωσης αφίδων και αρπακτικών (ομαδοποιήσεις) επιβεβαιώθηκε με τη χρήση του δείκτη ομαδοποίησης b της εξίσωσης του Taylor (αφίδες και αρπακτικά) και το δείκτη διασποράς k της αρνητικής διωνυμικής κατανομής (αφίδες). Ο μεγάλος βαθμός συνάθροισης αντανακλά περιβαλλοντική ετερογένεια, καθώς και το αποτέλεσμα μετακίνησης πτερωτών αφίδων από παρακείμενους αγρούς, ιδίως των πρώτων εποίκων σε έναν αγρό. Ακόμη, η παρούσα εργασία αποκάλυψε ότι τα αρπακτικά Coccinellidae και Chrysopidae επιδεικνύουν μεγάλη δυνατότητα συγκέντρωσης σε περιοχές με συναθροίσεις αφίδων. Σε περιπτώσεις ύπαρξης «μωσαϊκών» περιοχών αφίδων, οι πληθυσμοί αρπακτικών συναθροίζονται και, δημιουργώντας παρόμοια «μωσαϊκά», ελαχιστοποιούν τον ενδοειδικό ανταγωνισμό, βελτιστοποιώντας την κατανομή των τροφικών αποθεμάτων για επόμενες γενιές και την καλή λειτουργική αντίδραση έναντι των αφίδων. Η αντίδραση των αρπακτικών σε εστίες αφίδων είναι αποτέλεσμα είτε της μακροχρόνιας παραμονής τους σε ένα φύλλο είτε της συσσωρευτικής δράσης πολλών ατόμων που αποικίζουν και μετακινούνται από φυτό σε φυτό. Οι Ives *et al.* (1993) υποστηρίζουν ότι η ατομική αντίδραση αρπακτικών στη λεία είναι ασθενής, ενώ η συσσωρευτική θήρευση σε περιοχές μεγάλης πυκνότητας αφίδων έχει ως αποτέλεσμα τον ικανοποιητικό βιολογικό έλεγχο. Επομένως, η διάσταση αυτή μπορεί να έχει εφαρμογή στη δράση των αρπακτικών που μελετήθηκε στον αγρό, η οποία μπορεί να είναι συσσωρευτική και αρκετά αποτελεσματική επί της αφίδας.

Για πρώτη φορά στην Ελλάδα μελετήθηκαν χωρο-χρονικές συνδέσεις διακυμάνσεων φυσικών πληθυσμών αφίδων και συγκεκριμένων αρπακτικών με ακριβείς μετρήσεις στο βαμβάκι. Υπήρξε γενικά μία στατιστική συμφωνία πληθυσμιακών διακυμάνσεων, υποδηλώνοντας μία σοβαρή ένδειξη ότι τα αρπακτικά που μελετήθηκαν αποτελούν σημαντικό παράγοντα θνησιμότητας της αφίδας, τουλάχιστον σε περιόδους απουσίας επεμβάσεων με εντομοκτόνα. Η γραμμική σχέση πληθυσμών θηράματος και αναλογίας θηράματος / αρπακτικών ενισχύει τη δράση των φυσικών εχθρών, και κυρίως των μη εξειδικευμένων ειδών (generalists), όπως τα μελετώμενα, ως στοιχείο δυναμικής

χωρο-χρονικής σύνδεσης με την αφίδα και ως κρίσιμο παράγοντα βιολογικού ελέγχου των πληθυσμών της, καθώς και την επιβαλλόμενη ορθολογική διαχείρισή τους σε προγράμματα ολοκληρωμένης διαχείρισης εχθρών.

Η παρούσα διατριβή ανέδειξε σημαντικά χαρακτηριστικά της βιολογίας και της δημογραφίας ελληνικών πληθυσμών τριών σημαντικών αρπακτικών. Τόσο τα αποτελέσματα εργαστηρίου, όσο και αυτά του αγρού παρέχουν πληροφορίες για τη σχετική αποτελεσματικότητα του κάθε είδους αρπακτικού που εξετάστηκε. Τα τρία είδη εμφάνισαν διαφορετικά το καθένα δημογραφικά και βιολογικά χαρακτηριστικά. Τα είδη *C. carnea* και *H. convergens* εμφανίζουν περισσότερες γενιές στον αγρό, ενώ το *C. carnea* ωτοκεί νωρίτερα, προστατεύει τα αβγά του από την αρπαγή και παραμένει στον αγρό για μεγαλύτερα διαστήματα. Το *C. septempunctata* μπορεί να ελέγξει ικανοποιητικά μεγάλους πληθυσμούς αφίδων στις πρώιμες προσβολές λόγω της υψηλής αδηφαγίας του και να αποκτήσει συγκριτικό πλεονέκτημα στην προσαρμογή του στον αγρό, λόγω της ενδοειδικής παραλλακτικότητας στην προωτοκία του. Τα άλλα δύο είδη, λόγω της έλλειψης θερινής αναπαραγωγικής διάπαυσης, μπορούν να ελέγχουν πληθυσμούς μέχρι και τέλη καλοκαιριού-αρχές φθινοπώρου, οπότε παρουσιάζονται όψιμες προσβολές της νέας βλάστησης από αφίδες. Ιδίως το *C. carnea* μπορεί να είναι δραστήριο στον αγρό μέχρι αργά το φθινόπωρο, λόγω χημικών ερεθισμάτων που λαμβάνει από τα ώριμα φυτά (Flint *et al.* 1979).

Η παρούσα διατριβή αποκάλυψε ότι οι ποικιλίες βαμβακιού επηρέασαν την απόδοση όσον αφορά το αναπαραγωγικό δυναμικό των αφίδων, και κατά συνέπεια την αύξηση των πληθυσμών τους. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν μία ευθεία συσχέτιση αναπαραγωγικού δυναμικού και πυκνότητας τριχώματος στην κάτω επιφάνεια των φύλλων του βαμβακιού. Οι ποικιλίες στις οποίες οι αφίδες επέδειξαν χαμηλό αναπαραγωγικό δυναμικό διαθέτουν χαμηλή πυκνότητα τριχώματος, ενώ οι πιο ευαίσθητες στην προσβολή αφίδων (υψηλό αναπαραγωγικό δυναμικό) είναι γενικά υψηλής τριχοφυΐας. Στην παρούσα εργασία η παρουσία τριχών δεν επηρέασε αρνητικά τη σχετική προσβολή από την αφίδα, και πιθανώς εμπλέκονται άλλοι παράγοντες. Οι διαφορές που βρέθηκαν αναφορικά με την ευπάθεια των φυτών στις προσβολές αφίδων εξηγήθηκαν εν μέρει μέσω της μελέτης της γενεαλογίας των ποικιλιών, καθώς ποικιλίες

με κοινό πρόγονο εμφάνισαν παρόμοια ομαδοποίηση ως προς την πυκνότητα τριχώματος.

Με την παρούσα μελέτη αποδείχθηκε για την Ελλάδα η ύπαρξη μιας μορφολογικά διαφορετικής και ευρέως διαδεδομένης μορφής του *A. gossypii*, που αποικίζει φυτά της οικογένειας Compositae, στατιστικά διακριτής (Canonical Variates Analysis, CVA) από αυτή που αποικίζει φυτά των οικογενειών Malvaceae και Cucurbitaceae. Οι μορφές που αποικίζουν τις δύο ομάδες φυτών-ξενιστών είναι γενετικά διαφορετικές και μορφολογικά διακριτές και σταθερές στο χώρο και το χρόνο. Οι δύο μορφές θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως διαφορετικές φυλές της *A. gossypii*, ή καλύτερα στη μορφή η οποία τρέφεται στα Compositae θα μπορούσε να γίνει χρήση της ταξινομικής κατηγορίας του υποείδους. Αναμφισβήτητα, ο διαχωρισμός γενοτύπων του *A. gossypii*, προσαρμοσμένων σε διαφορετικούς ξενιστές, και η ύπαρξη μορφολογικών διαφορών ανάμεσα σε αυτούς έχει ταξονομικό και εξελικτικό ενδιαφέρον. Ταυτόχρονα όμως αντανakλά κάποιες πρακτικές και οικολογικές διαστάσεις στη φυτοπροστασία του βαμβακιού, που σχετίζονται με τα φυτά ως πηγές αφίδων για νέες προσβολές και με την ανταλλαγή γονιδίων ανθεκτικότητας στα εντομοκτόνα ανάμεσα σε πληθυσμούς από βαμβάκι και γειτονικά Malvaceae.

Ο συνδυασμός των επιμέρους αποτελεσμάτων της διατριβής παρέχει πρωτότυπη γνώση για τη δυναμική των φυσικών πληθυσμών της αφίδας του βαμβακιού και πληροφορίες για τη δραστηριότητα των φυσικών εχθρών σε συνθήκες αγρού. Τα ιδιαίτερα βιολογικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά κάθε είδους αρπακτικού, σε συνδυασμό με τη χωροταξική τους κατανομή και την εποχική τους δραστηριότητα, επιβάλλουν τη θεώρησή τους όχι ως απομονωμένων ειδών, που επηρεάζουν το αγροοικοσύστημα του βαμβακιού, αλλά ως βιολογικούς παράγοντες που εκδηλώνουν συγκεκριμένη συμπεριφορά εύρεσης τροφής και ασκούν θήρευση με αθροιστική δράση στις αφίδες. Η πιθανότητα για ικανοποιητικό έλεγχο των πληθυσμών των αφίδων χωρίς την ανάγκη χημικών επεμβάσεων είναι υψηλή, διότι τα μελετηθέντα αρπακτικά φαίνεται ότι εκδηλώνουν την προαναφερθείσα αθροιστική θήρευση σε περιόδους με υψηλό βαθμό ομαδοποίησης των αφίδων, που αποδείχθηκε από την εργασία αυτή.

Βέβαια, οι οικολογικές ισορροπίες που περιγράφηκαν διαταράσσονται, ακόμη και στην περίπτωση που δεν εφαρμόζονται αφιδοκτόνα. Και αυτό γιατί στην Ελλάδα

εφαρμόζονται συστηματικά (μερικές φορές αλόγιστα και μη αιτιολογημένα) άλλα εντομοκτόνα υψηλής τοξικότητας (π.χ. πυρεθροειδή, οργανοφωσφορικά) εναντίον των λεπιδοπτέρων εχθρών του βαμβακιού. Τότε, είναι φυσικό η εικόνα των συσχετίσεων που περιγράφηκε ανάμεσα σε αρπακτικά και αφίδες να αλλάζει. Εδώ, θα βοηθούσε η ορθολογική αντιμετώπιση τέτοιων εχθρών στα πλαίσια της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης με εφαρμογή εναλλακτικών και περιβαλλοντικά ήπιων μεθόδων αντιμετώπισης.

Η μελέτη αποκαλύπτει επίσης τη σημαντική πιθανότητα τα ελληνικά αγροοικοσυστήματα βαμβακιού να εμπλουτίζονται από πληθυσμούς της *A. gossypii*, που μετακινούνται από άλλες καλλιέργειες Malvaceae και Cucurbitaceae. Οι πληθυσμοί αυτοί δεν ανταλλάσσονται μόνο με τους εγκατεστημένους πληθυσμούς, αλλά αποτελούν πηγή εισαγωγής γενοτύπων ανθεκτικών σε εντομοκτόνα, που δυνητικά προκαλούν ευρεία ανάπτυξη και εξάπλωση ανθεκτικότητας, δεδομένης και της παρθενογενετικής αναπαραγωγής του είδους στην Ελλάδα.

Στην αξιοποίηση των παραπάνω στοιχείων προς όφελος της φυτοπροστασίας του βαμβακιού συνεπικουρεί και η σημασία του τριχώματος των φύλλων του βαμβακιού στο αναπαραγωγικό δυναμικό των αφίδων. Η παρούσα μελέτη προτείνει ότι η ανάπτυξη και χρήση λειόφυλλων ποικιλιών βαμβακιού είναι δυνατό να μειώσει τις προσβολές από αφίδες, σε σχέση με άλλες ποικιλίες υψηλής πυκνότητας τριχώματος.

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης έγινε προσέγγιση του θέματος της δυναμικής πληθυσμών της αφίδας με ενδιαφέροντα νέα στοιχεία. Ωστόσο, υπάρχουν θέματα που άπτονται του αντικειμένου της διατριβής που δεν κατέστη δυνατό να αξιολογηθούν επαρκώς, για την αποσαφήνιση των οποίων απαιτείται περαιτέρω μελέτη. Ειδικότερα, η μελέτη αυτή θα μπορούσε να περιλαμβάνει: 1) Λεπτομερέστερη πληθυσμιακή μελέτη και εφαρμογή μοντέλων αλληλεπιδράσεων αφίδων-αρπακτικών, που απαιτούν: μελέτη δημογραφικών στοιχείων στον αγρό, εντοπισμό / μέτρηση παραγόντων θνησιμότητας, καταγραφή γεννήσεων-θανάτων, καθώς και πειραματισμό εργαστηρίου, σχετικά με την αποτελεσματικότητα εύρεσης λείας (searching efficiency), χρόνο εύρεσης (searching time) και χρόνο χειρισμού (handling time) του θηράματος. 2) Πειράματα εργαστηρίου σχετικά με τη συμπεριφορά διατροφής και τη θρέψη της αφίδας *A. gossypii*, με στόχο να διερευνηθεί η πηγή της ανθεκτικότητας ποικιλιών διαφορετικής τριχοφυΐας (π.χ. αντιβίωση, αντιξένοση ή ανοχή). 3) Αποσαφήνιση της ταξινομικής θέσης της αφίδας *A.*

gossypii, δεδομένης της μορφολογικής παραλλακτικότητας που βρέθηκε, με διεξαγωγή πειραμάτων εργαστηρίου για συμπεριφορά διατροφής και πειράματα αγρού για προτίμηση ξενιστή με τη συμβολή μοριακών μεθόδων.

Συνοψίζοντας, τονίζουμε ότι η εξάπλωση των πληθυσμών της αφίδας *A. gossypii* στο βαμβάκι γίνεται κυρίως μέσω συναθροίσεων (πρότυπα υπερδιασποράς αφίδων) και όχι τυχαία ή ομοιόμορφα, τουλάχιστον στις μεγάλες πυκνότητες. Η εξάπλωση στον αγρό και η εποχική διακύμανση των αρπακτικών που μελετήθηκαν, ακολουθεί αυτή των αφίδων, γεγονός που τα αναδεικνύει ως σημαντικό παράγοντα φυσικού βιολογικού ελέγχου της αφίδας σε συνθήκες αγρού. Επίσης, η ανισοκατανομή των αφίδων στο φυτό έχει άμεση επίπτωση στην εφαρμογή χημικών επεμβάσεων, οι οποίες πρέπει να συνοδεύονται με παρακολούθηση των πληθυσμών αφίδων και αρπακτικών μέσω δειγματοληψιών.

Τέλος, η δυναμική των φυσικών πληθυσμών επιζήμιων και ωφελίμων εντόμων της καλλιέργειας του βαμβακιού είναι πολυπαραγοντική και δύσκολα περιγράφεται με ακρίβεια. Η μελέτη της όμως σαφώς συμβάλλει στην ευρύτερη γνώση της καλλιέργειας, καθώς και στην ανάπτυξη στρατηγικών αντιμετώπισης στα πλαίσια της ολοκληρωμένης διαχείρισης εχθρών των φυτών.

Βιβλιογραφία

- Ahmad, M., Arif, M.I. & Denholm, I. (2003) High resistance of field populations of the cotton aphid *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) to pyrethroid insecticides in Pakistan. *Journal of Economic Entomology* **96**, 875-878.
- Albuquerque, G.S., Tauber, C.A. & Tauber, M.J. (1994) *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae): Life history and potential for biological control in Central and South America. *Biological Control* **4**, 8-13.
- Alvarado, P., Balta, O. & Alomar, O. (1997) Efficiency of four Heteroptera as predators of *Aphis gossypii* and *Macrosiphum euphorbiae* (Hom.: Aphididae). *Entomophaga* **42**, 215-226.
- Ανώνυμος (1999) Βαμβάκι 2000: Ποικιλίες βαμβακιού στην ελληνική αγορά το 1999. *Γεωργική Τεχνολογία* **2/1999**, 142-150.
- Ανώνυμος (2004) Διατιθέμενες ποικιλίες και υβρίδια βαμβακιού στην Ελλάδα. *Γεωργία-Κτηνοτροφία* **10/2004**, 72-79.
- Αργυρίου, Α. (1967) Τα κοκκοειδή της ελιάς τα σημειωθέντα εν Ελλάδι και τα εντομοφάγα έντομα τούτων. *Χρονικά Μπενακείου Φυτοπαθολογικού Ινστιτούτου (Ν.Σ.)* **8**, 69-76.
- Athhan, R., Kaydan, B. & Özgökçe, M.S. (2004) Feeding activity and life history characteristics of the generalist predator, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) at different prey densities. *Journal of Pest Science* **77**, 17-21.
- Avgoulas, C. & Koutrou, A. (1997) Cotton, pp. 85-117 in Mergos, G. & Papageorgiou, K. (Eds) *Developments and perspectives in the agricultural sector*. Athens, Greece, Stamoulis.
- Avgoulas, C., Bouza, L., Koutrou, A., Papadopoulou, S., Kosmas, S., Makridou, E., Papastylianou, P. & Bilalis, D. (2005) Evaluation of five most commonly grown cotton cultivars (*Gossypium hisrutum* L.) under Mediterranean conditions: productivity and fibre quality. *Journal of Agronomy & Crop Science* **191**, 1-9.
- Badenhausser, I. (1994) Spatial patterns of alate and apterous morphs of *Brachycaudus helichrysi* (Homoptera: Aphididae) in sunflower fields. *Environmental Entomology* **23**, 1381-1390.

- Ballal, C.R. & Singh, S.P. (1999) Host plant-mediated orientational and ovipositional behavior of three species of chrysopids (Neuroptera: Chrysopidae). *Biological Control* **16**, 47-53.
- Banks, C.J. (1957) The behaviour of individual Coccinellid larvae on plants. *British Journal of Animal Behaviour* **5**, 12-24.
- Bansch, R. (1964) Vergleichende Untersuchungen zur Biologie und zum Beutefangverhalten aphidovorer Coccinelliden, Chrysopiden und Syrphiden. *Journal of Systematic Zoology* **91**, 271-340.
- Berryman A.A. (1981) *Population systems: a general introduction*. New York, Plenum Press.
- Birch, L.C. (1948) The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *Journal of Animal Ecology* **17**, 15-26.
- Blackman, R.L. (1967) Selection of aphid prey by *Adalia bipunctata* L. and *Coccinella 7-punctata* L. *Annals of Applied Biology* **59**, 331-338.
- Blackman, R.L. (1971) Variation in the photoperiodic response within natural populations of *Myzus persicae* (Sulzer). *Bulletin of Entomological Research* **60**, 533-546.
- Blackman, R. (1974) *Aphids*. London and Aylesbury, Ginn & Company Ltd.
- Blackman, R.L. (1980) Chromosomes and parthenogenesis in aphids. pp. 133-148 in Blackman, R.L., Hewitt, G.M. & Ashburner, M. (Eds) *Insect Cytogenetics*. Oxford, Blackwell.
- Blackman, R.L. (1987) Morphological discrimination of a tobacco-feeding form from *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae), and a key to New World *Myzus* (*Nectarosiphon*) species. *Bulletin of Entomological Research* **77**, 713-730.
- Blackman, R.L. (1992) The use of ordination techniques to discriminate within aphid species complexes. pp. 261-275 in Sorensen, J.T. & Footitt, R. (Eds) *Ordination in the Study of Morphology, Evolution and Systematics of Insects*. Amsterdam, Elsevier.
- Blackman, R.L. & De Boise, E. (2002) Morphometric correlates of karyotype and host plant in genus *Euceraphis* (Hemiptera: Aphididae). *Systematic Entomology* **27**, 323-335.

- Blackman, R.L. & Eastop, V.F. (2000) *Aphids on the World's Crops. An Identification and Information Guide. Second Edition*. Chichester, UK, John Wiley and Sons, Ltd.
- Blackman, R.L. & Eastop, V.F. (2006) Taxonomic Issues in van Emden, H.F. & Harrington, R. (Eds) *Aphids as Crop Pests*. Wallingford, U.K., CAB International (in press).
- Blackman, R.L. & Spence, J.M. (1992) Electrophoretic distinction between the peach-potato aphid *Myzus persicae* and the tobacco aphid *Myzus nicotianae* (Homoptera: Aphididae). *Bulletin of Entomological Research* **82**, 161-165.
- Blackman, R.L. & Spence, J.M. (1994) The effects of temperature on aphid morphology, using a multivariate approach. *European Journal of Entomology* **91**, 7-22.
- Bliss, C.I. & Fisher, R.A. (1953) Fitting the negative binomial distribution to biological data and note on the efficient fitting of the negative binomial. *Biometrics* **9**, 176-200.
- Bondada, B.R. & Oosterhuis, D.M. (2000) Comparative epidermal ultrastructure of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaf, bract and capsule wall. *Annals of Botany* **86**, 1143-1152.
- Bradow, J.M. & Bauer, P.J. (1998) How genotype and temperature modify yarn properties and dye uptake. pp. 1070-1073 in Constable, G., McStewart, J., Oosterhuis, D., Russel, D., Bragg, C. & Gillham, F. (Eds) *Proceedings of the World Cotton Research Conference 2, September 6-12 1998, Athens, Greece*. Thessaloniki, Greece, P. Petridis.
- Breiman, L., Friedman, J.H., Olson, R.A., & Stone, C.J. (1984) *Classification and Regression Trees*. Belmont, CA, Wadsworth.
- Burke, H.R. & Martin, D.F. (1956) The biology of three chrysopid predators of the cotton aphid. *Journal of Economic Entomology* **49**, 698-700.
- Burrage, S.W. (1971) The microclimate at the leaf surface. pp. 91-101 in Preece, T.F. & Diekinson, C.H. (Eds) *Biology of Leaf Surface Organisms*. London, Academic.
- Butler, G.D.Jr & Henneberry, T.J. (1984) *Bemisia tabaci*: effect of cotton leaf pubescence on abundance. *Southwestern Entomologist* **9**, 91-94.
- Butler, G.D.Jr., Wilson, F.D. & Fisher, G. (1991) Cotton leaf trichome and populations of *Empoasca lybica* and *Bemisia tabaci*. *Crop Protection* **10**, 461-464.

- Butts, R.A. & Schaalje, G.B. (1994) Spatial distribution of fall populations of Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) in winter wheat. *Journal of Economic Entomology* **87**, 1230-1236.
- Campbell, C.A.M. & Cone, W.W. (1999) Consumption of Damson-hop aphids (*Phorodon humuli*) by larvae of *Coccinella transversoguttata* and *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Biocontrol Science and Technology* **9**, 75-78.
- Canard, M. & Laudeho, Y. (1977) Les Névroptères captures au piège de McPhail dans les oliviers en Grèce. 1: l'île d' Agoustri. *Biologia Gallo-hellenica* **7**, 65-75.
- Canard, M. & Laudeho, Y. (1980) Les Névroptères captures au piège de McPhail dans les oliviers en Grèce. 2: Région d' Akrefnion. *Biologia Gallo-hellenica* **9**, 139-146.
- Canard, M. & Principi, M.M. (1984) Life histories and behaviour. pp.57-149 in Canard, M. Séméria, Y. & New, T.R. (Eds) *Biology of Chrysopidae (Series Entomologica vol. 27)*. The Netherlands, The Hague, Dr. W. Junk Publishers.
- Carver, M. (1989) Biological control of aphids. pp. 141-165 in Minks, A.K. & Harrewijn, P. (Eds) *World Crop Pests. Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control. Volume 2C*. The Netherlands, Elsevier.
- Celini, L. & Vaillant, J. (2004) A model of temporal distribution of *Aphis gossypii* Glover (Hem., Aphididae) on cotton. *Journal of Applied Entomology* **128**, 133-139.
- Chang, G.C. (1996) Comparison of single versus multiple species of generalist predators for biological control. *Environmental Entomology* **25**, 207-212.
- Chang, Y.F., Tauber, M.J., Tauber, C.A. & Nyrop, J.P. (2000) Interpopulation variation in *Chrysoperla carnea* reproduction: implications for mass-rearing and storage. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **95**, 293-302.
- Chapman, R.F. (1998) *The insects: structure and function. Fourth Edition*. UK, Cambridge University Press.
- Chen, T-Y. & Liu, T.X. (2001) Relative consumption of three aphid species by the lacewing *Chrysoperla rufilabris* and effects on its development and survival. *BioControl* **46**, 481-491.
- Chilima, C.Z. & Leather, S.R. (2001) Within-tree and seasonal distribution of the pine woolly aphid *Pineus boernerii* on *Pinus kesiya* trees **3**, 139-145.

- Chu, C.-C., Freeman, T.P. Buckner, J.S., Henneberry, T.J., Nelson, D.R. & Natwick, E.T. (2001) Susceptibility of upland cotton cultivars to *Bemisia tabaci* biotype B (Homoptera: Aleyrodidae) in relation to leaf age and trichome density. *Annals of the Entomological Society of America* **94**, 743-749.
- Cineros, J.J. & Godfrey, L.D. (2001) Midseason pest status of the cotton aphid (Homoptera: Aphididae) in California cotton: Is nitrogen a key factor? *Environmental Entomology* **30**, 501-510.
- Clancy, D.W. (1946) The insects parasites of the Chrysopidae (Neuroptera). *University of California Publications in Entomology* **7**, 403-496.
- Cohen, D. (1966) Optimizing reproduction in a randomly varying environment. *Journal of Theoretical Biology* **12**, 119-129.
- Collins, J.K., Perkins-Veazie, P., Maness, N. & Cartwright, B. (1994) Resistance on muskmelon cultivars to melon aphid. *Hortiscience* **29**, 1367.
- Cottier, W. (1953) Aphids of New Zealand. *Bulletin of New Zealand Department of Scientific Industrial Research* **106**, 382.
- Cotton World Statistics (2005) *Bulletin of the International Cotton Advisory Committee (ICAC)*. Washington, ICAD.
- Coyle, G.G. & Smith, C.W. (1997) Combining ability for within-boll yield components in cotton, *Gossypium hisrutum* L. *Crop Science* **37**, 1118-1122.
- Dean, G.J.W. (1973) Distribution of aphids in spring cereals. *Journal of Applied Ecology* **10**, 447-462.
- Deguine, J.P., Goze, E. & Leclant, F. (2000) The consequences of late outbreaks of the aphid *Aphis gossypii* in cotton growing in central Africa: towards a possible method for the prevention of cotton stickiness. *International Journal of Pest Management* **46**, 85-89.
- Diehl, S.R. & Bush, G.L. (1984) An evolutionary and applied perspective of insect biotypes. *Annual Review of Entomology* **29**, 471-504.
- Dixon, A.F.G. (1959) An experimental study of the searching behaviour of the predatory coccinellid beetle *Adalia decempunctata* (L.). *Journal of Animal Ecology* **28**, 259-281.
- Dixon, A.F.G. (1973) Metabolic acclimatization to seasonal changes in temperature in

- sycamore aphid *Drepanosiphum platanooides* (SCHR) and lime aphid *Eucallipterus tiliae* L. *Oecologia* **13**, 205-210.
- Dixon, A.F.G. (1985) *Aphid Ecology*. Glasgow, UK, Blackie & Son Ltd.
- Dixon, A.F.G. (1987) Parthenogenetic reproduction and the rate of increase in aphids. pp. 269-287 in Minks, A.K. & Harrewijn, P. (Eds) *Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control*. Amsterdam, Elsevier.
- Dixon, A.F.G. (1998) *Aphid Ecology. Second Edition*. London, Chapman & Hall.
- Dixon, A.F.G., Hemptinne, J.L. & Kindlmann, P. (1997) Effectiveness of ladybirds as biological control agents: Patterns and processes. *Entomophaga* **42**, 71-83.
- Dixon, A.F.G. & Guo, Y. (1993) Egg and cluster size in ladybird beetles (Coleoptera: Coccinellidae): the direct and indirect effects of aphid abundance. *European Journal of Entomology* **90**, 457-463.
- Dixon, A.F.G. & Kindlmann, P. (1990) Role of plant abundance in determining the abundance of herbivorous insects. *Oecologia (Berlin)* **83**, 281-283.
- Drès, M. & Mallet, J. (2002) Host races in plant-feeding insects and their importance in sympatric speciation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* **357**, 471-492.
- Du, L., Ge, F., Zhu S.R. & Parajulee, M.N. (2004) Effect of cotton cultivar on development and reproduction of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) and its predator *Propylaea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Economic Entomology* **97**, 1278-1283.
- Eastop, V.F. (1958) *A study of the Aphididae of East Africa*. HMSO London, Colonial Research Publication.
- ElHag, E.T.A. & Zaitoon, A.A. (1996) Biological parameters for four coccinellid species in Central Saudi Arabia. *Biological Control* **7**, 316-319.
- Elleman, C.J. & Entwistle, P.F. (1982) A study of glands on cotton responsible for the high pH and cation concentration of the leaf surface. *Annals of Applied Biology* **100**, 553-558.
- Elliot, J.M. (1977) *Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates. Second Edition*. Ambleside, UK, Freshwater Biological Association.

- Elliot, N.C. & Kieckheffer, R.W. (1990) Dynamics of aphidophagous coccinellid assemblages in small grain fields in eastern South Dakota. *Environmental Entomology* **19**, 1320-1329.
- Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος (1999) <http://www.esye.gr>
- Φασούλας, Α.Κ. (1979) *Στοιχεία πειραματικής στατιστικής*. Θεσσαλονίκη, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
- Feng, M-G. & Nowierski, R.M. (1992) Spatial distribution and sampling plans for four species of cereal aphids (Homoptera: Aphididae) infesting spring wheat in southwestern Idaho. *Journal of Economic Entomology* **85**, 830-837.
- Field, L.M., Javed N., Stribley M.F. & Devonshire A.L. (1994) The peach-potato aphid *Myzus persicae* and the potato aphid *Myzus nicotianae* have the same esterase-based mechanisms of insecticide resistance. *Insect Molecular Biology* **3**, 143-148.
- Fisher, R.A. (1936) The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of Eugenics* **7**, 179-188.
- Fleschner, C.A. (1950) Studies on searching capacity of the larvae of three predators of the citrus red mite. *Hilgardia* **20**, 233-265.
- Flint, H.M., Salter, S.S. & Walters, S. (1979) Caryophyllene: an attractant for the green lacewing. *Environmental Entomology* **8**, 1123-1125.
- Footit, R.C. & Bonen L. (1990) Analysis of aphid species using mitochondrial DNA techniques. in Peters, D.C., Webster, J.A. & Chlouber, C.S. (Eds) *Proceedings, aphid-plant interactions: populations to molecules*. Oklahoma State University, Stillwater.
- Francis, F., Haubruge, E. & Gaspar, C. (2000) Influence of host plants on specialist/generalist aphids and on the development of *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *European Journal of Entomology* **97**, 481-485.
- Francis, F., Haubruge, E., Hastir, P. & Gaspar, C. (2001) Effect of aphid host plant on development and reproduction of the third trophic level, the predator *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Environmental Entomology* **30**, 947-952.
- Frazer, B.D. (1988) Coccinellidae. Pp. 231-247 in Minks, A.K. & Harrewijn, P. (Eds) *World Crop Pests, 2B. Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control. Volume B*. Elsevier.

- Frazer, B.D. & McGregor, R.R. (1992) Temperature-dependent survival and hatching rate of eggs of seven species of Coccinellidae. *The Canadian Entomologist* **124**, 305-312.
- Fuentes-Contreras, E., Figueroa, C.C., Reyes, M., Briones, L.M. and Niemeyer, H.M. (2004) Genetic diversity and insecticide resistance of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) populations from tobacco in Chile: evidence for the existence of a single predominant clone. *Bulletin of Entomological Research* **94**, 11-18.
- Fujiwara, C. & Nomura, M. (1999) Effects of photoperiod and temperature on larval development of *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae). *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology* **43**, 175-179.
- Gaddum J.H. (1945) Lognormal distributions. *Nature* **156**, 463 -466.
- Γαλανοπούλου-Σενδουκά, Σ. (1995) *Ειδική Γεωργία ΙΙ. Πανεπιστημιακές σημειώσεις*. Βόλος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Giles, K.L., Madden, R.D., Stockland, R., Payton, M.E. & Dillwith, J.W. (2002) Host plants affect predator fitness via the nutritional value of herbivore prey: Investigation of a plant-aphid-ladybeetle system. *BioControl* **47**, 1-21.
- Glover, T. (1877) Homoptera. p. 86 in *Report of the Commissioner of Agriculture for 1876*. Washington D.C., Government Printing Office.
- Godfrey, L.D. & Chaney, W.E. (1995) Temporal and spatial distribution patterns of aphids (Homoptera: Aphididae) on celery. *Journal of Economic Entomology* **88**, 294-301.
- Gormus, O. (2002) Effects of rate and time of potassium application on cotton yield and quality in Turkey. *Journal of Agronomy and Crop Science* **188**, 382-388.
- Grafton-Cardwell, E.E. (1991) Geographical and temporal variation in response to insecticides in the various life stages of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) infesting cotton in California. *Journal of Economic Entomology* **84**, 741-749.
- Green, C.C. & Culp, T.W. (1990) Simultaneous improvement of yield, fiber quality and yarn strength in upland cotton. *Crop Science* **30**, 66-69.
- Guldemon, A.J., Tigges, W.T. & de Vrijer, P.W.F. (1994) Host races of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) on cucumber and chrysanthemum. *Environmental Entomology* **23**, 1235-1240.

- Hagen, K.S. (1962) Biology and ecology of predaceous Coccinellidae. *Annual Review of Entomology* **7**, 289-326.
- Harland, S.C. (1932) Note on resistance to cotton leaf blister mite with special reference to budded cottons and to cotton hybrids. *West Indian Bulletin* **16**, 78-82.
- Harrison, S.P. & Cappuccino, N. (1995) Using density-manipulation experiments to study population regulation. pp. 131-147 in Cappuccino, N. & Price, P.W. (Eds) *Population dynamics*. San Diego, California, Academic Press.
- Heie, O.E. (1986) The Aphidoidea (Hemiptera) of Fennoscandia and Denmark. III. Family Aphididae: Subfamily Pterocommatinae and Tribe Aphidini of Subfamily Aphidinae. *Fauna entomologica scandinavica* Volume 17. Leiden-Copenhagen, E.J. Brill/Scandinavian Science Press Ltd.
- Heinz, K.M. & Zalom, F.G. (1995) Variation in trichome-based *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) oviposition on tomato. *Journal of Economic Entomology* **88**, 1494-1502.
- Henry, C.S. & Wells, M.L.M. (2004) Adaptation or random change? The evolutionary response of songs to substrate properties in lacewings (Neuroptera: Chrysopidae: *Chrysoperla*). *Animal Behaviour* **68**, 879-895.
- Henry, C.S., Brooks, S.J., Duelli, P. & Johnson, J.B. (2002) Discovering the true *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Insecta: Neuroptera: Chrysopidae) using song analysis, morphology, and ecology. *Annals of the Entomological Society of America* **95**, 172-191.
- Henry, C.S., Brooks, S.J., Duelli, P. & Johnson, J.B. (2003) A lacewing with the wanderlust: the European song species 'Maltese', *Chrysoperla agilis* sp. n., of the *carnea* group of *Chrysoperla* (Neuroptera: Chrysopidae). *Systematic Entomology* **28**, 131-148.
- Henry, C.S., Wells, M.L.M. & Simon, C.M. (1999) Convergent evolution of courtship songs among cryptic species of the *carnea* group of green lacewings (Neuroptera: Chrysopidae: *Chrysoperla*). *Evolution* **53**, 1165-1179.
- Higuchi, H. & Miyazaki, M. (1969) A tentative catalogue of host plants of Aphidoidea in Japan. *Insecta Matsumurana* **5** (Suppl.), 1-66.

- Hodek I. (1966) Voltinism and diapause in aphidophagous insects. pp. 97-102 in Hodek, I. (Ed) *Ecology of aphidophagous insects*. Prague, Junk, The Hague, Academia.
- Hodek, I. (1973) *Biology of Coccinellidae*. Prague, Junk, The Hague, Academia.
- Hodek, I. & Honěk, A. (1996) *Ecology of Coccinellidae*. Dordrecht, The Netherlands. Kluwer Academic Publishers.
- Hodek, I. & Ruzicka, Z. (1979) Photoperiodic response in relation to diapause in *Coccinella septempunctata* (Coleoptera). *Acta Entomologica Bohemoslovaca* **76**, 209-218.
- Hodek, I., Hodkova, M. & Semyanov, V.P. (1989) Physiological state of *Coccinella septempunctata* adults from northern Greece sampled in mid-hibernation. *Acta Entomologica Bohemoslovaca* **86**, 241-251.
- Hoffmann, M.P. & Frodsham, A.C. (1993) *Natural Enemies of Vegetable Insect Pests*. Ithaca, New York, Cooperative Extension, Cornell University.
- Holling, C.S. (1959) Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Canadian Entomologist* **91**, 385-398.
- Hölzel, H. (1970). Zur generischen Klassifikation der pallarktischen Chrysopinae. Eine neue Gattung und zwei neue Untergattungen der Chrysopidae (Planipennia). *Zeitschrift der Arbeitsgemeinschaft Osterreichischer Entomologen* **22**, 44-52.
- Honěk, A. (1978) Trophic regulation of postdiapause ovariole maturation in *Coccinella septempunctata* (Col.: Coccinellidae). *Entomophaga* **23**, 212-216.
- Honěk, A. & Kocourek, F. (1988) Thermal requirements for development of aphidophagous Coccinellidae (Coleoptera), Chrysopidae, Hemerobiidae (Neuroptera), and Syrphidae (Diptera): some general trends. *Oecologia* **76**, 455-460.
- Ilharco, F.A. & van Harten, A. (1987) Systematics. pp. 51-77 in Minks, A.K. & Harrewijn, P. (Eds) *Aphids. Their Biology, natural enemies and control*. Volume A., Amsterdam, Elsevier.
- Inaizumi, M. (1980) Studies of the life-cycle and polymorphism of *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Special Bulletin of the College of Agriculture, Utsunomiya University* **37**, 1-32.
- Ioannidis, P.M. (1999) Insect pest problems in Greece. pp. 36-49 in Denholm, I. &

- Ioannidis, P.M. (Eds) *Combating insecticide resistance (Proceedings of an ENMARIA meeting)*. Athens, Greece, Agrotipos SA.
- Ives, A.R., Kareiva, P. & Perry, R. (1993) Response of a predator to variation in prey density at three hierarchical scales: lady beetles feeding on aphids. *Ecology* **74**, 1929-1938.
- Jaenike, J. (1981) Criteria for ascertaining the existence of host races. *American Naturalist* **117**, 830-834.
- Jöhnssen, A. (1930) Contribution to the development and nutritional biology of native coccinellids from special reference for *Coccinella septempunctata* L. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* **16**, 87-158 (in German with English abstract).
- Kabissa, J.C.B., Kayumbo, H.Y. & Yarro, J.G. (1996) Seasonal abundance of chrysopids (Neuroptera: Chrysopidae) preying on *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) and *Aphis gossypii* (Glover) (Homoptera: Aphididae) on cotton in eastern Tanzania. *Crop Protection* **15**, 5-8.
- Kailidis, D.S. (1962) Observations on the biology and control of the pine processionary caterpillar (*Thaumetopea pityocampa* Schiff.) in Attica, Greece. *Forest Research Institute of Athens Bulletin* **7**, 59-77.
- Kan, E. & Sasakawa, M. (1986) Assessment of the maple aphid colony by the hoverfly *Episyrphus balteatus* (de Geer) (Diptera: Syrphidae) I. *Journal of Ethology* **4**, 121-127.
- Kapatos, E.T., Sahinoglou, A. & Stratopoulou, E.T. (1998) The population dynamics of *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) on cotton, in Greece. pp. 717-720 in *Proceedings of World Cotton Research Conference-2, Vol. II, 6-12 September 1998*, Athens, Greece.
- Kapatos, E.T., Stratopoulou, E.T., Sahinoglou, J.A., Tsitsipis, J.A. & Lykouressis, D.P. (1996) Development of an optimum sampling plan for the population of *Aphis gossypii* (Hom., Aphididae) on cotton in Greece. *Journal of Applied Entomology* **120**, 245-248.
- Kapatos, E.T., Stratopoulou, E.T., Tsitsipis, J.A., Lykouressis, D.P. & Alexandri, M.P. (1994-1998) The spatial pattern of *Aphis gossypii* on cotton. *Entomologia Hellenica* **12**, 23-29.

- Karagounis, C., Kourdoumbalos, A.K., Margaritopoulos, J.T, Nanos, G.D. & Tsitsipis, J.A. (2006) Organic farming-compatible insecticides against the aphid *Myzus persicae* (Sulzer) in peach orchards. *Journal of Applied Entomology* **130**, 150-154.
- Karandinos, M.G. (1976) Optimum sample size and comments on some published formulae. *Bulletin of Entomological Society of America* **22**, 417-421.
- Katsarou, I., Margaritopoulos, J.T., Tsitsipis, J.A., Perdikis, D.Ch. & Zarpas, K.D. (2005) Effect of temperature on development, growth and feeding of *Coccinella septempunctata* and *Hippodamia convergens* reared on the tobacco aphid, *Myzus persicae nicotianae*. *BioControl* **50**, 565-588.
- Katsoyannos, P., Kontodimas, D.C. & Stathas, G.J. (1997a) Summer diapause and winter quiescence of *Coccinella septempunctata* (Col. Coccinellidae) in central Greece. *Entomophaga* **42**, 483-491.
- Katsoyannos, P., Stathas, G.J. & Kontodimas, D.C. (1997b) Phenology of *Coccinella septempunctata* (Col.: Coccinellidae) in central Greece. *Entomophaga* **42**, 435-444.
- Kavallieratos, N.G., Tomanović, Ž., Starý, P., Athanassiou, C.G., Sarlis, P. Petrović, O., Nicetić, M.G. & Anagnou-Veroniki, M. (2004) A survey of aphid parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) of Southeastern Europe and their aphid-plant associations. *Applied Entomology and Zoology* **39**, 527-563.
- Kean, J., Wratten, S., Tylianakis, J. & Barlow, N. (2003) The population consequences of natural enemy enhancement, and implications for conservation. *Ecology Letters* **6**, 604-612.
- Kerns D.L. & Gaylor M.J. (1992) Insecticide resistance in field populations of the cotton aphid (Homoptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology* **85**, 1-8.
- Kerns, D.L. & Gaylor, M.J. (1993) Induction of cotton aphid outbreaks by insecticides in cotton. *Crop Protection* **12**, 387-393.
- Khan, M.M.H., Kundu, R. & Alam, M. Z. (2000) Impact of trichome density on the infestation of *Aphis gossypii* Glover and incidence of virus disease in ashgourd [*Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn.]. *International Journal of Pest Management* **46**, 201-204.

- Kimmins, D.E. (1964) The British species of the genus *Athripsodes*, with comments on the species described by Stephens (Trichoptera, Leptoceridae). *Entomologist's Gazette* **15**, 153-180.
- Kindlmann, P. & Dixon, A.F.G. (1993) Optimal foraging in ladybird beetles (Coleoptera: Coccinellidae) and its consequences for their use in biological control. *European Journal of Entomology* **90**, 443-450.
- Kindlmann, P. & Dixon, A.F.G. (1999) Generation time ratios-determinants of prey abundance in insect predator-prey interactions. *Biological Control* **16**, 133-138.
- Kring, J.B. (1959) The life cycle of the melon aphid *Aphis gossypii* Glover, an example of facultative migration. *Annals of the Entomological Society of America* **52**, 284-286.
- Krzanowski, W.J. (1990) *Principles of Multivariate Analysis*. Oxford, Clarendon Press.
- Lamana, M.L. & Miller, J.C. (1995) Temperature-dependent development in a polymorphic ladybeetle, *Calvia quatuordecimguttata* (Coleoptera, Coccinellidae). *Annals of the Entomological Society of America* **88**, 785-790.
- Lanzoni, A., Accinelli, G., Bazzocchi, G. & Burgio, G. (2004) Biological traits and life table of the exotic *Harmonia axyridis* compared with *Hippodamia variegata*, and *Adalia bipunctata* (Col., Coccinellidae). *Journal of Applied Entomology* **128**, 298-306.
- Larsson, S., Bjorkman, C. & Kidd, N.A.C. (1993) Outbreaks in diprionid sawflies: Why some species and not others? pp. 453-483 in Wagner, M.R. & Raffa, K.F. (Eds) *Sawfly life history adaptations to woody plants*. San Diego, CA, Academic Press.
- Lazzari S.M.N. & Voegtlin, D.J. (1993) Morphological variation in *Rhopalosiphum padi* and *R. insertum* (Homoptera: Aphididae) related to host-plant and temperature. *Annals of the Entomological Society of America* **86**, 26-36.
- Leclant, F. & Deguine, J.P. (1994) Aphids (Hemiptera: Aphididae). pp. 285-323 in Mathews, G.A. & Tunstall, J.P. (Eds) *Insect pests of cotton*. Wallingford, UK, CAB Publishing.
- Lees, A.D. (1966) The control of polymorphism in aphids. *Advanced Insect Physiology* **3**, 207-277.
- Leonard, M.D, Walker H.G. & Enari, L. (1971) Host-plants of *Aphis gossypii* at Los

- Angeles State and County Arboretum, Arcadia, California (Homoptera: Aphididae). *Proceedings of the Entomological Society of Washington* **74**, 9-16.
- Li, Z.H, Lammes, F., van Lenteren, J.C., Huisman, P.W.T., van Vianen, A. & De Ponti, O.M.B. (1987) The parasite-host relationship between *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) and *Trialeurodes vaporarium* (Homoptera: Aleyrodidae) XXV. Influence of leaf structure on the searching activity of *Encarsia formosa*. *Journal of Applied Entomology* **104**, 297-304.
- Liu, T-X. & Chen, T-Y. (2001) Effects of three aphid species (Homoptera: Aphididae) on development, survival and predation of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Applied Entomology and Zoology* **36**, 361-366.
- Llewellyn, K.S., Brookes, S.P., Harrington, R., Loxdale, H.D., Sunnucks, P. & Edwards, K.. (1997) Using microsatellite DNA to study aphid genetic heterogeneity in UK. in *Abstract Volume of Fifth International Symposium of Aphids*. Leon University, Leon, Spain.
- Longley, M., Jepson, P.C., Izquierdo, J. & Sotherton, N. (1997) Temporal and spatial changes in aphid and parasitoid populations following applications of deltamethrin in winter wheat. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **83**, 41-52.
- López-Arroyo, J.I., Tauber, C.A. & Tauber, M.J. (1999) Comparative life histories of the predators *Ceraeochrysa cincta*, *C-cubana*, and *C-smithi* (Neuroptera: Chrysopidae). *Annals of the Entomological Society of America* **92**, 208-217.
- Lotka, A.J. (1925) *Elements of Physical Biology*. Baltimore, MD, Williams & Wilkings.
- Lourenço, P., Brito, C., Backeljau, T., Thierry, D. & Ventura, M.A. (2006) Molecular systematics of the *Chrysoperla carnea* group (Neuroptera: Chrysopidae) in Europe. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* **44**, 180-184.
- Luck, R.F. (1984) Principles of arthropod predation. pp. 498-529 in Huffaker, C.B. & Rabb, R.L. (Eds) *Ecological Entomology*. North Carolina, USA, John Wiley & Sons, Inc.
- Λυκάκης, Σ. (1996) *Οικολογία*. Τρίτη Έκδοση. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Λυκουρέσης, Δ.Π., Παρέντης, Α.Α., Περδίκη, Δ.Χ. & Χαλκιά, Χ.Α. (1999) Αφίδες βάμβακος και οι φυσικοί εχθροί τους στην περιοχή της Βοιωτίας. *Πρακτικά 7^ο*

- Πανελληνίου Εντομολογικού Συνεδρίου. 21-24 Οκτωβρίου 1997 Καβάλα. σελ. 180-187.
- Lushai, G., Sherratt, David, O., De Barro, P.J. & Maclean, N. (1997) Host selection by winged summer females of the aphid *Sitobion avenae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **85**, 199-209.
- Malthus, T.R. (1798) *An essay on the principle of population*. London, Pickering & Chatto Publishers, Ltd.
- Mansour, M.H., Zohdy, N.M., El-Gengaihi, S.E. & Amr, A.E. (1997) The relationship between tannins concentration in some cotton varieties and susceptibility to piercing sucking insects. *Journal of Applied Entomology* **121**, 321-325.
- Margaritopoulos, J.T., Mamuris, Z. & Tsitsipis, J.A. (1998). Attempted discrimination of *Myzus persicae* (Sulzer) and *Myzus nicotianae* Blackman (Homoptera: Aphididae) by Random Amplified Polymorphic DNA Polymerase Chain Reaction technique. *Annals of the Entomological Society of America* **91**, 602-607.
- Margaritopoulos, J.T., Tsitsipis, J.A., Zintzaras, E. & Blackman, R.L. (2000) Host-correlated morphological variation of *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) populations in Greece. *Bulletin of Entomological Research* **90**, 233-244.
- Margaritopoulos, J.T., Tsitsipis, J.A., Goundoudaki, S. & Blackman, R.L. (2002) Life cycle variation of *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) in Greece. *Bulletin of Entomological Research* **92**, 309-320.
- Margaritopoulos, J.T., Tzortzi, M., Zarpas, K.D., Tsitsipis, J.A. & Blackman, R.L. (2006) Morphological discrimination of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) populations feeding on Compositae. *Bulletin of Entomological Research* **96**, 153-165.
- Markkula, M., Roukka, K., & Tittanen, K. (1969) Reproduction of *Myzus persicae* (Sulz.) and *Tetranychus telarius* (L.) on different chrysanthemum cultivars. *Annales Agriculturae Fenniae* **8**, 175-183.
- Martinez, D., Moya, A. & Latorre, A. (1992) Mitochondrial DNA variation in *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae) populations from four Spanish localities. *Annals of the Entomological Society of America* **85**, 241-246.

- Mason, R.R. (1996) Dynamic behaviour of Douglas-fir tussock moth populations in the Pacific Northwest. *Forest Science* **42**, 182-191.
- Mason, R.R. & Luck, R.F. (1978) Population growth and regulation. *US Department of Agriculture Technical Bulletin* **1585**, 41-47.
- May, R.M. (1973) On relationships among various types of population models. *American Naturalist* **107**, 46-57.
- McLain, D.H. (1974). Drawing contours from arbitrary data points. *The Computer Journal* **17**, 318-324.
- Men, X.Y., Ge, F., Yardim, E.N. & Parajulee, M.N. (2004) Evaluation of winter wheat as a potential relay crop for enhancing biological control of cotton aphids in seedling cotton. *BioControl* **49**, 701-714.
- Meng, L. & Li, B.P. (1999) Studies on the aphid resistance of cotton cultivars in Xinjiang province and its mechanisms. *Chinese Cotton* **26**, 8-10.
- Michaud, J.P. (2000) Development and reproduction of ladybeetles (Coleoptera: Coccinellidae) on the citrus aphids *Aphis spiraecola* Patch and *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) (Homoptera: Aphididae). *Biological Control* **18**, 287-297.
- Michels, G.J. & Behle, R.W. (1991a) A comparison of *Coccinella septempunctata* and *Hippodamia convergens* larval development on greenbugs at constant temperatures. *Southwestern Entomologist* **16**, 73-80.
- Michels, G.J. & Behle, R.W. (1991b) Effects of two prey species on the development of *Hippodamia sinuata* (Coleoptera: Coccinellidae) larvae at constant temperatures. *Journal of Economic Entomology* **84**, 1480-1484.
- Miller, J.C. (1983) Ecological relationships among parasites and the practice of biological control. *Environmental Entomology* **12**, 620-624.
- Miller, J.C. (1992) Temperature-dependent development of the convergent lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae). *Environmental Entomology* **21**, 197-201.
- Miller, J.C. & Lamana, M.L. (1995) Assessment of temperature-dependent development in the general population and among isofemale lines of *Coccinella trifasciata* (Col. Coccinellidae). *Entomophaga* **40**, 183-192.
- Miller, J.C. & Paustian, J.W. (1992) Temperature-dependent development of *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae). *Environmental Entomology* **21**, 1139-1142.

- Miyazaki, M. (1987) Forms and Morphs of Aphids. pp. 169-195 in Minks, A.K & Harrewijn, P. (Eds) *Aphids. Their Biology, Natural Enemies and Control. Volume 2A*. Amsterdam, Elsevier.
- Moran, A.N. (1986) Morphological adaptation to host plants in *Uroleucon* (Homoptera: Aphididae). *Evolution* **40**, 1044-1050.
- Morisita, M. (1962) I_{δ} -index, a measure of dispersion of individuals. *Research of Population Ecology* **4**, 1-7.
- Munyanza, J. & Obrycki, J.J. (1998) Development of three populations of *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on eggs of Colorado Potato Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology* **27**, 117-122.
- Murakami, Y. & Tsubaki, Y. (1984) Searching efficiency of the ladybeetle *Coccinella septempunctata* larvae in uniform and patch environments. *Journal of Ethology* **2**, 1-6.
- Nakamuta, K. (1984) Visual orientation of a ladybeetle, *Coccinella septempunctata* L., (Coleoptera: Coccinellidae), toward its prey. *Applied Entomology and Zoology* **19**, 82-86.
- Nauen, R. & Elbert, A. (2003) European monitoring of resistance to insecticides in *Myzus persicae* and *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) with special reference to imidacloprid. *Bulletin of Entomological Research* **93**, 47-84.
- Nault, B.A., Shah, D.A., Dillard, H.R. & McFaul, A.C. (2004) Seasonal and spatial dynamics of alate aphid dispersal in snap bean fields in proximity to alfalfa and implications for virus management. *Environmental Entomology* **33**, 1593-1601.
- Naveed, M. Attique, M. R. & Rafique, M. (1995) Role of leaf hairs of different cotton varieties on the population development of cotton aphid (*Aphis gossypii* Glover). *Pakistan Journal of Zoology* **27**, 277-278.
- Nichols, J.R. & Obrycki, J.J. (1989) Comparative behavioural and ecological studies in relation to biological control: An overview. *Journal of the Kansas Entomological Society* **62**, 146-147.
- Nicholson, A.J. (1933) The balance of animal populations. *Journal of Animal Ecology* **2**, 132-178.

- Nicholson, A.J. & Baily, V.A. (1935) The balance of animal populations. Part I. pp. 551-598 in *Proceedings of the Zoological Society of London*.
- Nijhout, H.F. (1975) Threshold size for metamorphosis in tobacco hornworm, *Manduca sexta* (L.). *Biological Bulletin* **149**, 214-225.
- Nijhout, H.F. (1981) Physiological control of molting in insects. *American Zoologist* **21**, 631-640.
- Niles, G.A. (1980) Breeding cotton for resistance to insect pests. pp. 337-369 in Maxwell, F.G. & Jennings, P.R. (Eds) *Breeding Plants Resistant to Insects*. New York, John Wiley & Sons.
- Nothnagle, P.J. & Schultz, J.C. (1987) What is a forest pest? pp. 59-80 in Barbosa, P. & Schultz, J.C. (Eds) *Insect outbreaks*. San Diego, CA, Academic Press.
- Obata, S. (1986) Mechanisms of prey finding in the aphidophagous ladybird beetle, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Entomophaga* **31**, 303-311.
- O'Brien, P.J., Stoetzel, M.B., Navasero, R.C. & Graves, J.B. (1993) Field biology studies of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover. *Southwestern Entomologist* **18**, 25-35.
- Obrycki, J.J. & Tauber, M.J. (1981) Phenology of three coccinellid species: thermal requirements for development. *Annals of the Entomological Society of America* **74**, 31-36.
- Obrycki, J.J. & Tauber, M.J. (1982) Thermal requirements for development of *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Annals of the Entomological Society of America* **75**, 678-683.
- Obrycki, J.J., Hamid, M.N., Sajap, A.S. & Lewis, L.C. (1989) Suitability of corn insect pests for development and survival of *Chrysoperla carnea* and *Chrysopa oculata* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environmental Entomology* **18**, 1126-1130.
- Obrycki, J.J., Orr, D.B., Orr, C.J., Wallendorf, M. & Flanders, R.V. (1993) Comparative development and reproductive biology of three populations of *Propylea quatuordecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Biological Control* **3**, 27-33.
- Omkar & Srivastava, S. (2003) Influence of six aphid prey species on development and reproduction of a lady beetle, *Coccinella septempunctata*. *BioControl* **48**, 379-393.

- Orr, C.J. & Obrycki, J.J. (1990) Thermal and dietary requirements for development of *Hippodamia parenthesis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Environmental Entomology* **19**, 1523-1527.
- Östman, Ö. (2002) Distribution of bird cherry-oat aphids *Rhopalosiphum padi* (L.) in relation to landscape and farming practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **93**, 67-71.
- Pearson, K. (1904) Mathematical contributions to the theory of evolution. XI. On the influence of natural selection on the variability and correlation of organs. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A* **200**, 1-66.
- Pennachio, F. & Tremblay, E. (1986) Distribuzione spaziale e piani di campionamento di due specie afidiche dell' erba medica: *Acyrtosiphon pisum* (Harris) e *Therioaphis trifolii* f. *maculata* (Monell) (Homoptera, Aphidoidea). *Frustula Entomologia, Nuove Serie* **IX**, 9-21.
- Phoofolo, M.W. & Obrycki, J.J. (1995) Comparative life-history studies of nearctic and palearctic populations of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Environmental Entomology* **24**, 581-587.
- Phoofolo, M.W. & Obrycki, J.J. (1998) Potential for intraguild predation and competition among predatory Coccinellidae and Chrysopidae. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **89**, 47-55.
- Phoofolo, M.W. & Obrycki, J.J. (2000) Demographic analysis of reproduction in Nearctic and Palearctic populations of *Coccinella septempunctata* and *Propylea quatuordecimpunctata*. *BioControl* **45**, 25-43.
- Pielou, E.C. (1969) *An introduction to Mathematical Ecology*. New York, John Wiley & Sons.
- Polychronides, M., Galanopoulou-Sendouca, S., Aggelides, S. & Danalatos, N. (1998) The effect of irrigation and fertilization on cotton growth and development under Greek conditions. pp. 405-407 in *Proceedings of World Cotton Research Conference-2, Vol. I, 6-12 September 1998*, Athens, Greece.
- Powers, T.O., Jensen S.G, Kindler S.D, Strycker C.J. & Sandall, L.J. (1989) Mitochondrial-DNA Divergence among Greenbug (Homoptera: Aphididae) biotypes. *Annals of the Entomological Society of America* **82**, 298-302.

- Price, P.W. (1997) *Insect Ecology*. New York, John Wiley & Sons.
- Principi, M.M. (1947) Contributo allo studio dei Neurotteri italiani. V. Recerche su *Chrysopa formosa* Brauer e su alcuni parassiti. *Bolletino per Istituto Entomologico dei Uiversito di Bologna* **16**,134-175.
- Principi, M.M. (1948) Contributo allo studio dei Neurotteri italiani. VII. Osservaaazioni su alcuni parassiti di Crisopidi. *Bolletino per Istituto Entomologico dei Uiversito di Bologna* **17**, 93-121.
- Principi, M.M. (1984) I Neuroteri Crisopídi e la possibilità delle loro utilizzazione in lotta biologica e lotta inepra. *Bolletino per Istituto Entomologico dei Uiversito di Bologna* **38**, 231-262.
- Promislow, D.E.L. & Tatar, M. (1998) Mutation and senescence: where genetics and demography meet. *Genetica* **102/103**, 299-314.
- Rakauskas, R. (2004) What is the (aphid) subspecies? pp. 165-170 in Simon, J.C., Dedryver, C.A., Rispe, C. & Hullé, M. (Eds) *Aphids in a new millennium*. Paris, INRA.
- Rao, N.V., Reddy, A.S., Ankaiah, R., Rao, Y.N. & Khasim, S.M. (1990) Incidence of white fly *Bemisia tabaci* in relation to leaf characteristics of upland cotton *Gossypium hirsutum*. *Indian Journal of Agricultural Science* **60**, 619-624.
- Remaudière, G. & Autrigue, A. (1985) Contribution á l'ecologie des aphides africains. *Etude FAO Production Vegetale et Protection des Plantes* no. **64**, 214pp.
- Remaudière, G. & Remaudière, M. (1997) *Catalogue des Aphididae du Monde*. Paris, INRA.
- Robert, Y., Dedryver, C.A. & Pierre, J.S. (1988) Sampling techniques. pp. 1-20 in Minks, A.K. & Harrewijn, P. (Eds) *Aphids. Their biology, natural enemies and control. Volume B*. Amsterdam, Elsevier.
- Rodriguez-Saona, C. & Miller, J.C. (1995) Life history traits in *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae) after selection for fast development. *Biological Control* **5**, 389-396.
- Rodriguez-Saona, C. & Miller, J.C. (1999) Temperature-dependent effects on development, mortality, and growth of *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Environmental Entomology* **28**, 518-522.

- Röhne, O. (2002) Effect of temperature and host stage on performance of *Aphelinus varipes* Forster (Hym., Aphelinidae) parasitizing the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hom., Aphididae). *Journal of Applied Entomology* **126**, 572-576.
- Rosenheim, J.A., Wilhoit, L.R. & Colfer, R.G. (1994) Seasonal biology and polymorphism of the cotton aphid, *Aphis gossypii*, in California. pp. 125-131 in *Proceedings of the Beltwide Cotton Conference, San Diego, 5-8 January 1994, CA*, Memphis, TN, National Cotton Council of America.
- Rosenheim, J.A., Wilhoit, L.R., Goodell, P.B., Grafton-Cardwell, E.E. & Leigh, T.F. (1997) Plant compensation, natural biological control, and herbivory by *Aphis gossypii* on pre-reproductive cotton: the anatomy of a non-pest. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **85**, 45-63.
- Ruzicka, Z. (1994) Oviposition deterring pheromone in *Chrysopa oculata* (Neuroptera: Chrysopidae). *European Journal of Entomology* **91**, 361-370.
- Ruzicka, Z. (1997) Protective role of the egg stalk in Chrysopidae (Neuroptera). *European Journal of Entomology* **94**, 111-114.
- Sandström, J. (1994) High variation in host adaptation among clones of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum* on peas, *Pisum sativum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **71**, 245-256.
- Santas, L.A. (1979) *Marchallina hellenica* (Gennadius) an important insect for apiculture of Greece. pp. 419-422 in *Proceedings of the 27th International Congress of Apiculture 14-20 September 1979 Athens, Greece*.
- Santas, L.A. (1980) A list of aphids of Greece. *Biologia Gallo-hellenica* **9**, 107-121.
- Santas, L.A. (1984) On some Chrysopidae of Greece. p. 265 in Gepp, J., Aspöck, H. & Hölzel, H. (Eds) *Progress in World's Neuropterology*. Graz.
- Schade, M. & Sengonca, C. (1998) On the development, feeding activity and prey preference of *Hippodamia convergens* Guer.-Men. (Col., Coccinellidae) preying on *Thrips tabaci* Lind. (Thys., Thripidae) and two Aphididae. *Anzeiger für Schadlinkskunde Pflanzenschutz Umweltschutz* **71**, 77-80 (in German with English abstract).
- Schneider, W.G. (1851) *Symbolae ad monographium generis Chrysopa*. Leach. Hirt, Vratislaviae.

- Schowalter, T.D. (2000) *Insect ecology. An ecosystem approach*. San Diego, California, Academic Press.
- Semeria, Y. (1973) Contribution a la connaissance des chrysopids de France. Première série: Les Alpes-maritimes 1971-1972. *L'Entomologiste* **29**, 206-211.
- Sgrò, C.M. & Partridge, L. (2000) Evolutionary responses of the life history of wild-caught *Drosophila melanogaster* to two standard methods of laboratory culture. *American Naturalist* **156**, 341-353.
- Shinoda, T. & Tanaka, K. (1987) Resistance of melon, *Cucumis melo* L. to the melon aphid, *Aphis gossypii* Glover: I. Differences in population growth of melon aphid on melon cultivars. *Bulletin National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants and Tea. Series A No. 1*, 164-184.
- Slosser, J.E., Montandon, R.W., Pinchak, E. & Rummel, D.R. (1997) Cotton aphid response to nitrogen fertility in dryland cotton. *Southwestern Entomologist* **22**, 1-10.
- Slosser, J.E., Parajulee, M.N., Hendrix, D.L., Henneberry, T.J. & Rummel, D.R. (2002) Relationship between *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) and sticky lint in cotton. *Journal of Economic Entomology* **95**, 299-306.
- Slosser, J.E., Pinchak, W.E. & Rummel, D.R. (1992) Effect of planting date on cotton aphid and bandedwinged whitefly populations in dryland cotton. *Southwestern Entomologist* **17**, 89-100.
- Smith, C.W. & Coyle, G.G. (1997) Association of fiber quality parameters and within-boll yield components in upland cotton. *Crop Science* **37**, 1775-1779.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. (1995) *Biometry: the Principle and Practice of Statistics in Biological Research*. New York, W.H. Freeman and Company.
- Solomon, M.E. (1949) The natural control of animal populations. *Animal Ecology* **18**, 1-35.
- Σουλιώτης, Κ.Μ. (1995) Συμβολή στη μελέτη των Chrysopidae (Neuroptera) και ειδικότερα του *Chrysoperla carnea* Steph., αρπακτικού αφίδων, και ο ρόλος του στην καταπολέμηση αφίδων σε θερμοκήπια. *Διδακτορική διατριβή*. Αθήνα, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Southwood, T.R.E. (1978). *Ecological methods, with particular reference to the study of insect populations. Second Edition*. London, Chapman & Hall.

- SPSS Inc. (2003). *SPSS 12.0 for Windows User's Guide*. Chicago IL, SPSS Inc.
- Stathopoulos, D.G. (1964) Studies on the identification and biology of *Aphis* spp., *Thrips tabacci* Lind., *Bemisia tabacci* Genn., *Empoasca* sp. and *Tetranychus telarius* L. cotton pests. *Thessaloniki Plant Protection Research Station Bulletin* **2**, 39-47.
- StatSoft Inc. (2001) *STATISTICA (data analysis software system), version 6*. Tulsa, OK.
- Storer, J.R. & van Emden, H.F. (1995) Antibiosis and antixenosis of chrysanthemum cultivars to the aphid *Aphis gossypii*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **77**, 307-314.
- Stroyan, H.L.G. (1984) Aphids-Pterocommatinae and Aphidinae (Aphidini) Homoptera, Aphididae. *Handbooks for the Identification of British Insects*, Volume 2, Part 6. London, UK, Royal Entomological Society of London.
- Sundby, R. (1966) A comparative study of the efficiency of three predatory insects - *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae), *Chrysopa carnea* St. (Neuroptera: Chrysopidae), and *Syrphus ribesii* L. (Diptera: Syrphidae) at two different temperatures. *Entomophaga* **11**, 395-404.
- Sweetman, H.L. (1958) *The principles of biological control*. Iowa, USA, VWC. Brown Company Dubuque.
- Sylvester, E.S. & Cox, E.L. (1961) Sequential plans for sampling aphids on sugar beet in Kern Country, California. *Journal of Economic Entomology* **54**, 1080-1084.
- Takada, H. (1988) Interclonal variation in the photoperiodic response for sexual morph production of Japanese *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Applied Entomology* **106**, 188-197.
- Takada, H. & Murakami, Y. (1988) Esterase variation and insecticide resistance in Japanese *Aphis gossypii* Glover. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **48**, 37-41.
- Tauber, C.A. & Tauber, M.J. (1978) Sympatric speciation-evidence. *Science* **200**, 346-346.
- Tauber, M.J. & Tauber, C.A. (1986) Ecophysiological responses in life-history evolution: evidence for their importance in a geographically widespread insect species complex. *Canadian Journal of Zoology* **67**, 875-884.

- Tauber, M.J. & Tauber, C.A. (1992) Phenotypic plasticity in *Chrysoperla*: genetic variation in the sensory mechanism and in correlated reproductive traits. *Evolution* **46**, 1754-1773.
- Tauber, M.J. & Tauber, C.A. (1993) Adaptations to temporal variation in habitats: categorizing, predicting, and influencing their evolution in agroecosystems. pp. 103-127 in Kim, K.C. & McPheron, B.A. (Eds) *Evolution of insect pests/patterns of variation*. New York, John Wiley & Sons.
- Tauber, C.A., Tauber, M.J. & Nechols, J.R. (1987) Thermal requirements for development in *Chrysopa oculata*: A geographically stable trait. *Ecology* **68**, 1479-1487.
- Tauber, M.J., Tauber, C.A. & López-Arroyo, J.I. (1997) Life-history variation in *Chrysoperla carnea*: implications for rearing and storing a Mexican population. *Biological Control* **8**, 185-190.
- Tauber, M.J., Tauber, C.A., Daane, K.M. & Hagen, K.S. (2000) Commercialization of predators: recent lessons from green lacewings (Neuroptera: Chrysopidae: *Chrysoperla*). *American Entomologist* **46**, 26-38.
- Taylor, L.R. (1961) Aggregation, variance and the mean. *Nature* **189**, 732-735.
- Taylor, L.R. (1965) A natural law for the spatial disposition of insects. pp. 396-397 in *Proceedings of the 12th International Congress of Entomology*, London, 1964.
- Taylor, L.R. (1970) Aggregation and the transformation of counts of *Aphis fabae* Scop. on beans. *Annals of Applied Biology* **65**, 181-189.
- Taylor, L.R. (1984) Assessing and interpreting the spatial distributions of insects populations. *Annual Review of Entomology* **29**, 321-357.
- Taylor, L.R., Woiwod, I.P. & Perry, J.N. (1979) The negative binomial as a dynamic ecological model for aggregation, and the density dependence of *k*. *Journal of Animal Ecology* **48**, 289-304.
- Theobald, F.V. (1915) African Aphididae Pt. II. *Bulletin of Entomological Research* **6**, 103-153.
- Τζανακάκης Μ.Ε. (1980) *Μαθήματα Εφαρμοσμένης Εντομολογίας. Ειδικό μέρος*. Θεσσαλονίκη, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων.
- Τόλης, Ι.Δ. (1986) *Βαμβάκι: Εχθροί, Ασθένειες, Ζιζάνια*. Αθήνα.

- Tremblay, E. (1985) *La lotta agli afidi*. Italia Agricola anno 122, Luglio-Settembre 1985.
- Τσιτσιπής, Ι.Α. (1999) *Εφαρμοσμένη Εντομολογία. Πανεπιστημιακές σημειώσεις*. Βόλος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Τσιτσιπής, Ι.Α., Κατής, Ν., Harrington, R. & Denholm, C. (2003) EXAMINE: Πανευρωπαϊκή βάση δεδομένων συλλήψεων αφίδων σε δίκτυο αναρροφητικών παγίδων. *Περίληψεις Ανακοινώσεων 10ου Πανελληνίου Εντομολογικού Συνεδρίου, 4-7 Νοεμβρίου 2003* Ηράκλειο, σελ. 84.
- Τσιτσιπής, Ι.Α. & Ζάρπας, Κ.Δ. (1999) Προκαταρκτική μελέτη της δραστηριότητας αρπακτικών Coccinellidae και Chrysopidae στην αφίδα *Aphis gossypii* σε καλλιέργεια βαμβακιού στην Κεντρική Ελλάδα. *Τελική τεχνική έκθεση προγράμματος ΕΠΕΤ II - 453 (ΓΓΕΤ): «Ολοκληρωμένη καταπολέμηση αφίδων & αφιδομεταφερόμενων ιών με τη χρήση βιοτεχνολογικών μεθόδων και πληροφορικών συστημάτων τηλεματικής για την ανάπτυξη συστήματος φυτοπροστασίας καλλιεργειών και την παραγωγή πολλαπλασιαστικού υλικού υψηλής ποιότητας»*. Βόλος, Νοέμβριος 1999, σελ. 1-19 (Παράρτημα P1WP2T1).
- Tsitsipis, J.A., Lykouressis, D., Katis, N., Avgelis, A.D., Gargalianou, J., Papapanayotou, A., & Kokinis, G.M. (1998a) Aphid species diversity demonstrated by suction trap captures in different areas in Greece. pp. 495-501 in Nafria & Dixon (Eds) *Aphids in natural and managed ecosystems*. Universidad de Leon (Secretariado de publicaciones).
- Tsitsipis, J.A., Margaritopoulos, J.T., Smart, L.E., Pye, B.J., Panagiotaki, E.S., Zarpas, K.D., Tomara, N. & Vaggelas, J. (1998b). Chemical control of aphid populations on cotton using hydraulic and electrostatic sprayers and aphid alarm pheromone. pp. 743-746 in *Proceedings of World Cotton Research Conference-2, Vol. II, 6-12 September 1998*, Athens, Greece.
- van den Bosch, R., Messenger, P.S. & Gutierrez, A.P. (1982) *An introduction to biological control*. New York, Plenum Press.
- van Emden, H.F. (1987) Cultural methods: the plant. Plant resistance and chemical control. pp. 27-68 in Burn, A.J., Coaker, T.H. & Jepson, P.C. (Eds) *Integrated Pest Management*. London, Academic Press Ltd.

- van Lenteren, J.C. (2005) *IOBC Internet Book of Biological Control*. Wageningen, The Netherlands, www.IOBC-Global.org.
- Vanlerberghe-Masutti, F. & Chavigny, P. (1998) Host-based genetic differentiation in *Aphid gossypii* Glover, evidenced from RAPD fingerprints. *Molecular Ecology* **7**, 905-914.
- Volkovich, T.A. & Blumental, N.A. (1997) Photo-thermoperiodic responses in some species of lacewings (Neuroptera: Chrysopidae): Their role in diapause induction. *European Journal of Entomology* **94**, 435-444.
- Volterra, V. (1926) Fluctuations in the abundance of a species considered mathematically. *Nature* **118**, 558-560.
- Weatherburn, C.E. (1946) *A first course in mathematical statistics*. University of Western Australia.
- Weathersbee III, A.A. & Hardee, D.D. (1994) Abundance of cotton aphids (Homoptera: Aphididae) and associated biological control agents on six cotton cultivars. *Journal of Economic Entomology* **87**, 258-265.
- Weathersbee III, A.A., Hardee, D.D. & Meredith, JR. (1994) Effects of cotton genotype on seasonal abundance of cotton aphid (Homoptera: Aphididae) *Journal of Agricultural Entomology* **11**, 29-37.
- Weathersbee III, A.A., Hardee, D.D. & Meredith, JR. (1995) Differences in yield response to cotton aphid (Homoptera: Aphididae) between smooth-leaf and hairy-leaf isogenic cotton lines. *Journal of Economic Entomology* **88**, 749-754.
- Weber, G. (1985) Genetic variability in host adaptation of the green peach aphid, *Myzus persicae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **38**, 49-56.
- Wells, M.L. & McPherson, R.M. (1999) Population dynamics of three Coccinellids in flue-cured tobacco and functional response of *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on tobacco aphids (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology* **28**, 768-773.
- West-Eberhard, M.J. (1989) Phenotypic plasticity and the origins of diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* **20**, 249-278.

- Wiebe, A. & Obrycki, J. (2002) Prey suitability of *Galerucella pusilla* eggs for two generalist predators, *Coleomegilla maculata* and *Chrysoperla carnea*. *Biological Control* **23**, 143-148.
- Wilde, J. de & Hsiao, T.H. (1981) Geographic diversity of the Colorado potato beetle and its infestation in Eurasia. pp. 47-68 in Lashomb, J. & Casagrande, R. (Eds) *Advances in Potato Pest Management*. Stroudsburg, PA, Hutchinson & Ross.
- Wilhoit, L.R. & Mittler, T.E. (1991) Biotypes and clonal variation in Greenbug (Homoptera: Aphididae) population from a locality in California. *Environmental Entomology* **20**, 757-767.
- Wilhoit, L.R., Rosenheim, J.A. & Krag, C.R. (1992) Impact of early-season aphid populations on cotton maturation, yield and fibre quality. pp. 945-947 in *Proceedings, Beltwide cotton production and research conferences*. Memphis, TN, National cotton council of America.
- Wilks, S.S. (1943) *Mathematical Statistics*. Princeton, New Jersey, Princeton University Press.
- Winder, L., Perry, J.N. & Holland, J.M. (1999) The spatial and temporal distribution of the grain aphid *Sitobion avenae* in winter wheat. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **93**, 277-290.
- Winder, L., Alexander, C.J., Holland, J.M., Woolley, C. & Perry, J.N. (2001) Modelling the dynamic spatio-temporal response of predators to transient prey patches in the field. *Ecology Letters* **4**, 568-576.
- Wool, D. & Hales, D.F. (1997) Phenotypic plasticity in Australian cotton aphid (Homoptera: Aphididae): host plant effects on morphological variation. *Annals of the Entomological Society of America* **90**, 316-328.
- Wyatt, I.J. (1965) The distribution of *Myzus persicae* (Sulzer) on year-round chrysanthemums. *Annals of Applied Biology* **56**, 439-459.
- Wyatt, I.J. (1969) Factors effecting aphid infestations of chrysanthemums. *Annals of Applied Biology* **63**, 331-337.
- Wyatt, I.J. & White, P.F. (1977) Simple estimation of intrinsic increase rates for aphids and tetranychid mites. *Journal of Applied Ecology* **14**, 758-766.

- Χατζής, I.N. (2005) Πληθυσμιακή οικολογία της αφίδας του βάμβακος *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae). *Μεταπτυχιακή Διατριβή*. Νέα Ιωνία Μαγνησίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Xia, J.Y., Van Der Werf, W. & Rabbinge, R. (1999) Temperature and prey density on bionomics of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) on cotton. *Environmental Entomology* **28**, 307-314.
- Yasuda, H. & Ishikawa, H. (1999) Effects of prey density and spatial distribution on prey consumption of the adult predatory ladybird beetle. *Journal of Applied Entomology* **123**, 585-589.
- Zaki, F.N. & Gesraha, M.A. (2001) Production of the green lacewing *Chrysoperla carnea* (Steph.) (Neuropt., Chrysopidae) reared on semi-artificial diet based on the algae, *Chlorella vulgaris*. *Journal of Applied Entomology* **125**, 97-98.
- Zhang, G.X. & Zhong, T.S. (1990) Experimental studies on some aphid life cycle patterns and the hybridization of sibling species. pp. 37-50 in Campbell, R.K. & Eikenbary, R.D. (Eds) *Aphid-Plant Genotype Interactions*. Amsterdam, Elsevier.
- Zhang, R., Ren, L., Wang, C., Lin, R. & Tian, C. (2004) Cotton aphid predators on alfalfa and their impact on cotton aphid abundance. *Applied Entomology and Zoology* **39**, 235-241.
- Zhou, X., Honěk, A., Powell, W. & Carter, N. (1995) Variations in body length, weight, fat content and survival in *Coccinella septempunctata* at different hibernation sites. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **75**, 99-107.
- Zintzaras E., Brown N.P. & Kowald A. (1994). Growing a classification tree using the apparent misclassification rate. *Computer Applications in the Biosciences* **10**, 263-271.
- Zintzaras, E., Margaritopoulos, J.T. & Tsitsipis, J.A. (1999) Statistical tree classification of aphids based on morphological characteristics. *Computers and Electronics in Agriculture* **24**, 165-175.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Α΄ ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας Π1. Μέσος αριθμός (ΜΟ±ΤΣ) αφίδων ανά γραμμή δειγματοληψίας (άθροισμα από 10 φυτά των μέσων όρων από τέσσερα φύλλα) και αρπακτικών ανά θέση δειγματοληψίας κατά το 1997 (N = αριθμός φυτών ανά γραμμή)

Γραμμή	N	Μέσος αριθμός αφίδων	Μέσος αριθμός αρπακτικών
1 (ΝΑ άκρο αγρού)	10	38,35±6,66 ^a	1,61 ^a
2 (μέσο αγρού)	10	13,09±3,09 ^b	1,31 ^a
3 (ΒΔ άκρο αγρού)	10	15,78±3,30 ^b	1,51 ^a
<i>F</i> _{2,27}		8,91	0,12
P		0,001	0,889

Οι μέσοι όροι σε κάθε στήλη, που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα, διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με βάση τη δοκιμή Duncan. Η ανάλυση έγινε πάνω σε στοιχεία που μετατράπηκαν σε νέες τιμές με βάση την εξίσωση $y = \sqrt{x + 1}$.

Πίνακας Π2. Μέσος αριθμός (ΜΟ±ΤΣ) αφίδων ανά γραμμή δειγματοληψίας (άθροισμα από οκτώ φυτά των μέσων όρων από τέσσερα φύλλα) και αρπακτικών ανά θέση δειγματοληψίας κατά τα έτη 1998-1999 (N = αριθμός φυτών ανά γραμμή)

Γραμμή	N	Μέσος αριθμός αφίδων		Μέσος αριθμός αρπακτικών	
		1998	1999	1998	1999
1	8	10,52±3,51 ^{ab}	178,46±44,94 ^a	1,91±0,43 ^{abc}	1,81±0,44 ^{abcd}
2	8	8,53±2,20 ^{ab}	146,71±42,94 ^a	1,64±0,28 ^{abc}	3,35±0,81 ^a
3	8	9,13±1,82 ^a	181,92±54,50 ^a	1,94±0,45 ^{ab}	2,92±0,61 ^a
4	8	12,17±4,24 ^a	35,85±18,24 ^b	1,79±0,40 ^{abc}	2,75±0,57 ^{ab}
5	8	10,48±4,32 ^{ab}	68,69±35,40 ^b	2,24±0,43 ^a	2,47±0,64 ^{abc}
6	8	10,66±3,94 ^{abc}	52,11±23,82 ^b	1,44±0,33 ^{abc}	2,17±0,52 ^{abc}
7	8	7,97±2,95 ^{abc}	39,36±23,44 ^b	1,42±0,27 ^{abc}	1,44±0,51 ^{bcd}
8	8	9,02±2,48 ^{ab}	40,94±24,90 ^b	1,50±0,31 ^{abc}	1,26±0,28 ^{bcd}
9	8	4,99±2,12 ^{abc}	26,91±13,02 ^b	0,74±0,20 ^c	1,44±0,42 ^{bcd}
10	8	5,88±1,51 ^{abc}	29,17±11,67 ^b	1,52±0,35 ^{abc}	1,22±0,27 ^{bcd}
11	8	10,25±4,20 ^{abc}	37,81±18,54 ^b	1,30±0,28 ^{abc}	1,50±0,33 ^{abcd}
12	8	4,36±1,24 ^{abc}	16,05±6,36 ^b	1,18±0,34 ^{bc}	1,22±0,33 ^{cd}
13	8	3,99±1,76 ^{bc}	16,83±7,53 ^b	1,68±0,48 ^{abc}	1,11±0,39 ^{cd}
14	8	1,85±0,84 ^c	26,24±14,22 ^b	0,92±0,23 ^{bc}	0,72±0,35 ^d
15	8	1,92±0,76 ^c	12,86±3,76 ^b	0,71±0,18 ^c	1,08±0,33 ^{cd}
$F_{14,105}$		2,18	5,18	1,72	2,98
P		0,01	0,001	0,05	0,001

Οι μέσοι όροι σε κάθε στήλη, που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα, διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με βάση τη δοκιμή Duncan. Η ανάλυση έγινε πάνω σε στοιχεία που μετατράπηκαν σε νέες τιμές με βάση την εξίσωση $y = \sqrt{x + 1}$.

Πίνακας Π3. Μέσος αριθμός (\pm TΣ) αφίδων και αρπακτικών ανά φυτό επί της γραμμής για τα τρία έτη δειγματοληψίας (N = αριθμός γραμμών)

Α/Α φυτού επί της γραμμής	1997			1998			1999		
	N	Αφίδες	Αρπακτικά	N	Αφίδες	Αρπακτικά	N	Αφίδες	Αρπακτικά
1	3	1,93 \pm 0,51 ^c	0,19 \pm 0,05 ^a	15	0,27 \pm 0,06 ^d	0,29 \pm 0,04 ^{bc}	15	6,67 \pm 1,22 ^c	0,46 \pm 0,06 ^a
2	3	1,10 \pm 0,23 ^c	0,21 \pm 0,06 ^a	15	0,95 \pm 0,18 ^c	0,50 \pm 0,05 ^a	15	8,46 \pm 1,23 ^c	0,57 \pm 0,06 ^a
3	3	1,22 \pm 0,25 ^c	0,21 \pm 0,07 ^a	15	1,46 \pm 0,20 ^b	0,53 \pm 0,04 ^a	15	10,11 \pm 1,23 ^{ab}	0,53 \pm 0,06 ^a
4	3	2,18 \pm 0,39 ^{bc}	0,21 \pm 0,06 ^a	15	1,49 \pm 0,21 ^b	0,52 \pm 0,05 ^a	15	11,40 \pm 1,22 ^a	0,61 \pm 0,06 ^a
5	3	5,02 \pm 0,89 ^a	0,11 \pm 0,04 ^a	15	2,31 \pm 0,34 ^a	0,48 \pm 0,04 ^a	15	9,31 \pm 1,23 ^{ab}	0,60 \pm 0,06 ^a
6	3	2,01 \pm 0,42 ^{bc}	0,21 \pm 0,07 ^a	15	1,13 \pm 0,18 ^{bc}	0,50 \pm 0,05 ^a	15	10,02 \pm 1,22 ^{ab}	0,62 \pm 0,06 ^a
7	3	2,38 \pm 0,50 ^{bc}	0,19 \pm 0,09 ^a	15	1,29 \pm 0,17 ^{bc}	0,29 \pm 0,04 ^b	15	9,77 \pm 1,23 ^{ab}	0,56 \pm 0,06 ^a
8	3	2,58 \pm 0,56 ^{bc}	0,23 \pm 0,10 ^a	15	1,73 \pm 0,42 ^{bc}	0,19 \pm 0,03 ^c	15	10,37 \pm 1,22 ^{ab}	0,54 \pm 0,06 ^a
9	3	3,20 \pm 0,57 ^b	0,17 \pm 0,05 ^a	-	-	-	-	-	-
10	3	1,84 \pm 0,35 ^{bc}	0,20 \pm 0,07 ^a	-	-	-	-	-	-
BE		9, 2	9, 2		7, 14	7, 14		7, 14	7, 14
F		4,79	0,27		12,24	11,67		2,03	1,10
P		< 0,001	< 0,9836		< 0,001	< 0,001		< 0,05	< 0,3767

Οι μέσοι όροι σε κάθε στήλη, που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα, διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με βάση τη δοκιμή Duncan. Η ανάλυση έγινε πάνω σε στοιχεία που μετατράπηκαν σε νέες τιμές με βάση την εξίσωση $y = \sqrt{x + 1}$.

Πίνακας Π4. Εκτίμηση παραμέτρων ($MO \pm T\Sigma$) παλινδρόμησης για εφαρμογή της εξίσωσης Taylor ($s^2 = am^b$) στα δεδομένα αφίδων και αρπακτικών (C7 = *Coccinella septempunctata*, HC = *Hippodamia convergens*, CC = *Chrysoperla carnea* s.l.) στα τρία έτη δειγματοληψίας (N = ο αριθμός των ζευγών “ $s^2 - m$ ” που εξετάστηκαν)

Είδος	N	ln(a)	a	b	t_b	P_t	R^2	F	P
1997									
Αφίδες	30	0,650±0,166	1,916	2,348±0,141	16,676	< 0,0001	0,906	278,101	< 0,0001
Αρπακτικά	30	-0,246±0,076	0,782	3,538±0,405	8,743	< 0,0001	0,732	76,434	< 0,0001
C7	30	0,002±0,001	1,002	0,913±0,014	66,262	< 0,0001	0,994	4.390,656	< 0,0001
HC	30	0,001±0,000	1,001	0,939±0,008	120,625	< 0,0001	0,998	14.550,403	< 0,0001
CC	30	-0,164±0,065	0,849	2,095±0,177	11,803	< 0,0001	0,833	139,302	< 0,0001
1998									
Αφίδες	120	0,146±0,070	0,157	3,411±0,081	42,233	< 0,0001	0,938	1.783,667	< 0,0001
Αρπακτικά	120	-0,104±0,046	0,901	1,655±0,108	15,366	< 0,0001	0,667	236,112	< 0,0001
C7	49	-2,577±0,202	0,076	3,316±0,205	16,189	< 0,0001	0,848	262,068	< 0,0001
HC	70	-1,989±0,160	0,137	2,693±0,151	17,837	< 0,0001	0,824	318,151	< 0,0001
CC	70	-0,056±0,019	0,946	1,658±0,096	17,267	< 0,0001	0,814	298,133	< 0,0001
1999									
Αφίδες	120	3,111±0,096	22,443	1,814±0,046	39,184	< 0,0001	0,929	1535,425	< 0,0001
Αρπακτικά	120	-0,207±0,065	0,813	2,109±0,120	17,605	< 0,0001	0,724	309,934	< 0,0001
C7	33	-1,955±0,227	0,142	2,660±0,220	12,082	< 0,0001	0,825	145,980	< 0,0001
HC	72	-2,321±0,187	0,098	2,985±0,156	19,118	< 0,0001	0,839	365,501	< 0,0001
CC	120	-0,121±0,033	0,886	2,467±0,108	22,923	< 0,0001	0,817	525,445	< 0,0001

t_b, P_t = τιμές σημαντικότητας για $b < \text{ή} > 1$ με το κριτήριο t -test

F, P = επίπεδα σημαντικότητας ανάλυσης παλινδρόμησης

R^2 = συντελεστής παλινδρόμησης

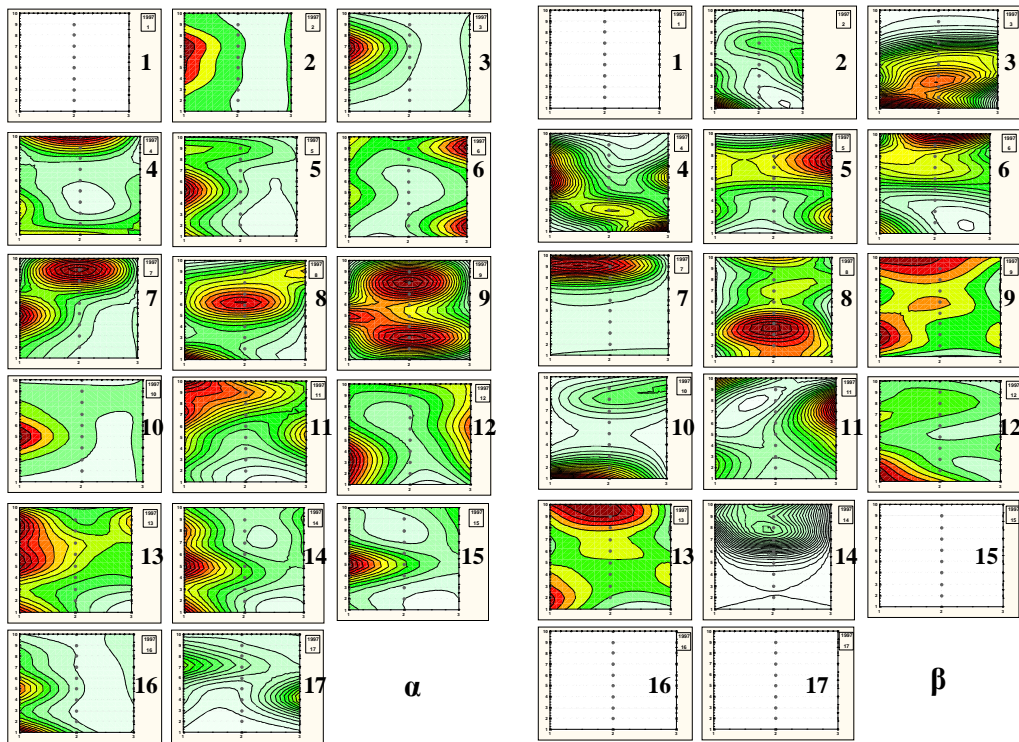
Η ανάλυση έγινε πάνω σε στοιχεία που μετατράπηκαν σε νέες τιμές με βάση την εξίσωση $y = \ln(x+1)$.

Πίνακας Π5. Αποτελέσματα Ανάλυσης Παραλλακτικότητας (*two-way-ANOVA*) για την επίδραση των παραγόντων «ποικιλία» και «παρθενογενετική σειρά» στο αναπαραγωγικό δυναμικό της αφίδας *Aphis gossypii*

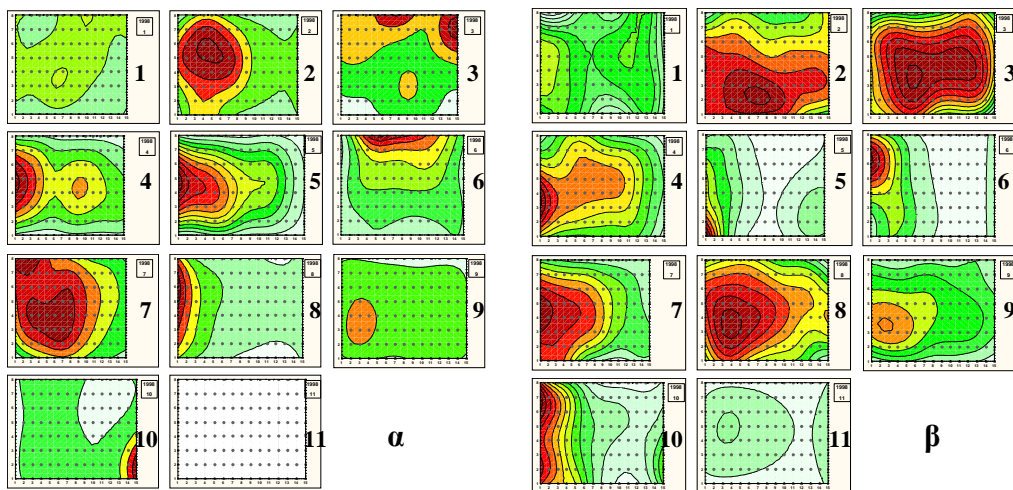
Πηγή παραλλακτικότητας	B.E.	T_d	r_m^1	Γ	M	B.E.	T	r_m^2	DT	R_0
		Τιμές κριτηρίου F					Τιμές κριτηρίου F			
Ποικιλία	3	25,1*	29,6*	23,4*	12,3*	3	17,5*	18,9*	19,6*	21,5*
Παρθενογενετική σειρά	1	0,5	0,1	1,9	1,1	1	2,7	1,0	1,0	0,1
Ποικιλία X Παρθενογενετική σειρά	3	0,7	1,2	0,9	2,1	3	8,4*	1,1	0,7	1,6
Σφάλμα	175					212				

* $P < 0,05$. T_d = χρόνος ανάπτυξης, r_m = ενδογενής ρυθμός αύξησης, Γ = γονιμότητα, M = μακροζωία, T = μέσος χρόνος γενιάς, DT = χρόνος διπλασιασμού πληθυσμού, R_0 = καθαρός αναπαραγωγικός ρυθμός. Η παράμετρος r_m υπολογίστηκε με τις μεθόδους ¹Wyatt & White (1977) και ²Birch (1948).

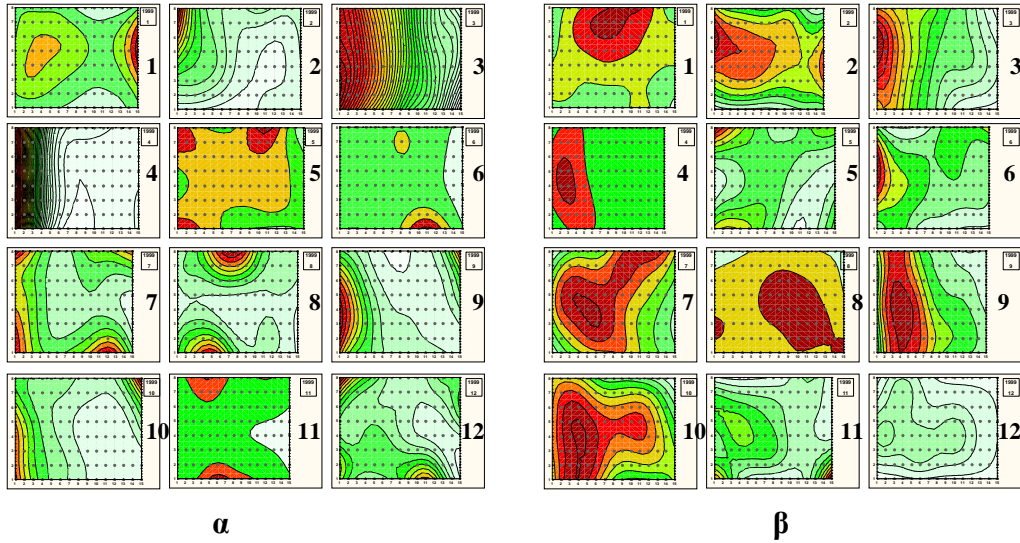
Β' ΣΧΗΜΑΤΑ



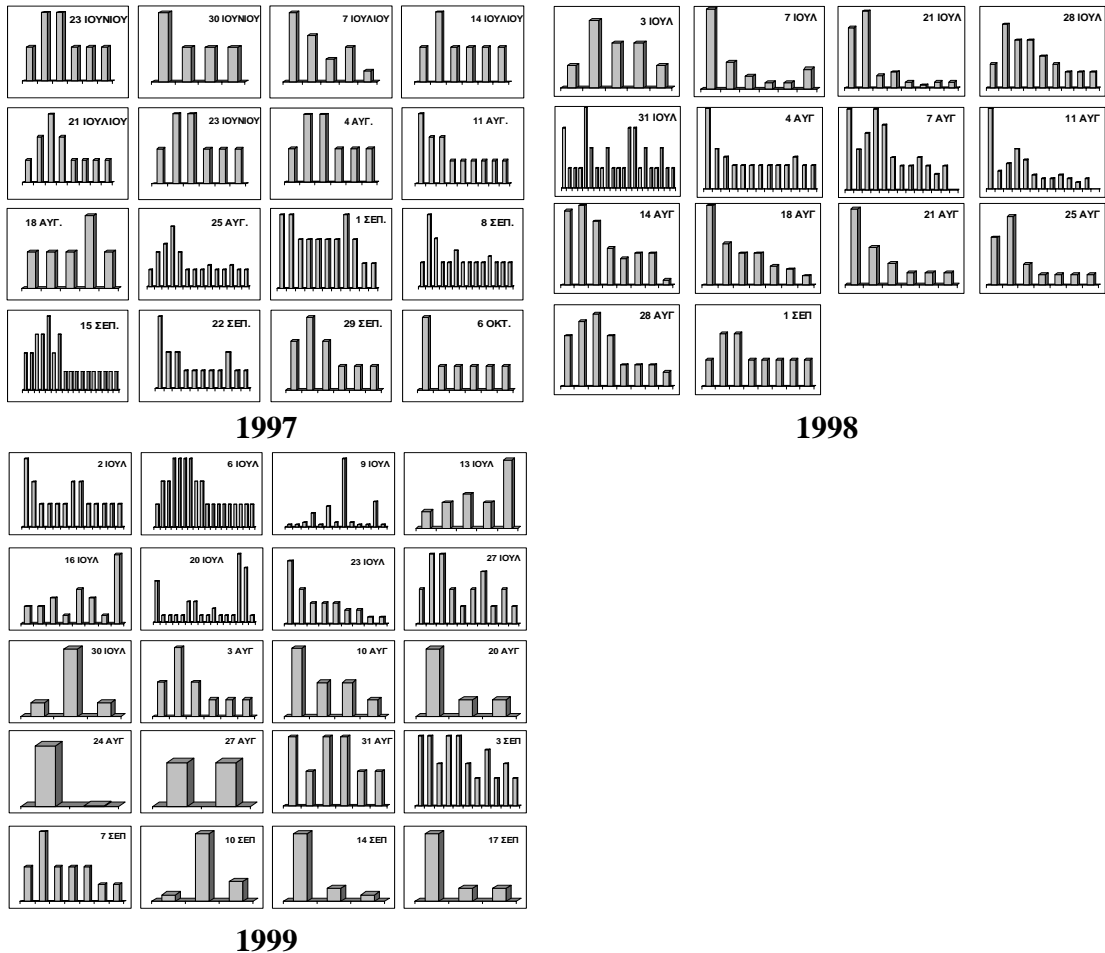
Σχήμα Π1. Πληθυσμιακή κατανομή στον αγρό των αφίδων (α) και των αρπακτικών (β) ανά εβδομάδα δειγματοληψίας του έτους 1997



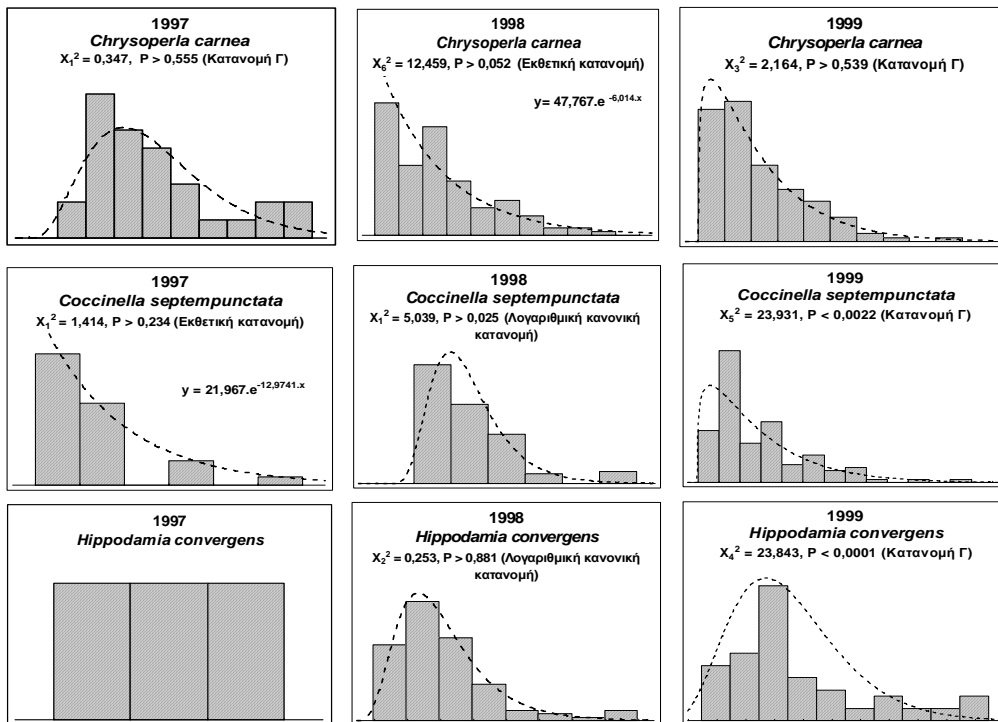
Σχήμα Π2. Πληθυσμιακή κατανομή στον αγρό των αφίδων (α) και των αρπακτικών (β) ανά εβδομάδα δειγματοληψίας του έτους 1998



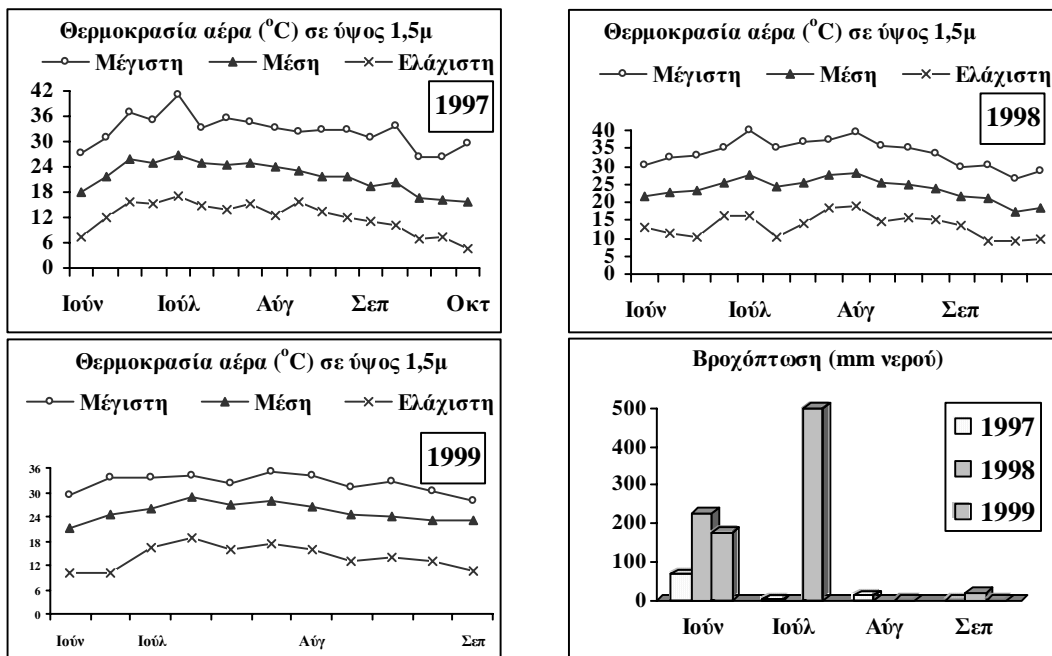
Σχήμα Π3. Πληθυσμιακή κατανομή στον αγρό των αφίδων (α) και των αρπακτικών (β) ανά εβδομάδα δειγματοληψίας του έτους 1999



Σχήμα Π4. Κατανομές συχνοτήτων μέσου όρων αφίδων ανά περίπτωση δειγματοληψίας κατά τα έτη 1997-1999



Σχήμα Π5. Κατανομές συχνοτήτων μέσου αριθμού αρπακτικών ανά θέση κατά τα τρία έτη δειγματοληψίας



Σχήμα Π6. Θερμοκρασιακά και βροχομετρικά δεδομένα περιοχής Νέας Αγχιάλου Μαγνησίας

Abstract

The present study deals with the dynamics and the spatial distribution of natural populations of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) in a 1,8ha cotton field in Magnesia, Greece during 1997-1999. In the first part of this thesis a bibliographic review covering the areas of aphids in general and particularly biological and ecological aspects of *Aphis gossypii*, as well as the field of its morphological variation and population dynamics is presented. Also, cotton crop and its most widespread Greek cultivars are discussed, and major predators of the cotton aphid are presented.

Apart from the study of cotton aphid population dynamics, in field studies the effect of major predators on aphid populations was also evaluated. Their biological characteristics and demographic parameters were examined under laboratory conditions. In an untreated cotton field systematic sampling was performed by marking cotton plants. From each marked plant four leaves were randomly examined in situ at two heights, two from the upper and two from the lower part, and aphids were counted. Predator species were recorded and their abundance was estimated by shaking plants onto a muslin wooden frame. Aphid and predator occurrence were surveyed during June-October. For each sampling occasion the mean, standard deviation and coefficient of variability were calculated. Furthermore, the goodness of fitting of the data to the Taylor's Power Law (coefficient b) and to the Negative Binomial Distribution (dispersion parameter k) was tested, and correlations between aphid and predator dynamics were investigated.

In general, the results follow the usual bimodal pattern of cotton aphid population occurrence in Greece. *Aphis gossypii* populations followed an aggregated distribution pattern and not a random or a uniform one, at least at high infestation rates, a fact that was confirmed by high (> 2) values of Taylor's b and very low values of negative binomial k (< 2). Also, there was an unequal within-plant distribution of *A. gossypii* individuals, suggesting a direct implication in timing and efficiency of aphicide applications. Coccinellid and chrysopid predators showed a trend to aggregate around aphid aggregations, a situation reflecting an ecological response resulting from either long-term presence in a particular cotton leaf or accumulated predatory effect of many

predator individuals that colonize and disperse in plants. Spatio-temporal correlations between aphid and predator populations designate the species studied as important density-dependent mortality factors for the aphid, especially at pesticide free periods.

Field experimentation was supported by laboratory studies. The performance of *A. gossypii* lineages on six cotton cultivars was evaluated during 1997-1998. Individual aphids were kept on cotton leaves in clip-cages and natality, mortality, fecundity, development and survival were recorded. Biological characteristics and demographic parameters were estimated and correlated to cotton leaf pubescence.

Cotton cultivars affected aphid performance and population increase. Aphids performed worse on low trichome density cultivars, while high trichome density was responsible for cotton susceptibility to aphid infestation. Trichome presence did not adversely affect aphid infestation, indicating that other resistance factors may be involved. Differential trichome density and aphid infestation categorization was partially attributed to differential cultivar genealogy.

Furthermore, the contribution of three cotton aphid predators in controlling cotton aphid populations was studied, along with biological traits and demographic parameters and, for the first time regarding Greek predator populations, their predatory activity on this aphid in laboratory controlled conditions during 1998-2000 was evaluated. Predator pairs were reared in special cages. Preimaginal development, mortality and aphid consumption were recorded, and fecundity, adult longevity and demographic parameters were estimated.

The three predatory species showed different traits. *Chrysoperla carnea* s.l. and *Hippodamia convergens* exhibited shorter developmental time and longevity than *Coccinella septempunctata*, which showed high aphid consumption rates and considerable intraspecific variation in preoviposition period. Overall, the results highlighted the potential of the three predators examined as control agents of the cotton aphid. Each species showed different relative advantages, which could be beneficial in certain phases of aphid control in the field.

Lastly, morphometric variation of *A. gossypii* samples from crops and non-cultivated plants in many parts of Greece was examined in 2002-2004, in order to

investigate whether this variation is correlated with aphid hosts origin. Samples of *A. gossypii* were collected from species belonging to the families: Cucurbitaceae, Malvaceae and Compositae. Morphometric data for 13 parameters measured from several clonal lineages were statistically analysed by a series of Canonical Variates Analyses (CVA). Clonal lineages were reared on a common host in controlled conditions to standardize the effect of host and environment on morphology.

The analyses provided a clear morphometric separation of the aphids originating from Compositae and those collected on Cucurbitaceae and Malvaceae, regardless of the geographical origin of the aphids and the host plant on which they were reared. This indicates that within *A. gossypii* there are two genetically isolated and widely distributed host races or subspecies with different plant family associations. The aforementioned morphological separation of host-adapted genotypes is of high taxonomic, as well as of special ecological interest with direct implications to crop protection.

In summary, the results obtained in the present thesis provide novel knowledge on cotton aphid population dynamics and the activity of the aphid's natural enemies. However, the study of population dynamics of *A. gossypii* in a cotton field is complex; nevertheless, its study contributes to the development of Integrated Pest Management schemes in Greek cotton crops.