



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ

ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ

ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ  
75% ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ  
25% ΕΘΝΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ



**ΠΑΙΔΕΙΑ ΜΠΡΟΣΤΑ**  
2<sup>ο</sup> Επιχειρησιακό Πρόγραμμα  
Εκπαίδευσης και Αρχικής  
Επαγγελματικής Κατάρτισης

## ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

### ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΒΙΑΣ ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ

### ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Οικολογική σημασία των υδρόβιων εντόμων και παράγοντες που  
επιδρούν στη βιολογία και ηθολογία τους»



ΤΣΑΡΔΑΚΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ  
ΒΟΛΟΣ 2008

Φώτο Εξώφυλλου

Προνύμφες Simuliidae (Diptera) προσκολλημένες σε βράχους του χειμάρρου Κοντόρεμα Πηλίου  
(Φωτ:Δ.Κ.Σταμόπουλος)

« Οικολογική σημασία των υδρόβιων εντόμων και παράγοντες που  
επιδρούν στη βιολογία και ηθολογία τους»

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

- **Δημήτριος Κ. Σταμόπουλος**, Καθηγητής, Εφαρμοσμένη Εντομολογία-Ζωολογία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**.
- **Δημήτριος Βαφείδης**, Επίκουρος Καθηγητής, Βιοποικιλότητα των Θαλάσσιων Βενθικών Ασπονδύλων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.
- **Νικόλαος Παπαδόπουλος**, Επίκουρος Καθηγητής, Γεωργική Εντομολογία, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.

Αφιερωμένο  
*στην Κονδυλία*

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Δημήτριο Σταμόπουλο για την ευκαιρία που μου έδωσε να αναλάβω την παρούσα εργασία και να συνεργαστώ με το Εργαστήριο Ζωολογίας και Υδρόβιας Εντομολογίας, καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια του καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Ευχαριστώ, επίσης, τα άλλα δυο μέλη της τριμελούς επιτροπής μου, τους Επίκουρους Καθηγητές Δημήτριο Βαφείδη και Νικόλαο Παπαδόπουλο, για τις παρατηρήσεις τους κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Ευχαριστώ τους Άννα Μπλάντα και Παναγιώτη Μανέτο για την πολύτιμη βοήθειά τους, την οικογένεια μου και την Κονδυλία Γιακουμάκη για την στήριξη και αφοσίωσή τους.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας ήταν η μελέτη της οικολογικής σημασίας και του ρόλου που έχουν τα υδρόβια έντομα στα υδρόβια οικοσυστήματα, καθώς και η κατανόηση των μηχανισμών και στρατηγικών που αυτά αναπτύσσουν, προκειμένου να προσαρμοστούν στις ιδιαίτερες συνθήκες που τα συστήματα αυτά απαιτούν.

Τα υδρόβια έντομα ανήκουν στα βενθικά μακροασπόνδυλα, τα οποία είναι βενθικοί μικροσκοπικοί οργανισμοί (200-500mm), και ο βιολογικός τους κύκλος ή τουλάχιστον ένα μέρος αυτού συμπληρώνεται σε υδάτινα οικοσυστήματα. Στα οικοσυστήματα αυτά κυριαρχούν κυρίως γλυκά νερά, τρεχούμενα ή στάσιμα.

Η μελέτη της οικολογίας των υδρόβιων εντόμων αφορά κυρίως τη σημασία τους ως δεικτών ποιότητας των νερών. Τα περισσότερα υδρόβια έντομα είναι δείκτες καλής ως εξαιρετικής ποιότητας των νερών (προνύμφες Εφημερόπτερον, Πλεκόπτερον), ενώ υπάρχουν και είδη-δείκτες κακής ποιότητας (προνύμφες Διπτέρον, όπως Chironomidae). Είναι σημαντικά, επίσης, ως αποικοδομητές της οργανικής ύλης, αφού τη διασπούν και την κάνουν διαθέσιμη στις ανώτερες τάξεις των υδάτινων οικοσυστημάτων. Επιπλέον, η υγειονομική τους σημασία είναι αξιοσημείωτη δεδομένου ότι αρκετά από αυτά, εκτός από την αφόρητη όχληση που προκαλούν σε ανθρώπους και ζώα, είναι και φορείς διαφόρων παθογόνων πρωτοζώων και ιών προκαλώντας σοβαρές ασθένειες, όπως ελονοσία, εγκεφαλίτιδες, ασθένεια του ύπνου, κίτρινο πυρετό, δάγκειο πυρετό, ονχοκερκίαση, λεισμανίαση, που είναι δυνατόν να προκαλέσουν ακόμη και το θάνατο.

Τα υδρόβια έντομα έχουν υιοθετήσει μια τεράστια ποικιλία προσαρμογών, τόσο σε επίπεδο ανατομικών χαρακτηριστικών, όσο και σε επίπεδο φυσιολογίας και συμπεριφοράς. Αυτές οι προσαρμογές, τους επιτρέπουν να απαντώνται σε όλα,

σχεδόν, τα υδάτινα οικοσυστήματα (ψυχρές ή θερμές πηγές, ζώνες παλίρροιας, σε υγροβιότοπους που εξαφανίζονται τις θερμές περιόδους του έτους, σε κοιλότητες κορμών δέντρων που συγκρατούν νερό κ.α.). Ο τρόπος αναπνοής τους κάτω από το νερό, η αντιμετώπιση της αλατότητας, η επιβίωση σε διάφορα αλκαλικά ή όξινα περιβάλλοντα και η αντίσταση στο ρεύμα των τρεχούμενων νερών ήταν μεταξύ των διάφορων στοιχείων που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Μια ενδεικτική προσέγγιση της οικολογικής τους σημασίας αφενός και των παραγόντων που μπορούν να επιδράσουν στην βιοοικολογία τους αφετέρου, επιχειρήθηκε στο πειραματικό μέρος, όπου και μελετήθηκε το ποσοστό αποικοδόμησης της οργανικής ύλης από προνύμφες του *Halesus Stephens* (Trichoptera: Limnephilidae), σε διαφορετικές θερμοκρασίες (11 °C, 16 °C, 26 °C). Τα αποτελέσματα του πειράματος αυτού ήταν ότι η θερμοκρασία παίζει ρόλο στην αποικοδόμηση της οργανικής ύλης, χωρίς όμως να διαπιστώνεται-τουλάχιστον για τις περιορισμένες συνθήκες του πειράματος- ότι υπάρχει υψηλός βαθμός συσχέτισης μεταξύ των δυο αυτών παραγόντων. Επίσης, μελετήθηκε η τοξικότητα των νιτρικών αλάτων στην επιβίωση των προνυμφών *Halesus Stephens* (Trichoptera: Limnephilidae) και των ενήλικων *Agabus Leach* (Coleoptera: Dytiscidae). Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι οι προνύμφες των Τριχόπττερων είναι ευαίσθητες στα νιτρικά άλατα, ενώ τα ενήλικα Κολεόπτερα εμφανίστηκαν αρκετά ανθεκτικά σε υψηλές συγκεντρώσεις αυτών.

*Λέξεις Κλειδιά:* Υδρόβια έντομα, οικολογία, προσαρμογές, αποικοδόμηση οργανικής ύλης, τοξικότητα.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>9</b>
<b>2. ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΒΙΩΝ ΕΝΤΟΜΩΝ</b>	<b>13</b>
<b>2.1 ΒΙΟΟΙΚΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΤΑΞΕΩΝ ΥΔΡΟΒΙΩΝ ΕΝΤΟΜΩΝ</b>	<b>13</b>
<b>2.1.1 Τάξη Εφημερόπτερα</b>	<b>13</b>
<b>2.1.2 Τάξη Οδοντόγναθα</b>	<b>17</b>
<b>2.1.3. Τάξη Πλεκόπτερα</b>	<b>20</b>
<b>2.1.4 Τάξη Τριχόπτερα</b>	<b>22</b>
<b>2.1.5 Τάξη Ημίπτερα</b>	<b>25</b>
<b>2.1.6 Τάξη Μεγαλόπτερα</b>	<b>27</b>
<b>2.1.7 Τάξη Κολεόπτερα</b>	<b>29</b>
<b>2.1.8 Τάξη Δίπτερα</b>	<b>32</b>
<b>2.2 ΤΑ ΥΔΡΟΒΙΑ ΕΝΤΟΜΑ ΩΣ ΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΤΕΣ ΤΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΥΛΗΣ</b>	<b>35</b>
<b>2.3 ΤΑ ΥΔΡΟΒΙΑ ΕΝΤΟΜΑ ΩΣ ΒΙΟΔΕΙΚΤΕΣ</b>	<b>42</b>
<b>2.4 ΥΓΙΕΙΝΟΜΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΒΙΩΝ ΕΝΤΟΜΩΝ</b>	<b>44</b>
<b>3. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΒΙΟΛΟΓΙΑ-ΗΘΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΒΙΩΝ ΕΝΤΟΜΩΝ</b>	<b>52</b>
<b>3.1 Διαλυτότητα του Οξυγόνου-Αναπνοή</b>	<b>52</b>
<b>3.1.1 Κλειστά συστήματα</b>	<b>53</b>
<b>3.1.2 Ανοιχτά συστήματα</b>	<b>57</b>
<b>3.2 Θερμοκρασία</b>	<b>64</b>
<b>3.3 Ωσμωρύθμιση</b>	<b>66</b>
<b>3.4 Οξύτητα και Αλκαλικότητα</b>	<b>67</b>

<b>3.5</b>	<b>Υπόστρωμα</b>	<b>68</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Οργανικά υποστρώματα</b>	<b>69</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Ανόργανα υποστρώματα</b>	<b>69</b>
<b>3.5.3</b>	<b>Χαρακτηριστική πανίδα σημαντικών κατηγοριών υποστρωμάτων</b>	<b>70</b>
<b>3.6</b>	<b>Μορφολογικές προσαρμογές και συμπεριφορά στο ρεύμα του νερού</b>	<b>75</b>
<b>3.7</b>	<b>Άλλες προσαρμογές και συμπεριφορές των υδρόβιων εντόμων</b>	<b>78</b>
<b>4.</b>	<b>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	<b>81</b>
<b>4.1</b>	<b>Αποικοδόμηση της οργανικής ύλης από προνύμφες <i>Halesus Stephens</i></b>	<b>81</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>81</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Σκοπός του πειράματος</b>	<b>82</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Υλικά και Μέθοδοι</b>	<b>83</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Αποτελέσματα-Συζήτηση</b>	<b>90</b>
<b>4.2</b>	<b>Επίδραση των νιτρικών αλάτων σε προνύμφες <i>Halesus Stephens</i> και ενήλικα <i>Agabus Leach</i></b>	<b>92</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Σκοπός του πειράματος</b>	<b>92</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>92</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Υλικά και Μέθοδοι</b>	<b>94</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Αποτελέσματα-Συζήτηση</b>	<b>95</b>
<b>4.3</b>	<b>Γενικά Συμπεράσματα</b>	<b>98</b>
<b>5.</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>100</b>
<b>5.1</b>	<b>Ξένη βιβλιογραφία</b>	<b>100</b>
<b>5.2</b>	<b>Ελληνική βιβλιογραφία</b>	<b>107</b>
<b>5.3</b>	<b>Ηλεκτρονική βιβλιογραφία</b>	<b>107</b>
<b>6.</b>	<b>Abstract</b>	<b>109</b>
<b>7.</b>	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>	<b>111</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα βενθικά μακροασπόνδυλα απαντώνται σε όλα τα υδάτινα οικοσυστήματα, τρεχούμενα ή στάσιμα νερά, στα οποία είναι απαραίτητα, γιατί αποικοδομούν την οργανική ύλη και τη μεταφέρουν στις ανώτερες τάξεις της τροφικής αλυσίδας των υδάτινων οικοσυστημάτων. Η έννοια “βενθικά” σημαίνει ότι αυτοί οι οργανισμοί ζουν στο βένθος (κατώτερο υπόστρωμα) των οικοσυστημάτων για τουλάχιστον ένα μέρος του βιολογικού τους κύκλου, ενώ η έννοια “μάκρο” δείχνει ότι οι οργανισμοί αυτοί αιχμαλωτίζονται από δίχτυ μεγέθους περίπου (200 -500 mm) (Rosenberg et al., 1996).

Η πιο ποικιλόμορφη ομάδα βενθικών μακροασπονδύλων, τα υδρόβια έντομα, αποτελούν μόνο το 3 ως 5 % όλων των ειδών των εντόμων, ενώ υπάρχουν πάνω από 50000 περιγραφέντα είδη παγκοσμίως (Smith, 2005).

Υπάρχουν έντομα στις τάξεις Εφημερόπτερα, Οδοντόγναθα, Πλεκόπτερα, Τριχόπτερα, Ημίπτερα, Μεγαλόπτερα, Κολεόπτερα και Δίπτερα, των οποίων ο βιολογικός κύκλος ή τουλάχιστον ένα μέρος αυτού, συμπληρώνεται σε υγροβιότοπους. Μερικές φορές, ως ημιυδρόβια έντομα, χαρακτηρίζονται ορισμένα είδη της τάξης Ορθόπτερα, από το γεγονός και μόνο ότι βυθίζονται προσωρινά μέσα στο νερό για να αποφύγουν τους θηρευτές τους (Σταμόπουλος, 2007). Η συστηματική κατάταξη των τάξεων υδρόβιων εντόμων φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 1.

**Πίνακας 1.** Συστηματική κατάταξη των υδρόβιων εντόμων ( πηγή: Merritt and Cummins, 1996)

<b>Ταξινομική διαίρεση</b>	<b>Όνομα</b>
<b>Βασίλειο</b>	<b>Ζώα</b>
<b>Φύλο</b>	<b>Αρθρόποδα</b>
<b>Κλάση</b>	<b>Έντομα</b>
<b>Υπόκλαση</b>	<b>Πτερυγωτά-Παλεόπτερα</b>
<b>Τάξεις</b>	<b>Οδοντόγναθα, Εφημερόπτερα</b>
<b>Υποκλάση</b>	<b>Πτερυγωτά-Νεόπτερα</b>
<b>Διαίρεση</b>	<b>Εξοπτερύγωτα</b>
<b>Τάξεις</b>	<b>Πλεκόπτερα, Ημίπτερα</b>
<b>Διαίρεση</b>	<b>Ενδοπτερύγωτα</b>
<b>Τάξεις</b>	<b>Μεγαλόπτερα, Τριχόπτερα, Κολεόπτερα, Δίπτερα, Λεπιδόπτερα</b>

Τα υδρόβια έντομα έχουν υιοθετήσει μια τεράστια ποικιλία προσαρμογών τόσο σε επίπεδο ανατομικών χαρακτηριστικών όσο και σε επίπεδο φυσιολογίας και συμπεριφοράς. Αν και τα περισσότερα υδρόβια έντομα αναπνέουν ατμοσφαιρικό αέρα με τους ίδιους σχεδόν τρόπους όπως τα χερσαία έντομα, αρκετά είδη έχουν αναπτύξει διάφορες στρατηγικές, ώστε αυτό να μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια που βρίσκονται μέσα στο νερό. Έτσι, αρκετά είδη ανεβαίνουν συχνά στην επιφάνεια του νερού για την πρόσληψη ατμοσφαιρικού αέρα, ενώ άλλα μεταφέρουν μια φυσαλίδα ή ένα στρώμα αέρα κάτω από το νερό, στα σώματά τους. Η φυσαλίδα αυτή μπορεί να ανανεώνεται συχνά με μια επιστροφή στην επιφάνεια (π.χ. τα Κολεόπτερα Dytiscidae), ενώ το στρώμα αέρα συγκρατείται με μια ειδική διάταξη (plastron) η οποία τα βοηθάει να παραμένουν για αρκετό χρονικό διάστημα κάτω από το νερό (π.χ. το Ημίπτερο *Aphelocheirus aestivalis*) (Romoser and Stoffolano, 1988).

Όσον αφορά άλλες προσαρμογές των υδρόβιων εντόμων, θα μπορούσαμε να συμπεριλάβουμε την αντοχή τους σε διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, την αντιμετώπιση αυξημένης αλατότητας, αλκαλικότητας και οξύτητας των νερών, καθώς και τη διαβίωσή τους σε τρεχούμενα νερά όπου θα πρέπει να υπερνικήσουν τα έντονα ρεύματα που αναπτύσσονται. Θα μπορούσαμε επίσης να αναφερθούμε και σε διάφορες άλλες προσαρμογές όπως αυτή της κατασκευής προστατευτικών θηκών από πολλές οικογένειες Τριχόπτερον, την αποφυγή των θηρευτών τους με αρκετές τακτικές, όπως καμουφλαζ, προσποίηση ότι είναι νεκρά, έκκριση δύσσομου υγρού και κυρίως τροπή σε φυγή με μεγάλη ταχύτητα πάνω στην επιφάνεια του νερού.

Η έμφαση στη μελέτη των υδρόβιων εντόμων υπήρξε αποτέλεσμα της εκρηκτικής εξέλιξης, που σημειώθηκε στην επιστήμη της οικολογίας τις τελευταίες δεκαετίες (Σταμόπουλος, 2007). Τα υδρόβια έντομα άρχισαν να παρουσιάζουν ενδιαφέρον ως δείκτες ποιότητας των νερών μετά την δεκαετία του 1950, ενώ ως τότε ενδιέφεραν κυρίως τον κύκλο των ψαράδων που τα χρησιμοποιούσαν ως δολώματα για τα ψάρια (Merritt and Cummins, 1996).

Οι μελέτες που ακολούθησαν, ανέδειξαν τα υδρόβια έντομα ως ιδανικούς δείκτες της ποιότητας των νερών, ενώ μερικοί μελετητές προχώρησαν και στη χρήση τους ως δεικτών ρύπανσης των νερών από γεωργικά φάρμακα, χημικά απόβλητα και άλλους ρύπους (Mandaville, 2002). Άλλοι μελετητές, ασχολήθηκαν με τις διατροφικές συνθήκες των υδρόβιων εντόμων και το ρόλο τους στην αποικοδόμηση της οργανικής ύλης και προχώρησαν στη συστηματική τους κατάταξη με βάση των κατηγοριών των διατροφικών τους συνηθειών (Wallace and Merritt, 1980).

Τέλος, η υγειονομική σημασία των υδρόβιων εντόμων είναι εξίσου σημαντική, δεδομένου ότι τα ενήλικα άτομα πολλών οικογενειών Διπτέρων (π.χ. Culicidae, Simuliidae, Tabanidae), μυζούν αίμα και προκαλούν όχληση στον

άνθρωπο και σε παραγωγικά ή κατοικίδια ζώα, χωρίς να παραβλεφθεί το γεγονός ότι μπορεί να είναι και φορείς ασθενειών, όπως η ελονοσία, ο δάγκειος πυρετός, η ελεφαντίαση, η ασθένεια του ύπνου και πολλές εγκεφαλίτιδες (Τζανακάκης, 1995).

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, ασχοληθήκαμε με την οικολογία των υδρόβιων εντόμων, τις προσαρμογές τους στα υδάτινα οικοσυστήματα και με τους παράγοντες που επηρεάζουν τη βιολογία και την ηθολογία τους. Στο πειραματικό μέρος, μελετήθηκε το ποσοστό αποικοδόμησης της οργανικής ύλης που κατανάλωσαν προνύμφες *Halesus* Stephens (Trichoptera: Limnephilidae), σε διαφορετικές θερμοκρασίες (11 °C, 16 °C, 26 °C) και η τοξικότητα των νιτρικών αλάτων στην επιβίωση των προνυμφών *Halesus* Stephens (Trichoptera: Limnephilidae) και των ενήλικων *Agabus* Leach (Coleoptera: Dytiscidae). Η περιοχή δειγματοληψίας βρίσκεται στο όρος Πήλιο και συγκεκριμένα ο χείμαρρος Κοντόρεμα. Τα είδη που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σε αφθονία στο χείμαρρο και τα νιτρικά άλατα αποτελούν ένα συχνό στρεσογόνο παράγοντα για τους υδρόβιους οργανισμούς, που απαντάται αρκετά συχνά στα υδάτινα οικοσυστήματα.

## 2. ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΒΙΩΝ ΕΝΤΟΜΩΝ

### 2.1 ΒΙΟΟΙΚΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΤΑΞΕΩΝ

#### ΥΔΡΟΒΙΩΝ ΕΝΤΟΜΩΝ

##### 2.1.1 Τάξη Εφημερόπτερα (Ephemeroptera-Mayflies)

Η τάξη των Εφημερόπτερον απαρτίζεται από περίπου 3000 περιγραφέντα είδη και εμφανίζουν μεγάλη βιοποικιλότητα σε εύκρατες περιοχές (Gullan and Cranston, 2005). Ονομάζονται επίσης και Πλεκτόπτερα (Τζανακάκης, 1995). Η τάξη αυτή πήρε το όνομά της λόγω της εφήμερης ζωής του ενηλικού (Smith, 2005).

#### Στοιχεία βιολογίας

Τα Εφημερόπτερα είναι ημιμετάβολα έντομα, τα οποία είναι γνωστά για την εφήμερη ζωή των ενηλικών που διαρκεί συνήθως από 2 ώρες ως και 3 ημέρες (Mandaville, 1999). Τα ενήλικα είναι μετρίου ή μικρού μεγέθους, με μακρύ και μαλακό σώμα και με 2 ή 3 λεπτές και μακριές αποφύσεις στην άκρη της κοιλίας. Τα στοματικά μόρια είναι ατροφικά και οι κεραίες μικρές και σμηριγγοειδείς. Οι πτέρυγες είναι μεμβρανοειδείς με πολλά κατά μήκος, εγκάρσια νεύρα. Οι πρόσθιες είναι σχετικά μεγάλες και τριγωνικές, ενώ οι οπίσθιες είναι πολύ μικρότερες και καμιά φορά υποτυπώδεις (Τζανακάκης, 1995).

Οι προνύμφες είναι καμποδεόμορφες, συνήθως με 2 μακριές κέρκους και μεσαία ουραία απόφυση (Εικόνες 1 και 2). Έχουν συνήθως μέγεθος 3-20 mm (χωρίς την ουρά), ενώ μερικά είδη μπορεί να φτάσουν και τα 30mm ή και περισσότερο. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής τους υφίστανται ένα μεγάλο αριθμό εκδύσεων, που ανάλογα με το είδος μπορεί να κυμαίνεται από 12 (*Baetisca rogersi*) ως 45 (*Stenacron interpunctatum*). Οι περισσότερες προνύμφες έχουν 7 ζευγάρια

φυλλόμορφων ή ελασματοειδών βραγχίων κατά μήκος των πλευρών της κοιλίας, για να προσλαμβάνουν οξυγόνο από το νερό (Σταμόπουλος 2007, Τζανακάκης 1995, McCafferty 1998).



**Εικόνα 1.** Προνύμφη *Potamanthus luteus* (Φωτ.: Peter Maihofer, πηγή: [www.famu.org](http://www.famu.org))

Ο βιολογικός τους κύκλος διαρκεί περίπου ένα χρόνο (Smith, 2005).

### **Ενδιατήματα και Διασπορά**

Οι προνύμφες των Εφημεροπτέρων απαντώνται συνήθως σε κρύα, καλά οξυγονωμένα, τρεχούμενα νερά, ενώ λιγότερα είδη συναντούμε και σε ρυάκια με αργή ροή καθώς και σε λίμνες με κρύα νερά (Gullan and Cranston, 2005). Παρόλα αυτά, αρπακτικές προνύμφες παρατηρήθηκαν σε αποσυνθετημένα φυτικά υπολείμματα στάσιμων νερών (Σταμόπουλος, προσωπ. επικ.).





**Εικόνα 2.** Προνύμφη *Heptagenia sulphurea* (Φωτ.: Peter Maihofer, πηγή: [www.famu.org](http://www.famu.org))

Τα ενήλικα συνήθως υπερίπτανται των υδάτινων οικοσυστημάτων, ενώ τα αρσενικά σχηματίζουν σμήνη για να προσελκύσουν τα θηλυκά (Εικόνα 3) (Σταμόπουλος, 2007).



**Εικόνα 3.** Ενήλικο Εφημερόπτερο (Φωτ.: Pavel Krasensky, πηγή: [www.naturfoto.cz](http://www.naturfoto.cz))

### Διατροφικές συνήθειες

Οι προνύμφες είναι κυρίως φυτοφάγες (άλγη και διάτομα) ή θρυμματοφάγες, ενώ μερικά είδη είναι αρπακτικά άλλων υδρόβιων οργανισμών (Gullan and Cranstson, 2005).

Τα ενήλικα, λόγω της μικρής διάρκειας της ζωής τους, δεν προσλαμβάνουν τροφή, καθότι τα στοματικά τους μύρια είναι υποτυπώδη (Bouchard, 2004).

### **Οικολογική σημασία**

Τα Εφημερόπτερα είναι η πιο συνηθισμένη και σημαντική τάξη μιας βενθικής κοινότητας. Επειδή τα περισσότερα είδη είναι φυτοφάγα και αποτελούν σπουδαία τροφή πολλών υδρόβιων σαρκοφάγων, όπως εντόμων και ψαριών, κατέχουν σημαντική θέση στην υδρόβια τροφική αλυσίδα (McCafferty, 1998)

Οι προνύμφες αρκετών ειδών Εφημερόπτερον θεωρούνται δείκτες εξαιρετικής ποιότητας νερών στα υδάτινα οικοσυστήματα (Σταμόπουλος, 2007).

Μειωμένοι πληθυσμοί παρατηρήθηκαν σε ποτάμια υποκείμενα αστικών και βιομηχανικών περιοχών (Schloesser, 1988), ενώ είναι ευαίσθητα στην οξύτητα των νερών, παρουσιάζοντας μειωμένη ποικιλομορφία ή/και αφθονία σε περιοχές με χαμηλό pH (Hopkins et al., 1989).

Μερικά είδη μπορούν να ανεχθούν διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, αυξημένο οργανικό φορτίο ή αυξημένες ιζηματογενείς αποθέσεις. Οι προνύμφες *Baetis thermicus* είναι από τα πιο ανθεκτικά υδρόβια έντομα στη ρύπανση με βαρέα μέταλλα, ενώ έχουν αποδειχθεί ευαίσθητες στα εντομοκτόνα. Οι προνύμφες *Hexagenia limbata* έχουν χρησιμοποιηθεί σε μελέτες τοξικότητας του βένθους των ποταμών και είναι ανθεκτικές σε ρύπανση με έλαια (Gullan and Cranston 2005, Giesy et al. 1990, Heliovaara and Vaisanen 1993, Suzuki et al. 1988).

Οι ερασιτέχνες ψαράδες των ποταμών τα χρησιμοποιούν ως δόλωμα ή κατασκευάζουν τεχνητά δολώματα που μοιάζουν με τα ενήλικα ή τα προνυμφικά τους στάδια για να προσελκύσουν τις πέστροφες και τους σολομούς (McCafferty, 1998).

Είναι πολλά εκείνα τα είδη, των οποίων τα αρσενικά ενήλικα άτομα σχηματίζουν σμήνη με απώτερο σκοπό την προσέλκυση των θηλυκών, προκαλώντας ένα εντυπωσιακό θέαμα αλλά και συνάμα όχληση στους ανθρώπους (Σταμόπουλος, 2007).

### 2.1.2 Τάξη Οδοντόγναθα (Odonata-Dragonflies and Damselflies)

Η τάξη των Οδοντόγναθων αποτελείται από περίπου 5500 περιγραφέντα είδη και διαιρείται σε δυο υποτάξεις: τα Ζυγόπτερα (damselflies) και τα Ανισόπτερα (dragonflies) (Gullan and Cranston, 2005).

#### Στοιχεία βιολογίας και ενδιαίτηματα

Τα Οδοντόγναθα είναι ημιμετάβολα έντομα, των οποίων τα ενήλικα στάδια έχουν σχετικά μεγάλη διάρκεια ζωής (μερικές εβδομάδες ως μερικούς μήνες) (Mandaville, 1999).



**Εικόνα 4.** Σύζευξη Libellulidae (Anisoptera) σε φυτά Juncus (Φωτ.: Δ.Κ.Σταμόπουλος)

Τα ενήλικα είναι σχετικά μεγάλα έντομα, με μήκος σώματος που κυμαίνεται μεταξύ 22-85 mm, άνοιγμα πτερύγων 25-115 mm και τις περισσότερες φορές με

ωραίους χρωματισμούς (Εικόνα 4). Φέρουν δυο ζεύγη μεμβρανωδών πτερύγων με πολλές κατά μήκος και εγκάρσιες νευρώσεις και συνήθως ένα σκοτεινόχρωμο στίγμα κοντά στη κορυφή τους, ενώ φέρουν εδραία ή ουραία βράγχια (Σταμόπουλος, 2007).

Οι προνύμφες έχουν μήκος σώματος 10 ως 60 mm (Εικόνα 5). Η ανάπτυξη των νυμφικών σταδίων ποικίλλει ανάλογα με τη θερμοκρασία και τη διαθεσιμότητα της τροφής. Οι εκδύσεις που μπορεί να έχει μια προνύμφη φτάνουν στις 20, ενώ η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται από 2 ως 4 χρόνια, ανάλογα με τη θερμοκρασία του νερού στο οποίο ζουν (McCafferty 1998, Smith 2005).



**Εικόνα 5.** Προνύμφη Ανισόπτερα Odonata (Φωτ.: N.Sloth, πηγή: [www.biopix.dk](http://www.biopix.dk))

Οι προνύμφες είναι αποκλειστικά υδρόβιες. Τα ενήλικα άτομα ζουν πλησίον διάφορων τύπων υδροβιοτόπων, με την πλειονότητα των ειδών να απαντώνται σε γλυκά νερά. Ελάχιστα είναι εκείνα τα είδη που συχνάζουν σε υφάλμυρα νερά, στα δέλτα των ποταμών ή σε βράχους ακτών όπου σχηματίζονται μικροί νερόλακκοι από θαλασσίνο νερό μαζί με νερό της βροχής (McCafferty 1998, Σταμόπουλος 2007).

### **Διατροφικές συνήθειες**

Οι προνύμφες είναι όλες σαρκοφάγες, θηρεύοντας μικρά καρκινοειδή, άλλα υδρόβια έντομα, ασπόνδυλα και μικρά ψάρια (Smith, 2005).

Τα ενήλικα άτομα είναι αρπακτικά άλλων μικρότερων εντόμων, όπως Διπτέρων (κυρίως κουνούπια) και Υμενοπτέρων, αλλά και γυρίνων, μικρών ψαριών κ.λ.π.. Τα στοματικά τους μόρια είναι μασητικού τύπου και έχουν το κάτω χείλος μακρύ και αρθρωτό, ώστε να αποτελεί ισχυρό αρπακτικό όργανο για τη σύλληψη της τροφής τους (Σταμόπουλος 2007).

### **Οικολογική σημασία**

Οι προνύμφες των Οδοντόγναθων απαντώνται σε υγροβιότοπους μη όξινους, πλούσιους σε θρεπτικά συστατικά και με απουσία ψαριών, όπου δίνεται η δυνατότητα συνύπαρξης πολλών ειδών.

Η ανοχή τους στη μόλυνση ποικίλει σημαντικά, ανάλογα με την οικογένεια που αυτό ανήκει. Έτσι, ενώ είδη της οικογένειας Gomphidae κατατάσσονται στα πολύ ευαίσθητα είδη (βαθμός ανοχής 1), άτομα των οικογενειών Lestidae, Coenagrionidae και Libellulidae κατατάσσονται στα πολύ ανθεκτικά (βαθμός ανοχής 9) (Σταμόπουλος, 2007).

Η εφαρμογή εντομοκτόνων, όπως π.χ. πυρεθροειδών, επηρεάζει αρνητικά την φυσιολογική ανάπτυξη των προνυμφών, οδηγώντας πολλές φορές και στο θάνατο (Smies et al., 1980).

Συγκεκριμένα είδη μπορεί να έχουν οικονομική σημασία, λόγω της σημαντικής θήρευσης αρκετών ειδών εντόμων υγειονομικής σημασίας, π.χ. προνύμφες κουνουπιών ( McCafferty, 1998).

### 2.1.3 Τάξη Πλεκόπτερα (Plecoptera-Stoneflies)

Η τάξη των Πλεκοπτέρων απαρτίζεται από περίπου 2000 περιγραφέντα είδη παγκοσμίως, που ανήκουν σε 16 οικογένειες (Gullan and Cranston, 2005).

#### Στοιχεία βιολογίας και ενδιαίτηματα

Τα Πλεκόπτερα είναι ημιμετάβολα έντομα. Οι προνύμφες τους είναι σχεδόν όλες υδρόβιες, καμποδεόμορφες, με μακριές κεραίες και συνήθως μακριές κέρκους (Εικόνα 6). Το μήκος τους μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 35mm. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής τους, οι προνύμφες μπορεί να εμφανίσουν μέχρι και 33 ενδιάμεσα στάδια μέχρι την μεταμόρφωσή τους σε ενήλικα, ενώ ο βιολογικός τους κύκλος διαρκεί συνήθως 2 χρόνια, και μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 5 χρόνια, ανάλογα με το είδος (Τζανακάκης 1995, Gullan and Cranston 2005, Smith 2005).



**Εικόνα 6.** Προνύμφη *Leuctra hippopus* (Φωτ.: N. Sloth, πηγή: [www.biopix.dk](http://www.biopix.dk))

Συνήθως έχουν τραχειακά βράγχια σε διάφορες θέσεις του σώματος. Βρίσκονται κάτω από πέτρες μέσα σε ρυάκια ή σε ποτάμια ή κοντά σε καταρράκτες και γενικά έχουν υψηλές απαιτήσεις σε καθαρά και καλά οξυγονωμένα νερά. Λίγα μόνο είδη συναντούμε σε λίμνες ή σε λιμνάζοντα νερά, που ζουν κυρίως σε ολιγοτροφικά περιβάλλοντα και σε μάλλον υψηλά υψόμετρα. Τα ενήλικα άτομα

συνήθως τα συναντούμε να αναπαύονται στους βράχους ποταμών και χειμάρρων (Εικόνα 7) (Τζανακάκης 1995, Σταμόπουλος 2007).



**Εικόνα 7.** Ενήλικο Πλεκόπτερο της οικογένειας Isoperlinae (πηγή: [www.pbase.com](http://www.pbase.com))

### **Διατροφικές συνθήκες**

Οι προνύμφες είναι συνήθως φυτοφάγες, ενώ υπάρχουν αρκετά σαρκοφάγα ή παμφάγα είδη. Σε μερικά είδη τα ενήλικα τρέφονται, συνήθως, με άλγη, ενώ άλλα είδη δεν τρέφονται καθόλου (Mandaville 1999, Gullan and Cranston 2005).

### **Οικολογική σημασία**

Οι προνύμφες των Πλεκοπτέρων έχουν υψηλές απαιτήσεις σε καθαρά και καλά οξυγονωμένα νερά (Σταμόπουλος, 2007). Είναι εξαιρετικά ευαίσθητες στη μόλυνση των νερών και ο εμπλουτισμός με οργανικό φορτίο ή άλλες μορφές ρύπανσης, που μειώνουν τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό, συμβάλλουν στον αφανισμό τους από τα ενδαιτήματα (McCafferty, 1998). Για αυτούς τους λόγους, χρησιμοποιούνται ως δείκτες καθαρότητας των νερών (Σταμόπουλος, 2007). Τα Πλεκόπτερα είναι πιο ανεκτικά στην οξύτητα των νερών, από τα Εφημερόπτερα (Heliovaara and Vaisanen, 1993).

Τα είδη των οικογενειών Perlidae και Chloroperlidae είναι θηρευτές προνυμφών Εφημερόπτερον και άλλων μικρών υδρόβιων εντόμων, ενώ οι προνύμφες τους αποτελούν σπουδαία πηγή τροφής για τα ψάρια που ζουν σε ψυχρά ορεινά ποτάμια (π.χ. πέστροφες και πέρκες) (Σταμόπουλος, 2007).

#### **2.1.4 Τάξη Τριχόπτερα (Trichoptera-Caddisflies)**

Τα Τριχόπτερα είναι, μετά την τάξη των Διπτέρων, η πολυπληθέστερη τάξη υδρόβιων εντόμων με περίπου 11000 είδη και περισσότερες από 40 οικογένειες ανά τον κόσμο. Μοιάζουν με Λεπιδόπτερα, ενώ πιστεύεται ότι οι πρόγονοί τους ήταν χερσαία είδη (Gullan and Cranston 2005).

#### **Στοιχεία βιολογίας και ενδιαίτηματα**

Τα Τριχόπτερα είναι ολομετάβολα έντομα. Οι προνύμφες όλων των ειδών είναι υδρόβιες, εκτός λίγων εξαιρέσεων (Smith, 2005).

Κατά κανόνα, κατασκευάζουν θήκη (κολεό) μέσα στην οποία ζουν και την οποία κουβαλούν μαζί τους, όταν μετακινούνται (Εικόνα 8). Η θήκη αποτελείται από μετάξινο πλέγμα, πάνω στο οποίο οι προνύμφες προσκολλούν διάφορα υλικά. Το σχήμα και τα δομικά υλικά της θήκης ποικίλλουν με το είδος του εντόμου. Υπάρχουν όμως και προνύμφες που ζουν χωρίς θήκη κάτω από πέτρες ή σε άλλες προστατευμένες θέσεις μέσα στο νερό. Οι προνύμφες ορισμένων ειδών κατασκευάζουν και δίχτυ, όπως οι αράχνες, για να συλλαμβάνεται εκεί η λεία τους. Οι προνύμφες μπορεί να έχουν μήκος 2 ως 40 mm (Τζανακάκης 1995, McCafferty 1998).

Απαντώνται σχεδόν σε όλα τα υδάτινα οικοσυστήματα, με τη μεγαλύτερη βιοποικιλότητα να εμφανίζεται σε κρύα τρεχούμενα νερά (Mandaville, 1999).





**Εικόνα 8.** Προνύμφη *Halesus radiatus* (Φωτ.: N. Sloth, πηγή: [www.biorix.dk](http://www.biorix.dk))

Τα ενήλικα Τριχόπτερα είναι έντομα μικρά σε μέγεθος της τάξης του 1.5mm (Hydroptilidae) ως 4cm (Limnephilidae) και δραστηριοποιούνται κυρίως τη νύχτα (Εικόνα 9).



**Εικόνα 9.** Ενήλικο Τριχόπτερο (πηγή: [www.fotoblog.in](http://www.fotoblog.in))

### Διατροφικές συνήθειες

Τα ενήλικα άτομα τρέφονται με νέκταρ ή νερό, αλλά συνήθως δεν τρέφονται (Gullan and Cranston, 2005). Οι τροφικές συνθήκες των προνυμφών διαφέρουν

ανάλογα το είδος και το ηλικιακό στάδιο στο οποίο βρίσκονται. Έτσι, ανάλογα με το είδος, μπορεί να είναι αρπακτικά, τεμαχιστές και/ή συλλέκτες οργανικής ύλης και μερικοί διατρητές μακροφύτων (Εικόνα 10) (Smith, 2005).



**Εικόνα 10.** Προνύμφες *Halesus Stephens*, οι οποίες τρέφονται με φύλλα οξυάς  
(Φωτ.: Δ.Κ.Σταμόπουλος)

### **Οικολογική σημασία**

Όπως τα Εφημερόπτερα και τα Πλεκόπτερα, αρκετά είδη Τριχόπτερον απαντώνται σε καθαρά και καλά οξυγονωμένα νερά και για αυτό θεωρούνται δείκτες υψηλής καθαρότητας νερών. Τα περισσότερα είδη είναι πολύ ευαίσθητα σε χαμηλές τιμές pH (< 4-5) (Σταμόπουλος, 2007).

Ορισμένα είδη Τριχόπτερον θεωρούνται ανθεκτικά στη μόλυνση των νερών (Clubb et al., 1975), αν και υπάρχουν αρκετά ευαίσθητα είδη (Warnick and Bell, 1969). Το πιο ανεκτικό είδος Τριχόπτερου στην Κεντρική Ευρώπη, θεωρείται το *Hydropsyche contubernalis*. Στη Νότια Ευρώπη, το *H.modesta*, ήταν το μόνο είδος Τριχόπτερου, το οποίο βρέθηκε σε πολύ ρυπασμένες περιοχές του ποταμού Τίβερη στη Ρώμη (Williams and Hynes, 1976).

Τα Τριχόπτερα θεωρούνται χρήσιμα ως αποικοδομητές της οργανικής ύλης (Mandaville, 1999). Οι προνύμφες της οικογένειας Hydropsychidae φιλτράρουν σωματίδια από το νερό χρησιμοποιώντας μετάξινα πλέγματα. Είδη του γένους *Macronema* καταναλώνουν λεπτά οργανικά σωματίδια, ενώ τα *Cheumatopsyche* καταναλώνουν μεγαλύτερα σωματίδια και μικρά ασπόνδυλα (Heliovaara and Vaisanen, 1993).

### 2.1.5 Τάξη Ημίπτερα (Hemiptera-Water Bugs)

Ανάμεσα σε αυτά τα ημιμετάβολα έντομα, υπάρχουν περίπου 4000 υδρόβια και ημιυδρόβια (μαζί με τα θαλάσσια) είδη σε περίπου 20 οικογένειες παγκοσμίως . Υπάρχουν 3 υποτάξεις (Gerromorpha, Leptorodomorpha, και Nepomorpha). Σε αντίθεση με άλλα υδρόβια έντομα, τα ενήλικα και τα προνυμφικά τους στάδια συνδέονται με το νερό, και μοιράζονται το ίδιο ενδιαίτημα, ενώ έχουν και παρόμοια μορφή σώματος (Lehmkuhl, 1979).



**Εικόνα 11.** Ενήλικο *Gerris gibbifer* (Φωτ.: Pavel Krasensky, πηγή: [www.naturfoto.cz](http://www.naturfoto.cz))

#### Στοιχεία βιολογίας και ενδιαίτηματα

Τα περισσότερα υδρόβια Ημίπτερα απαντώνται σε στάσιμα νερά, αλλά αρκετά είδη βρίσκονται τόσο σε τρεχούμενα νερά όσο και σε υφάλμυρα, κοντά στην

παλιρροϊκή ζώνη και σε θαλάσσια ενδιαιτήματα (Cheng, 1985). Στην τάξη αυτή ανήκει και το μοναδικό ωκεάνιο είδος εντόμου, το *Halobates*, το οποίο είναι άπτερο και τρέφεται με ζωοπλαγκτόν (Andersen and Cheng, 2005). Πιο γνωστές οικογένειες Ημίπτερων είναι οι Corixidae, Nepidae, Belostomatidae, Naucoridae, Gerridae (Εικόνα 11), Veliidae και Notonectidae (Εικόνα 12) (Smith, 2005).



**Εικόνα 12.** *Cymatia coleoptrata* (Φωτ.: Pavel Krasensky, πηγή: www.naturfoto.cz)

### Οικολογική σημασία

Τα υδρόβια Ημίπτερα παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην οικολογία των υδάτινων οικοσυστημάτων. Αποτελούν σημαντική τροφή για πολλούς οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων των ψαριών, των αμφιβίων, των υδρόβιων πουλιών και άλλων ζώων (McCafferty, 1998). Αυτά τα υδρόβια έντομα κατέχουν σημαντική θέση στην τροφική αλυσίδα, αφού εκτός από λεία, είναι σημαντικοί θηρευτές άλλων ζώων. Σε μια μελέτη ενός οικοσυστήματος στην Αριζόνα, ένα είδος *Belostoma* κατανάλωσε περισσότερη λεία (μικρά αμφίποδα) από άλλους ικανότερους θηρευτές, όπως είναι π.χ. οι προνύμφες Οδοντόγναθων (Runck and Blinn, 1994).

Μια σημαντική προσαρμογή των υδρόβιων Ημίπτερων είναι ότι απαντώνται σε οικοσυστήματα, των οποίων οι συνθήκες θα ήταν εξαιρετικά στρεσογόνες για

άλλους οργανισμούς. Πολλά από αυτά τα υδρόβια έντομα, έχουν τη δυνατότητα να ζήσουν σε εξαιρετικά δυσμενή περιβάλλοντα (Huffaker and Rabb, 1984). Είδη π.χ. της οικογένειας Corixidae έχουν βρεθεί σε ακραία περιβάλλοντα (όπως σε λίμνες της Γερμανίας με pH κάτω του 3 (Wollmann, 2001) καθώς και σε λίμνες της Φινλανδίας με μεγάλη μόλυνση από λύμματα (Jansson, 1987).

Επειδή είναι αδηφάγα αρπακτικά ζώα και τα ενήλικά τους άτομα μπορούν να πετάξουν σε διαφορετικά υδάτινα οικοσυστήματα, κατατάσσονται ως οι πιο σημαντικοί θηρευτές κουνουπιών, ακόμη και από το ευρέως χρησιμοποιούμενο κουνουποφάγο ψάρι *Gambusia affinis* (Párasek, 2001).

### **2.1.6 Τάξη Μεγαλόπτερα (Megaloptera - Fishflies, Dobsonflies and Alderflies)**

Η τάξη των Μεγαλόπτερον απαρτίζεται από 300 περίπου είδη, παγκοσμίως, και χωρίζεται σε δυο οικογένειες: την οικογένεια Sialidae (alderflies) και την οικογένεια Corydalidae (dobsonflies και fishflies) (Gullan and Cranston, 2005).

#### **Στοιχεία Βιολογίας και ενδιαίτηματα**

Τα Μεγαλόπτερα είναι ολομετάβολα έντομα, των οποίων μόνο τα προνυμφικά στάδια είναι υδρόβια (Σταμόπουλος, 2007).

Η προνύμφη έχει μέγεθος 10 ως 90 mm. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής της, υφίσταται 10 ως 12 εκδύσεις και χρειάζεται τουλάχιστον ένα έτος, συνήθως δυο ή και περισσότερα, για τη μεταμόρφωσή της σε ενήλικο άτομο. Η προνύμφη μοιάζει με τις προνύμφες των Κολεόπτερον (Εικόνα 13) (McCafferty 1998, Smith 2005, Σταμόπουλος 2007).



**Εικόνα 13.** Προνύμφη *Sialis lutaria* (Φωτ.: N. Sloth, πηγή: [www.biopix.dk](http://www.biopix.dk))

Τα ενήλικα άτομα της οικογένειας Sialidae φτάνουν στο μέγεθος των 15mm, ενώ της οικογένειας Corydalidae τα 75mm (Εικόνα 14) (Gullan and Cranston, 2005).



**Εικόνα 14.** Ενήλικο Μεγαλόπτερο (πηγή: [www.waterquality.ec.gc.ca](http://www.waterquality.ec.gc.ca))

Αυτά τα υδρόβια έντομα, απαντώνται, συνήθως στο βένθος ποταμών και ρυακιών, με ποικιλία υποστρώματος και ρεύματος νερού. Ελάχιστα είδη συναντούμε σε μαλακά υποστρώματα, ενώ τα περισσότερα βρίσκονται κάτω από πέτρες (Huffaker and Rabb 1984, McCafferty 1998, Σταμόπουλος 2007).

### **Διατροφικές συνήθειες**

Οι προνύμφες είναι εξαιρετικά αρπακτικές, με ισχυρά στοματικά μόρια μασητικού τύπου. Τα ενήλικα άτομα συνήθως δεν τρέφονται (Ward 1992, Σταμόπουλος 2007).

### **Οικολογική σημασία**

Όπως προαναφέρθηκε, επειδή οι προνύμφες τους είναι σημαντικοί θηρευτές άλλων υδρόβιων εντόμων (π.χ. Τριχόπτερα, Δίπτερα), τα Μεγαλόπτερα κατέχουν σημαντική θέση στην υδρόβια τροφική αλυσίδα (McCafferty, 1998). Σε εργαστηριακές εκτροφές παρουσιάζουν φαινόμενα κανιβαλισμού, όταν υπάρχει μεγάλος αριθμός ατόμων στο ίδιο δοχείο εκτροφής (Σταμόπουλος, 2007).

Οι προνύμφες απαντώνται, συνήθως, σε κρύα, καλά οξυγονωμένα νερά, ενώ είναι ευαίσθητες στη ρύπανση (Smith 2005, Σταμόπουλος 2007).

#### **2.1.7 Τάξη Κολεόπτερα (Coleoptera - Water Beetles)**

Τα Κολεόπτερα είναι μια πολυπληθής σε αριθμό τάξη εντόμων η οποία περιέχει περισσότερα από 5000 υδρόβια είδη (Gullan and Cranston, 2005). Οι οικογένειες Gyrinidae, Haliplidae, Dytiscidae, Hydrophilidae, Noteridae, Hydraenidae, Dryopidae, Elmidae, Psephenidae και Amphizoidae θεωρούνται υδρόβιες (McCafferty, 1998). Σε μερικές από αυτές τις οικογένειες, μόνο οι προνύμφες είναι υδρόβιες, ενώ σε άλλες, είναι υδρόβια και τα ενήλικα στάδια (Εικόνα 15) (Smith, 2005).



**Εικόνα 15.** Ενήλικο *Acilius sylvanus* (Φωτ.: Stephen Luk, πηγή: [www.bugguide.net](http://www.bugguide.net))

### Στοιχεία βιολογίας και ενδιαίτηματα

Τα Κολεόπτερα είναι ολομετάβολα έντομα, τα οποία απαντώνται τόσο σε γλυκά, όσο και σε υφάλμυρα ή αλμυρά νερά. Τα περισσότερα είδη, όμως, βρίσκονται σε υγροβιότοπους γλυκών νερών με πλούσια βλάστηση (Σταμόπουλος, 2007).

Οι προνύμφες τους είναι ποικιλόμορφες (καμποδεόμορφες, πλατύμορφες, σκαραβαιόμορφες, ελατερόμορφες) (Εικόνα 16). Στα περισσότερα είδη, οι προνύμφες έχουν πόδια, ενώ σε άλλα είναι άποδες. Έχουν μασητικά στοματικά μόρια, όπως και τα ενήλικα άτομα (Τζανακάκης, 1995).



**Εικόνα 16.** Προνύμφη *Dytiscus semisulcatus* (Φωτ.: N.Sloth, πηγή: [www.biopix.dk](http://www.biopix.dk))



### Διατροφικές συνήθειες

Τόσο τα ενήλικα άτομα , όσο και οι προνύμφες, ορισμένων οικογενειών είναι φυτοφάγα, ενώ άλλα είδη είναι σαρκοφάγα και αρπακτικά (Mandaville, 2002). Τα Κολεόπτερα της οικογένειας Dytiscidae (Εικόνα 17), όπου προνύμφες και ενήλικα είναι αρπακτικά και επιτίθενται σε μικρά ψάρια ή γυρίνους (Σταμόπουλος, 2007).



Εικόνα 17. Προνύμφη *Dytiscus* Sp. με λεία αμφίβιο (Φωτ.: Mike Benard, πηγή: [www.caudata.org](http://www.caudata.org))

### Οικολογική σημασία

Τα πολλά σαρκοφάγα είδη σε αυτή τη τάξη κατέχουν σημαντική θέση στην υδρόβια τροφική αλυσίδα. Οι προνύμφες και τα ενήλικα άτομα, επιτίθενται σε προνύμφες Διπτέρων, μικρά ψάρια και γυρίνους. Σε μερικές περιπτώσεις, θεωρούνται επιζήμια στις ιχθυοκαλλιέργειες, αφού έχουν αναφερθεί επιθέσεις αγέλης σε αυτές (Σταμόπουλος, 2007). Τα λιγοστά φυτοφάγα είδη είναι επιζήμια στις ριζοκαλλιέργειες, αλλά είναι χρήσιμα ως αποικοδομητές νεκρών υδρόβιων φυτών.

Μερικά είδη, που απαντώνται σε ποτάμια, είναι δείκτες καλής ποιότητας νερών (McCafferty, 1998).

Μερικά μεγάλα Dytiscidae και Hydrophilidae χρησιμεύουν ως τροφή στην άπω Ανατολή, ενώ στο Περού, ένα τοπικό έδεσμα, που λέγεται “chupe de chice” παρασκευάζεται από είδη της οικογένειας Elmidae (Σταμόπουλος, 2007).

### **2.1.8 Τάξη Δίπτερα (Diptera - True Flies)**

Η τάξη των Διπτέρων περιέχει περίπου 10000 υδρόβια είδη τα οποία ανήκουν σε 30 οικογένειες. Οι πιο σημαντικές οικογένειες των Διπτέρων είναι: Culicidae, Simuliidae, Chironomidae και Ceratorogonidae. Ειδικότερα, η οικογένεια Chironomidae έχει τα πιο πολλά υδρόβια είδη από ότι οι άλλες τάξεις των υδρόβιων εντόμων (McCafferty 1998, Gullan and Cranston 2005, Smith 2005).

#### **Στοιχεία βιολογίας και ενδιαίτηματα**

Τα Δίπτερα είναι ολομετάβολα έντομα. Οι προνύμφες και μερικές νύμφες ορισμένων οικογενειών θεωρούνται υδρόβιες, ενώ τα ενήλικα άτομα είναι χερσαία έντομα (Smith, 2005).

Οι προνύμφες τους έχουν μέγεθος 1 ως 100 mm. Είναι σκωληκόμορφες, άποδες (τις περισσότερες φορές) και συχνά με μικρή κεφαλή (Εικόνα 18). Τα στοματικά τους μόρια ποικίλουν από μασητικού τύπου, π.χ. στις προνύμφες κουνουπιών, σε ξέοντος μυζητικού στα ενήλικα Tabanidae (Τζανακάκης 1995, McCafferty 1998).



**Εικόνα 18.** Προνύμφες *Eusimulium vernum* (Diptera: Simuliidae)  
(Φωτ.: J.C.Schou, πηγή: [www.biopix.dk](http://www.biopix.dk))

Οι προνύμφες των υδροβίων Διπτέρων απαντώνται σε όλα τα υδάτινα περιβάλλοντα (McCafferty, 1998). Τα ρέματα, οι νερόλακκοι, οι λίμνες, οι ποταμοί, τα στάσιμα νερά ή ακόμη και βραχύδεις εκτάσεις της παλιρροϊκής ζώνης, μπορούν να αποτελέσουν κατάλληλο ενδιαίτημα για τα έντομα αυτά (Σταμόπουλος, 2007).

#### Διατροφικές συνήθειες

Οι προνύμφες παρουσιάζουν διαφορετικές διατροφικές συνήθειες ανάλογα με το είδος τους. Έτσι μπορεί να είναι φυτοφάγες, σαρκοφάγες ή σαπροφάγες (McCafferty, 1998).

Τα ενήλικα ορισμένων ειδών π.χ. Tipulidae (Εικόνα 19) δεν τρέφονται καθόλου, ενώ όσον αφορά άλλα είδη οι μελετητές υποστηρίζουν ότι τρέφονται με νέκταρ (Σταμόπουλος, 2007).



**Εικόνα 19.** Ενήλικο *Tipula paludosa* (Diptera:Tipulidae)  
(Φωτ.: J.C.Schou, πηγή: [www.biopix.dk](http://www.biopix.dk))

### **Οικολογική και υγειονομική σημασία**

Τόσο τα ενήλικα άτομα, όσο και οι προνύμφες των Διπτέρων αποτελούν μια πολύ αξιόλογη τροφή για τα ψάρια και τα πτηνά των ποταμών, όσο και για άλλα υδρόβια κυρίως έντομα (Σταμόπουλος, 2007).

Οι προνύμφες ορισμένων Διπτέρων, κυρίως προνύμφες από μύγες και κουνούπια θεωρούνται από τα πλέον ανθεκτικά μακροσπόνδυλα στη ρύπανση (Ortiz and Puig, 2007). Ειδικότερα, οι προνύμφες της οικογένειας Chironomidae επιβιώνουν κάτω από συνθήκες έλλειψης οξυγόνου (Hodkinson and Jackson, 2005) και μπορούν σε ορισμένες περιπτώσεις να θεωρηθούν ως αξιόπιστοι δείκτες παρουσίας βαρέων μετάλλων στα υδάτινα οικοσυστήματα (Rosenberg et al., 1986).

Τα Δίπτερα έχουν σημαντική υγειονομική σημασία, δεδομένου ότι ενήλικα άτομα πολλών οικογενειών (π.χ.Culicidae, Simuliidae και Tabanidae), μυζούν αίμα και προκαλούν όχληση στον άνθρωπο και σε άλλα παραγωγικά ή/και κατοικίδια ζώα, ενώ παράλληλα δύνανται να είναι φορείς ασθενειών, όπως η ελονοσία, ο δάγκειος πυρετός, η ελεφαντίαση, η ασθένεια του ύπνου και πολλές εγκεφαλίτιδες (Τζανακάκης, 1995).

## 2.2 ΤΑ ΥΔΡΟΒΙΑ ΕΝΤΟΜΑ ΩΣ ΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΤΕΣ ΤΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΥΛΗΣ

Τα υδρόβια έντομα παίζουν σημαντικότατο ρόλο στην αποικοδόμηση της οργανικής ύλης. Αυτή μπορεί να είναι φυτικής ή ζωικής προέλευσης, ζωντανή ή νεκρή. Ανάλογα με το μέγεθός της η οργανική ύλη, χωρίζεται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **DOM (Dissolved organic matter)** = Διαλυμένη οργανική ύλη, που είναι μικρότερη από 0,5μm.

Αποτελεί τη μεγαλύτερη δεξαμενή οργανικού άνθρακα σε ρέοντα ύδατα.

- **POM (Particulate organic matter)** = Σωματιδιακή οργανική ύλη, που χωρίζεται σε FPOM και CPOM,
- **CPOM (Coarse particulate organic matter)** = Χονδροειδής σωματιδιακή οργανική ύλη μεγαλύτερη από 1mm.

Αποτελείται από βελόνες και φύλλα (οι κυριότερες εισροές): νεκρά μακρόφυτα, ξυλώδη θραύσματα, σωματικά τμήματα νεκρών ζώων και φυτών. Η διαθεσιμότητα του CPOM ποικίλει σημαντικά στον τόπο και χρόνο. Η αποικοδόμηση των φύλλων απαιτεί χρονικό διάστημα, που κυμαίνεται από 6 εβδομάδες ως 6 μήνες.

- **FPOM (Fine particulate organic matter)** = Λεπτή σωματιδιακή οργανική ύλη μικρότερη από 1mm και μεγαλύτερη από 0,5μm.

Αποτελείται, κυρίως, από την αποσάθρωση των **CPOM**, αποχωρήματα καταναλωτών, μικροβιακή διάσπαση του **DOM**, συσσωματώματα διαλυμένων οργανικών υλικών, νεκρών φυκών και χόμα (Σταμόπουλος, 2007).

Οι προνύμφες των περισσότερων υδρόβιων εντόμων τρέφονται καθ'όλη τη διάρκεια της ζωής τους και ανάλογα με τον τύπο της τροφής τους χωρίζονται σε φυτοφάγα και σαρκοφάγα.

## A) Φυτοφάγα

Τα υδρόβια έντομα ανάλογα με το μέγεθος της οργανικής ύλης την οποία αποικοδομούν χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

### - Τεμαχιστές

Τρέφονται με ζωντανό ή νεκρό φυτικό ιστό, όπως φύλλα, άλγη και ρίζες υδρόβιων φυτών. Αυτοί οι οργανισμοί παίζουν σπουδαίο ρόλο γιατί θρυμματίζουν τα φύλλα ή τα μεγαλύτερα κομμάτια του οργανικού υλικού σε τέτοιο μέγεθος που μπορεί να γίνει τροφή για άλλα μακροασπόνδυλα. Στους τεμαχιστές ανήκουν οι προνύμφες των Πλεκοπτέρων και Τριχοπτέρων (Εικόνα 20).



**Εικόνα 20.** Φύλλα οξυάς που φαγώθηκαν από τεμαχιστές Trichoptera Limnephilidae στο Κοντόρεμα Πηλίου (Φωτ: Δ.Κ. Σταμόπουλος)

### - Συλλέκτες

Τρέφονται με πολύ λεπτή οργανική ύλη (FPOM) φιλτράροντας τα σωματίδια που αιωρούνται ή που είναι διαλυμένα στο ίζημα. Οι συλλέκτες, συχνά, χωρίζονται σε αιωρηματοφάγους συλλέκτες, όπως οι προνύμφες Διπτέρων της οικογένειας Simuliidae (Εικόνα 21), και σε ιζηματοφάγους συλλέκτες, όπως οι προνύμφες από μερικά είδη οικογενειών Εφημεροπτέρων και Τριχοπτέρων.



**Εικόνα 21.** Προνύμφες Simuliidae προσκολλημένες σε πέτρες στο Κοντόρεμα Πηλίου  
(Φωτ.:Δ.Κ.Σταμόπουλος)

#### - Ξύστες

Τρέφονται με άλγη και διάτομα που είναι προσκολλημένα σε πέτρες και άλλες επιφάνειες. Στους ξύστες κατατάσσονται τα Κολεόπτερα που ανήκουν στις οικογένειες Psephenidae και Gyrinidae (Εικόνα 22), μερικά είδη προνυμφών Εφημερόπτερον και τα Τριχόπτερα της οικογένειας Glossosomatidae.



**Εικόνα 22.** Προνύμφη Gyrinidae (Coleoptera) (αριστερά) και άγκιστρα στο άκρο των ποδιών της (δεξιά) ( Φωτ.: Wayne Davis, πηγή: [www.epa.gov](http://www.epa.gov))

- **Διατρητές μακροφύτων**

Τρέφονται με τους χυμούς από τα κύτταρα και τους φυτικούς ιστούς μεγάλων φυκών, διεισδύοντας και ρουφώντας το περιεχόμενό τους. Παραδείγματα από διατρητές είναι τα Τριχόπτερα της οικογένειας Hydroptilidae και τα Μεγαλόπτερα (Εικόνα 23).



**Εικόνα 23.** Προνύμφη Megaloptera (πηγή: [www.uwsp.edu](http://www.uwsp.edu))

**B) Σαρκοφάγα**

- Τα αρπακτικά τρέφονται με άλλα υδρόβια ζώα, όπως ψάρια και ασπόνδυλα.



**Εικόνα 24.** Ενήλικο *Dytiscus marginalis* με λεία guppy (μικρό ψάρι) (πηγή: [www.tsamisaquarium.gr](http://www.tsamisaquarium.gr))

Στα αρπακτικά συγκαταλέγονται τα Odonata, τα Hemiptera, τα Megaloptera, τα Coleoptera Dytiscidae (Εικόνα 24) και Gyrimidae (Merritt and Cummins, 1996).



Μερικοί μελετητές προσπάθησαν να προσδιορίσουν τη διασπορά των παραπάνω διατροφικών ομάδων των υδρόβιων εντόμων ανάλογα με το τύπο και τη διαθεσιμότητα της τροφής στα υδάτινα οικοσυστήματα. Οι Vannote et al. (1980) ανέπτυξαν ένα μοντέλο ενός ποτάμιου οικοσυστήματος, όπου μελετήθηκε η σχέση των τρεχούμενων νερών ως συνεχών μεταφορέων οργανικής ύλης από τις πηγές του ως το χώρο εκβολής του (θάλασσα), με την ύπαρξη διάφορων τύπων υδρόβιων οργανισμών. Πράγματι, τα υδρόβια έντομα και άλλοι υδρόβιοι οργανισμοί κατανέμονται με προβλέσιμο τρόπο, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα της οργανικής ύλης (Εικόνα 25) (Ward, 1992).

Σύμφωνα με το μοντέλο, οι πηγές του ποταμού θεωρούνται ετεροτροφικά συστήματα με περιορισμένη ηλιοφάνεια και βραχώδη υποστρώματα. Οι συνθήκες που επικρατούν είναι μικρές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της ροής. Η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας είναι οι αλλόχθονες εισαγωγές χονδροειδούς οργανικής ύλης (CPOM), όπως τα φύλλα που πέφτουν από τα φυλλοβόλα δέντρα, που αποτελούν τροφή για τους καταναλωτές (κυρίως τεμαχιστές) (Allen, 1995).

Καθώς προχωρούμε στο μεσαίο τμήμα του ποταμού, παρατηρούμε διεύρυνσή του σε πλάτος αφενός και αφετέρου μεγάλες εισαγωγές λεπτής οργανικής ύλης (FPOM) που προέρχεται από την αποικοδόμηση του CPOM στις πηγές (ανάντι). Η υδάτινη στήλη παραμένει διαυγής και μικρή σε βάθος, αλλά το ποτάμι σε αυτό το σημείο δέχεται αρκετή ηλιοφάνεια. Έτσι, έχουμε μέγιστη ανάπτυξη μακροφύτων και φυκών, που αποτελούν πηγή τροφής και καταφυγίου για πολλά υδρόβια έντομα, όπως ζύστες και διατρητές μακροφύτων (Merritt and Cummins, 1996).

Οι διαφορετικές συνθήκες στα κατάντι (κατώτερα τμήματα του ποταμού), όπως το μεγαλύτερο βάθος, η χαμηλή καθαρότητα των νερών και τα ασταθή υποστρώματα, δεν ευνοούν την ανάπτυξη μακροφύτων, αν και το φυτοπλαγτόν μπορεί να

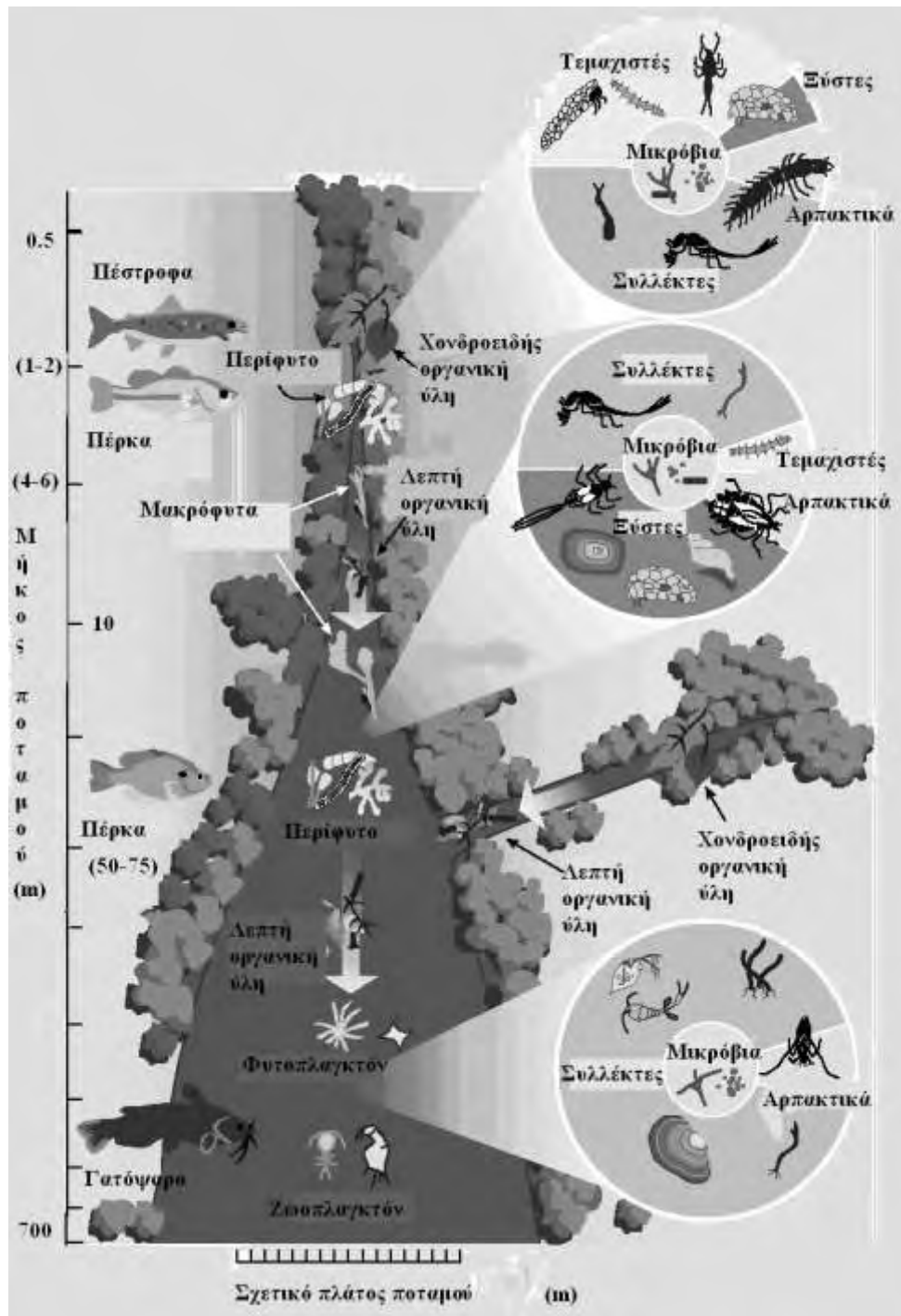
αναπτυχθεί. Τόσο οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, όσο και οι εισροές θρεπτικών είναι μικρές, λόγω του μεγάλου όγκου του νερού (Ward, 1992).

Το μοντέλο προβλέπει την κατανομή των διαφόρων τύπων υδρόβιων μικροοργανισμών και εντόμων κατά μήκος του ποταμού, ανάλογα με τον τύπο και τη διαθεσιμότητα της οργανικής ύλης. Έτσι, οι τεμαχιστές απαντώνται στα ανάντι (πηγές) του ποταμού, όπου υπάρχει αφθονία σε φύλλα και CPOM, ενώ οι συλλέκτες, είδη που τρέφονται με FPOM, απαντώνται σε μεγάλους αριθμούς κατά μήκος όλου του ποταμού. Οι ζύστες και διατρητές των μακροφύτων δραστηριοποιούνται στο μεσαίο τμήμα του ποταμού όπου υπάρχει αφθονία μακροφύτων και φυκών, ενώ τα αρπακτικά απαντώνται σε όλο το μήκος του ποταμού, με πληθυσμιακό μέγεθος που είναι σε άμεση συσχέτιση με την ύπαρξη και αφθονία των θηραμάτων τους (Vannote et al., 1980).

Το παραπάνω μοντέλο έχει μερικά μειονεκτήματα, όπως ότι:

1. ασχολείται κυρίως με τα βενθικά μακροασπόνδυλα (υδρόβια έντομα) χωρίς να λαμβάνει υπόψη την βιοποικιλότητα των ψαριών και των πλαγκτονικών οργανισμών,
2. στηρίζεται στο γεγονός ότι στα ανάντι έχουμε μεγάλες εισαγωγές CPOM χωρίς να συμπεριλαμβάνει το ρόλο των παρόχθιων βιότοπων,
3. αναφέρεται σε αδιατάρακτα συστήματα, τα οποία σπανίζουν σήμερα.

Παρά τα μειονεκτήματά του όμως, αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την περιγραφή της οικολογικής λειτουργίας των υδάτινων οικοσυστημάτων, βάσει της αφθονίας των διατροφικών ομάδων και της οργανικής ύλης (Allen, 1995).



**Εικόνα 25.** Το μοντέλο της συνέχειας ενός ποταμού και η ροή της ενέργειας σε αυτό (πηγή: Vannote et al., 1980, τροπ.)

Οι πληθυσμιακές μεταβολές των παραπάνω διατροφικών ομάδων που επηρεάζονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα περιλαμβάνουν:

1. μείωση των τεμαχιστών, εξαιτίας της καταστροφής των παρόχθιων ενδιαιτημάτων και συνεπακόλουθη μείωση των αυτόχθονων υλικών,

2. αύξηση των ξυστών, με αύξηση της δημιουργίας περίφυτου που είναι αποτέλεσμα αυξημένης ηλιοφάνειας και εισαγωγής θρεπτικών συστατικών,
3. αύξηση των συλλεκτών στα κατάντι, (ιδιαίτερα σε φράγματα και λιμνούλες) με την ταυτόχρονη αύξηση των λεπτών σωματιδίων στα ανάντι στάσιμα νερά (Gullan and Cranston, 2005).

### 2.3 ΤΑ ΥΔΡΟΒΙΑ ENTOMA ΩΣ ΒΙΟΔΕΙΚΤΕΣ

Ως βιοδείκτης (ή βιοενδείκτης) μπορεί να οριστεί «το είδος ή η ομάδα των ειδών, που απεικονίζει την αβιοτική ή βιοτική κατάσταση ενός περιβάλλοντος». Με τη χρήση των βιοδεικτών μπορούμε να προβλέψουμε το μέγεθος οικολογικών παραμέτρων δύσκολα ή καθόλου μετρήσιμων, όπως π.χ. το παρελθόν pH ή τη σύνθεση της εντομοπανίδας μιας υδατοσυλλογής πριν από μερικά χρόνια (Mandaville 1999, Πετράκης & Ρούσσης 2001).

Οι αρχές της χρήσης υδρόβιων εντόμων-βιοδεικτών ως εργαλείων για την περιβαλλοντική διαχείριση των οικοσυστημάτων είναι γενικά γνωστές. Υπάρχει μια ισχυρή σχέση μεταξύ της ανθρώπινης δραστηριότητας και της διαταραχής του περιβάλλοντος. Η αναγνώριση αυτής της σχέσης, και η ανάγκη να προστατευτεί η ανθρώπινη υγεία και αναψυχή, η αλιευτική παραγωγή και τα βιομηχανικά/γεωργικά συστήματα, οδήγησαν στην έγκαιρη ανάπτυξη των κανονισμών και των μεθόδων ελέγχου της ποιότητας των νερών. Οι πρώτες προσπάθειες περιλαμβάνουν την τυπολογία ευτροφισμού ποταμών και ρευμάτων (Sprobiensystem Kolkwitz και Marsson, 1909) και την τυπολογία του ευτροφισμού των λιμνών (Thienemann, 1921) (Hodkinson and Jackson, 2005).

Η χρησιμότητα των ασπόνδυλων και ιδιαίτερα των υδρόβιων εντόμων, για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών συνθηκών στα υδρόβια οικοσυστήματα έχει

αναγνωριστεί αρκετά χρόνια πριν (Gayraud et al., 2003) και για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί ποικίλα εργαλεία περιβαλλοντικής διαχείρισης, που χρησιμοποιούν τα υδρόβια ασπόνδυλα (Rosenberg et al. 1986, Mandaville 1999). Αυτά τα εργαλεία, αναγνωρίζουν ότι ορισμένες τάξεις ασπόνδυλων ανέχονται τους διάφορους τύπους ρύπανσης σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό και ότι οι διαφορετικές αντιδράσεις τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιορίσουν την ποιότητα του νερού. Στα ποτάμια π.χ., ασπόνδυλα, όπως οι προνύμφες των Πλεκόπτερων και Εφημερόπτερων αποδείχθηκε ότι είναι δυσανεκτικές στη ρύπανση, σε αντιδιαστολή με άλλες τάξεις, όπως π.χ. οι προνύμφες των Chironomidae (Diptera), οι οποίες επιζούν και κάτω από χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου, που τείνουν στην ανοξία (Compin and Cereghino, 2003).

Τα σύγχρονα πρωτόκολλα αξιολόγησης στηρίζονται ακόμα σε τέτοια είδη δεικτών ή συναθροίσεων και στη λεπτομερή γνώση αντιδράσεων στη ρύπανση. Συχνά περιλαμβάνουν περίπλοκους μετασχηματισμούς ή στατιστικές αναλύσεις των στοιχείων. Τα πρωτόκολλα συνεχίζουν να αναπτύσσονται και να αξιολογούνται, ειδικά για υδροβιότοπους με μεγάλο μεγέθους ασπόνδυλους οργανισμούς (De Pauw & Vanhooren, 1983).

Οι λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιούνται ευρέως τα υδρόβια έντομα, σε σχέση με άλλα ασπόνδυλα, ως βιοδείκτες είναι οι εξής:

1. η δυνατότητα να επιλέξουμε μεταξύ πολλών τάξεων των εντόμων σε οποιοδήποτε υδάτινο οικοσύστημα, ανάλογα με το πρωτόκολλο που επιλέγεται,
2. η λειτουργική σημασία των εντόμων στα υδρόβια οικοσυστήματα, που κυμαίνεται από δευτερογενείς παραγωγούς ως ανώτερα αρπακτικά

3. η ευκολία στην δειγματοληψία υδρόβιων εντόμων τα οποία δίνουν ικανοποιητικούς αριθμούς ατόμων και τάξεων, ώστε να είναι αντιπροσωπευτικοί,
4. η δυνατότητα να προσδιοριστούν τα περισσότερα υδρόβια έντομα σε επίπεδο είδους,
5. η προβλεψιμότητα και ευκολία στην ανίχνευση της συμπεριφοράς πολλών υδρόβιων εντόμων σε διαταραχές του ενδιαιτήματος,
6. δείχνουν την εικόνα της κατάστασης του υδρόβιου οικοσυστήματος σε βάθος χρόνου και όχι μόνο της στιγμής που γίνεται η δειγματοληψία, όπως συμβαίνει με τις κλασσικές χημικές μεθόδους (Gullan and Cranston, 2005).

#### **2.4 ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΒΙΩΝ ΕΝΤΟΜΩΝ**

Πολλά από τα υδρόβια έντομα έχουν τεράστια υγειονομική σημασία, γιατί μαστίζουν πολλές περιοχές του πλανήτη μας με παράσιτα και ασθένειες που μεταδίδουν σε ζώα και ανθρώπους. Στον παρακάτω Πίνακα 2 απαριθμούνται μερικές από τις κυριότερες ασθένειες των ανθρώπων, που μεταδίδονται με έντομα.

**Πίνακας 2.** Οι κυριότερες ανθρώπινες ασθένειες που μεταδίδονται με έντομα (πηγή: Elzinga 2004, τροπ.).

Ασθένεια	Οργανισμός που την προκαλεί	Φορέας της ασθένειας	Τάξη
Ελονοσία	Πρωτόζωα	Κουνούπια	Δίπτερα
Κίτρινος πυρετός	Ιός	Κουνούπια	Δίπτερα
Δάγκειος πυρετός	Ιός	Κουνούπια	Δίπτερα
Ιός του Νείλου	Ιός	Κουνούπια	Δίπτερα
Εγκεφαλίτιδα	Ιός	Κουνούπια	Δίπτερα
Φιλαρίαση	Νηματώδεις	Κουνούπια	Δίπτερα
Loa loa	Νηματώδεις	Είδη της οικογένειας Tabanidae	Δίπτερα
Τουλαρεμία	Βακτήριο	Είδη της οικογένειας Tabanidae	Δίπτερα
Αναπλάσμωση	Βακτήριο	Είδη της οικογένειας Tabanidae	Δίπτερα
Ονχοκερκίαση	Νηματώδεις	Είδη της οικογένειας Simuliidae	Δίπτερα
Ασθένεια του ύπνου	Πρωτόζωα	Μύγες tsetse	Δίπτερα
Λεισμανίαση	Πρωτόζωα	Σκνίπες	Δίπτερα

### Ελονοσία

Η ελονοσία παραμένει το πιο σημαντικό λοιμώδες νόσημα και μια από τις συχνότερες αιτίες θανάτου για άτομα που ζουν σε τροπικές και υποτροπικές υπό ανάπτυξη χώρες.

Η μόλυνση του ανθρώπου γίνεται με το τσίμπημα θηλυκών κουνουπιών (Εικόνα 26). Η ελονοσία ενδημεί σε τόπους που επικρατούν περιβαλλοντικές συνθήκες, οι οποίες ευνοούν την ανάπτυξη των κουνουπιών, δηλαδή σε τόπους υγρούς και θερμούς. Σε αυτούς περιλαμβάνονται η Κεντρική και η Νότια Αμερική, η Αιτή, η Αφρική, η Ινδία, η νοτιοανατολική Ασία, η Μέση Ανατολή και τα νησιά του νότιου Ειρηνικού.

Ο κίνδυνος να μολυνθεί ένα άτομο από ελονοσία είναι μεγαλύτερος στο διάστημα ανάμεσα στη δύση του ηλίου και στην αυγή, τις ώρες δηλαδή που συνήθως το κουνούπι τσιμπά τον άνθρωπο. Σποραδικά όμως κρούσματα μετάδοσης της ελονοσίας παρατηρούνται και μεταξύ των χρηστών ναρκωτικών ουσιών, όταν αυτοί χρησιμοποιούν μολυσμένες σύριγγες, ή με μεταγίσεις μολυσμένου αίματος ή με τη μετάδοση από τη μητέρα στο έμβryo στη διάρκεια της εγκυμοσύνης.

Υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά είδη πρωτοζώων που προκαλούν την ελονοσία: *Plasmodium falciparum*, *P. vivax*, *P. ovale*, και *P. malariae*. Από αυτά τα είδη, το πρωτόζωο *P. falciparum* θεωρείται το πιο επικίνδυνο και είναι το μόνο που μπορεί να προκαλέσει ακόμα και θάνατο, εάν δεν αντιμετωπιστεί γρήγορα (Anonymous, 2008).



**Εικόνα 26.** Ενήλικο κουνούπι (πηγή: [www.ozanimals.com](http://www.ozanimals.com))

### **Κίτρινος πυρετός**

Ο κίτρινος πυρετός είναι ένα λοιμώδες νόσημα που μεταδίδεται στους ανθρώπους μέσω του νύγματος των μολυσμένων κουνουπιών και απαντάται στις τροπικές περιοχές της Αφρικής και της Νότιας Αμερικής.

Ο ιός του κίτρινου πυρετού, του οποίου οι συνέπειες είναι ο θάνατος ή η αποδυνάμωση του ανοσοποιητικού συστήματος, μεταδίδεται με το τσίμπημα του κουνουπιού *Aedes aegypti* ή με τα κουνούπια του γένους *Hemogogus*.



Ευτυχώς, έχει βρεθεί εμβόλιο για την καταπολέμησή του. Όσοι ταξιδεύουν σε χώρες όπου η ασθένεια ενδύμει, είναι υποχρεωμένοι να εμβολιάζονται με αυτό (Elzinga, 2004).

### **Ασθένεια του ύπνου**

Η αφρικανική τρυπανοσωμίαση είναι γνωστή και ως “ασθένεια του ύπνου”. Πρόκειται για μια λοίμωξη που μεταδίδεται στον άνθρωπο από το νύγμα της μολυσμένης μύγας του γένους *Glossina* (tsetse) και απαντάται στις τροπικές περιοχές της Αφρικής.

Έχουν αναγνωριστεί δύο μορφές της λοίμωξης: η “νόσος του ύπνου της Ροδεσίας”, οξεία μορφή που συναντάται στην ανατολική περιοχή της Κεντρικής Αφρικής και η χρόνια μορφή η “νόσος του ύπνου της Γαμβίας” στο δυτικό τμήμα της Κεντρικής Αφρικής.

Το είδος της μύγας τσε-τσε που μεταδίδει το τρυπανόσωμα της Ροδεσίας ζει σε αχανείς, σχετικά αραιοκατοικημένες περιοχές, ενώ αυτό που μεταδίδει το τρυπανόσωμα της Γαμβίας σε δασώδεις όχθες ποταμών και παρόμοιες υγρές περιοχές. Τα τρυπανοσώματα απαντώνται κυρίως σε μέρη όπου οι άνθρωποι διασχίζουν τα ποτάμια ή μπαίνουν σε αυτά για να πλυθούν ή να μαζέψουν νερό (Anonymous, 2008).

Η λοίμωξη στον άνθρωπο προκαλείται μέσω του νύγματος της μύγας τσε-τσε και εισέρχεται στο δέρμα του μέσω του σάλιου του εντόμου. Τα κλινικά συμπτώματα της ροδεσιανής τρυπανοσωμίαςης παρουσιάζονται δύο εβδομάδες μετά το νύγμα της μύγας τσε-τσε. Η γαμβιανή τρυπανοσωμίαση αρχίζει έξι μήνες έως και αρκετά χρόνια μετά το νύγμα της μύγας τσε-τσε και εξελίσσεται με πολύ αργό ρυθμό.

Εάν δεν αντιμετωπιστούν, οι περισσότερες περιπτώσεις της αφρικανικής τρυπανοσωμίαςης είναι θανατηφόρες. Τα φάρμακα για τη θεραπεία τους είναι πολύ

τοξικά και πρέπει να χρησιμοποιούνται με μεγάλη προσοχή. Εάν δεν υπάρξει καμία θεραπεία ή αυτή αρχίσει αργά, είναι συχνή η πρόκληση μη αναστρέψιμης εγκεφαλική βλάβης ή ακόμα και θανάτου (Elzinga, 2004).

### Φιλαριάσεις

Πρόκειται για νοσήματα που προκαλούνται από νηματώδεις με το όνομα Φιλάρειες (filarial). Οι φιλάρειες είναι αποκλειστικά παράσιτα των τροπικών και υποτροπικών περιοχών.

Το πιο γνωστό από τα νοσήματα αυτά είναι η λεμφαδενική φιλαρίαση που αναφέρεται και απλά ως φιλαρίαση. Αυτή προκαλείται από διάφορα είδη φιλαριών (*Wuchereria bancrofti*, *Brugia malayi*, *Brugia timori*) (Anonymous, 2008).

Ο ενήλικος νηματώδης ζει μέσα στους λεμφαδένες και στα λεμφαγγεία, τα οποία αποφράσσει τελικά, προκαλώντας την κλινική εικόνα της ελεφαντίασης. Ο θηλυκός νηματώδης γεννά μικροφιλάρειες, που κυκλοφορούν στο αίμα τη νύχτα, από όπου παραλαμβάνονται από τα κουνούπια του γένους *Aedes* sp. και *Culex* sp., με τα οποία και μεταδίδεται η νόσος στον άνθρωπο (Gillott, 1982).

### Ονχοκερκίαση

Ένα άλλο σημαντικό νόσημα θεωρείται η Ονχοκερκίαση. Αυτή προκαλείται από τον παρασιτικό νηματώδη *Onchocerca volvulus*.

Ο ώριμος νηματώδης ζει στον υποδόριο ιστό όπου προκαλεί χαρακτηριστικούς όζους, ενώ οι μικροφιλάρειες που παράγονται από το θηλυκό παρασιτούν είτε στο δέρμα προκαλώντας χαρακτηριστικές αλλοιώσεις, είτε στους μυς προκαλώντας χαρακτηριστικές μυαλγίες κυρίως στην περιοχή της οσφύος, είτε τέλος και το σημαντικότερο στον κερατοειδή προκαλώντας θόλωση της όρασης και τύφλωση.

Η ονχοκερκίαση είναι από τα σημαντικότερα αίτια τυφλώσεως στον τρίτο κόσμο. Η νόσος μεταδίδεται από ενήλικα Simuliidae (μαύρες μύγες), όπως το *Simulium damnosum*, *S. exiguum*, *S. guinense*, *S. metallicum*, *S. onhraceum* (Εικόνα 27) και *S. oyarockense* (Σταμόπουλος, 2007).

Άλλες φιλάριες είναι:

- η Loa loa που μεταδίδεται στον άνθρωπο από το νύγμα Διπτέρων του γένους *Chrysops* (Tabanidae) προκαλεί τύφλωση (εγκατάσταση του σκόληκα κάτω από τον επιπεφυκότα),
- η δρακοντίαση που προκαλείται από θηλυκά άτομα του είδους *Dranculus mediterraneus*. Αυτό εγκαθίσταται στον υποδόριο ιστό προκαλώντας αλλεργικές και φλεγμονώδεις εκδηλώσεις (Anonymous, 2008).



**Εικόνα 27.** Ενήλικα θηλυκά *Simulium onhraceum* (Φωτ.: J.B.Davies, πηγή: [www.blackfly.org.uk](http://www.blackfly.org.uk))

### **Δάγκειος πυρετός**

Ο δάγκειος πυρετός είναι μια ιογενής λοίμωξη, η οποία μεταδίδεται στους ανθρώπους κυρίως με το τσίμπημα των θηλυκών κουνουπιών του γένους *Aedes* (Εικόνα 28).

Θεωρείται ενδημική νόσος στις τροπικές περιοχές της Αφρικής, της Αμερικής, της Ασίας, της Καραϊβικής και των νησιών του Ειρηνικού. Κατά την τρέχουσα

περίοδο φαίνεται ότι ο κίνδυνος είναι μεγαλύτερος στη νοτιοανατολική Ασία και στη Λατινική Αμερική. Υπολογίζεται ότι τα ετήσια κρούσματα δάγκειου πυρετού στις τροπικές χώρες ανέρχονται σε 100 εκατομμύρια (Anonymus, 2008).

Στην Ελλάδα ο δάγκειος πυρετός και η ελονοσία ταλαιπώρησαν για αρκετά χρόνια ένα μεγάλο τμήμα του πληθυσμού (κυρίως την περίοδο 1921-1937) έως ότου εξαλειφθούν τελείως. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση πανδημίας δάγκειου πυρετού στην Αθήνα το 1928 όπου πάνω από το 90% του τότε πληθυσμού προσεβλήθη από τη νόσο (Σταμόπουλος, 2007).

Ο Δάγκειος πυρετός συμβαίνει συχνότερα κατά τη διάρκεια των θερμών και υγρών εποχών και η μετάδοση του είναι μεγαλύτερη στις αστικές περιοχές (Huffaker and Rabb, 1984).



**Εικόνα 28.** Τα στίλετα και η προβοσκίδα από ένα κουνούπι *Aedes aegypti*. Ο Δάγκειος πυρετός μεταδίδεται κατά τη διάρκεια της νύξης (πηγή: [www.cdc.gov](http://www.cdc.gov))

### **Αναπλάσμωση**

Είναι αιμοπαρασιτική, μολυσματική και μεταδοτική ασθένεια που χαρακτηρίζεται από προοδευτική αναιμία και παρουσία βακτηριακών σωματιδίων εντός των ερυθρών αιμοσφαιρίων.

Η αναπλάσμωση προκαλείται από τα βακτήρια *Anaplasma marginale* (βοοειδή) και *A. onis* (μηρυκαστικά), που μεταφέρονται από ενήλικα Δίπτερα της οικογένειας Tabanidae (Σταμόπουλος, 2007).

### 3. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΒΙΟΛΟΓΙΑ-ΗΘΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΒΙΩΝ ΕΝΤΟΜΩΝ

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη βιολογία και ηθολογία των υδρόβιων εντόμων είναι η διαθεσιμότητα του διαλυμένου οξυγόνου, η θερμοκρασία του νερού, η παρουσία διαλυμένων αλάτων, οξέων ή βάσεων, η ταχύτητα ρεύματος του νερού και οι διάφοροι ρύποι. Όλοι αυτοί οι παράγοντες, έχουν οδηγήσει τα υδρόβια έντομα στην υιοθέτηση πολλών προσαρμογών, όσον αφορά στους τρόπους αναπνοής τους, στην ανθεκτικότητα σε ακραίες θερμοκρασίες, στην ωσμωρύθμιση, στη διαθεσιμότητα και στο είδος της τροφής, και στην επιλογή του ενδιαιτήματός τους.

#### 3.1 Διαλυτότητα του Οξυγόνου-Αναπνοή

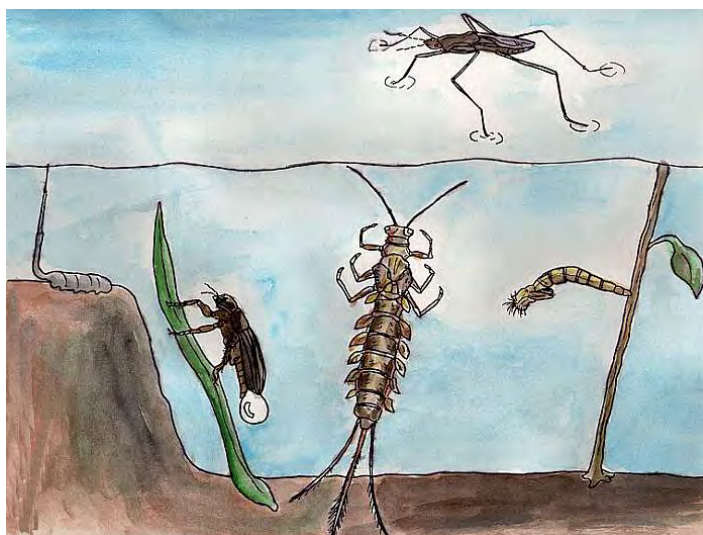
Τα υδρόβια έντομα χρησιμοποιούν ποικίλες προσαρμογές για την επίτευξη της αναπνοής τους κάτω από την επιφάνεια του νερού (Εικόνα 29).

Η δερματική αναπνοή είναι πιθανώς η πλέον σημαντική για πολλά υδρόβια έντομα. Η ανάπτυξη μιας μεγαλύτερης επιφανειακής περιοχής στα έντομα, όπως είναι τα τραχειακά βράγχια, έχει επεκτείνει την επιφάνεια της δερματικής αναπνοής σε προνύμφες Τριχοπτέρων, Πλεκοπτέρων, Οδοντόγναθων και σε άλλες τάξεις των υδρόβιων εντόμων (Blum, 1985).

Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα περισσότερα υδρόβια έντομα, αναπνέουν τον αέρα με τους ίδιους σχεδόν τρόπους όπως τα χερσαία έντομα, και πολλά ανεβαίνουν απλά συχνά στην επιφάνεια του νερού. Μερικά, φέρουν μια φυσαλίδα ή ένα στρώμα αέρα κάτω από το νερό, στα σώματά τους. Η φυσαλίδα πρέπει να ανανεώνεται συχνά με μια επιστροφή στην επιφάνεια, ενώ αλλά μπορούν να κρατήσουν ένα στρώμα αέρα με τη βοήθεια μιας διάταξης που ονομάζεται “plastron” και η οποία τα βοηθάει να

παραμένουν για αρκετό χρονικό διάστημα κάτω από το νερό (Romoser and Stoffolano, 1988).

Το plastron αποτελείται από ένα στρώμα πολυάριθμων πυκνών υδρόφοβων τριχών ( $2.5 \times 10^6$  τρίχες/ $\text{mm}^2$ ) (Σταμόπουλος, 2007), που μπορεί να κρατήσει έναν όγκο αέρα και μπορεί να παρουσιάσει μια μεγάλη διεπαφή νερού-αέρα. Το plastron, που είναι κανονικά ασυμπίεστο, είναι μια από τις πιο κοινές προσαρμογές των εντόμων που ζουν στα υδρόβια ενδιαιτήματα και μπορεί να λάβει πολλές μορφές (Blum, 1985).

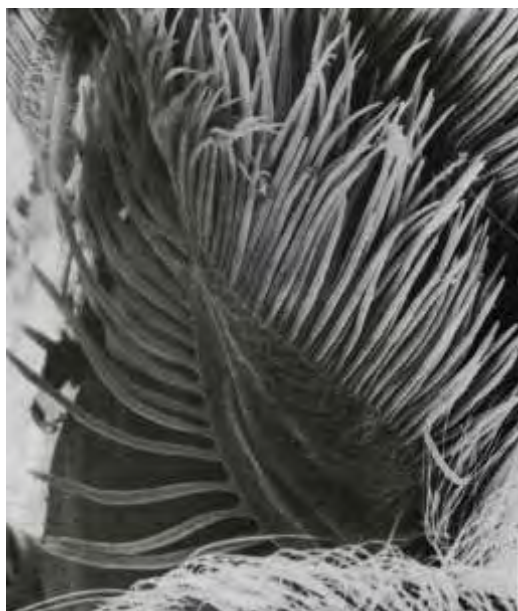


**Εικόνα 29.** Διάφορες προσαρμογές πρόσληψης οξυγόνου από υδρόβια έντομα  
(πηγή: [www.unk.edu](http://www.unk.edu))

### 3.1.1 Κλειστά συστήματα

Στα κλειστά τραχειακά συστήματα δεν υπάρχει κανένα λειτουργικό στίγμα (spiracle), όπως συμβαίνει στα ανοιχτά συστήματα και η ανταλλαγή των αερίων πρέπει να επιτευχθεί με τη διάχυση μέσω της επιδερμίδας. Αυτή η επιδερμίδα είναι λεπτή και διαπερατή, και κάτω από αυτήν βρίσκεται ένα πυκνό δίκτυο τραχειιδίων (tracheoles), που παρέχει μια μεγάλη περιοχή επιφάνειας για την ανταλλαγή των αερίων.

Λόγω της μικρής αναλογίας εξωτερικής επιφάνειας σώματος/συνολικό όγκο σώματος, που έχουν τα υδρόβια έντομα ή της παρουσίας παχιάς, αδιαπέρατης σε οξυγόνο επιδερμίδας, τα περισσότερα έντομα, με κλειστά τραχειακά συστήματα, δεν μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις τους σε οξυγόνο, απλώς με τη διάχυση μέσω της σωματικής τους επιφάνειας (δερματική αναπνοή). Σε αυτή την περίπτωση, η αναπνοή επιτυγχάνεται, συνήθως, με ιδιαίτερα λεπτές αποφύσεις του σωματικού τοιχώματος, που καλούνται τραχειακά βράγχια (Εικόνα 30) (Romoser and Stoffolano, 1988).



**Εικόνα 30.** Τραχειακά βράγχια της προνύμφης *Hexagenia limbata* (Ephemeroptera)  
(πηγή: Elzinga, 2004)

### **A) Δερματική αναπνοή (cutaneous respiration)**

Επειδή το ποσοστό ανταλλαγής των αερίων είναι ανάλογο με την επιφάνεια του σώματος, μόνο τα υδρόβια έντομα που έχουν υψηλή αναλογία εξωτερικής επιφάνειας σώματος/συνολικό όγκο σώματος μπορούν να στηριχθούν αποκλειστικά στη δερματική αναπνοή (Merritt and Cummins, 1996).

Τα περισσότερα υδρόβια έντομα, που αναπνέουν αποκλειστικά με δερματική αναπνοή, έχουν μικρό μέγεθος, όπως οι καμποδεόμορφες προνύμφες (π.χ. προνύμφες



Διπτέρων (Chironomidae, Ceratopogonidae, Chaoboridae, Tipulidae, Simuliidae) και προνύμφες Πλεκοπτέρων και Τριχοπτέρων), χωρίς ανεπτυγμένα τραχειακά βράγχια (Ward, 1992). Δερματική αναπνοή εμφανίζουν επίσης τα περισσότερα υδρόβια έντομα που ζουν σε κρύα, με γρήγορη ροή ρεύματα, λόγω της αφθονίας του διαλυμένου οξυγόνου σε αυτά (Meyer, 2006).

Εντούτοις, η ανταλλαγή των αερίων στα αρχικά στάδια ζωής ενός μεγάλου αριθμού υδρόβιων εντόμων φαίνεται να πραγματώνεται μέσω της δερματικής αναπνοής (Εικόνα 31). Αυτά τα υδρόβια έντομα έχουν μια σχετικά λεπτή επιδερμίδα, η οποία είναι διαπερατή στο οξυγόνο και στο διοξείδιο του άνθρακα, επιτρέποντας τη διάχυση των αερίων μέσα στο σώμα τους (Merritt and Cummins, 1996).



**Εικόνα 31.** Προνύμφη Πλεκοπτέρου, η οποία αναπνέει με δερματική αναπνοή (πηγή: Σταμόπουλος, 2007)

Τα μεγαλύτερα έντομα, ωστόσο, που είναι πιο ενεργά ή που ζουν σε λιγότερο οξυγονωμένα νερά, πρέπει να στηριχθούν σε άλλες προσαρμογές για την αναπνοή τους (Meyer, 2006).

### **B) Τραχειακά βράγχια (Tracheal gills)**

Τα τραχειακά βράγχια είναι ιδιαίτερα μεταβλητά στη δομή και στη θέση στο σώμα των υδρόβιων εντόμων. Εμφανίζονται σε πολλές τάξεις αυτών των εντόμων.

Παραδείγματος χάρη, τρία ουραία βράγγια είναι χαρακτηριστικά των προνυμφών Ζυγοπτέρων Odonata, ενώ νηματοειδούς τύπου βράγγια βρίσκονται στο κεφάλι, στο θώρακα, στην κοιλιά ή στο ισχίο των Πλεκοπτέρων και μερικών υδρόβιων Λεπιδοπτέρων (Εικόνα 32) (Blum, 1985). Ο νηματοειδής τύπος εμφανίζεται επίσης στην κοιλιά ορισμένων Τριχοπτέρων, Διπτέρων και Λεπιδοπτέρων και στο θώρακα ή στην κοιλιά ελάχιστων Κολεοπτέρων (Merritt and Cummins, 1996). Τα ορθικά ή πρωκτικά βράγγια είναι μια σπάνια περίπτωση και συναντώνται σε προνύμφες Ανισόπτερον Odonata (Σταμόπουλος, 2007).

Τα τραχειακά βράγγια είναι γενικά κατασκευές που απαντώνται στις υδρόβιες προνύμφες. Μερικά είδη Τριχόπτερον συνεχίζουν να έχουν τραχειακά βράγγια στο στάδιο της pupa. Στα ενήλικα άτομα Τριχόπτερον και Πλεκόπτερον, λόγω της εξ'ολοκλήρου πρόσληψης οξυγόνου με δερματική αναπνοή, τα τραχειακά βράγγια παραμένουν μη λειτουργικά.



**Εικόνα 32.** Νηματοειδής τύπος τραχειακών βραγχίων στην υδρόβια προνύμφη *Pararonyx seminealis* (Pyralidae: Lepidoptera) [Φωτ.: Dr. Dale Habeck, (πηγή: Elzinga, 2004)]

Το διαλυμένο οξυγόνο μεταφέρεται στην τραχεία των βραγχίων και σε άλλες περιοχές του σώματος, από το περιβάλλον νερό. Μέσα στην τραχεία, πιθανώς

διανέμεται μέσω της διάχυσης, όπως στα χερσαία έντομα και μέσω κάποιων σωματικών και μυικών κινήσεων (Romoser and Stoffolano, 1988).

### 3.1.2 Ανοιχτά συστήματα

Η πλειοψηφία των υδρόβιων εντόμων αναπνέει αέρα με τον ίδιο σχεδόν τρόπο με τα χερσαία έντομα και έχουν ένα ανοικτό τραχειακό σύστημα (Gillott, 1982).

Πολλά από αυτά τα έντομα έχουν προπνευστικό αναπνευστικό σύστημα, με μόνο ένα λειτουργικό ζευγάρι στιγμάτων κοντά στην άκρη της κοιλιάς. Μερικά έχουν ένα σωλήνα (σιφώνιο) στην άκρη της κοιλιάς, ο οποίος τοποθετείται επάνω από την επιφάνεια του νερού για την πρόσληψη ατμοσφαιρικού αέρα. Κατά τη διάρκεια της βύθισης, τα στίγματα παραμένουν κλειστά (Blum, 1985).

Άλλα υδρόβια έντομα, τα οποία αναδύονται (π.χ. προνύμφες κουνουπιών) έχουν υδρόφοβες κατασκευές. Αυτές οι κατασκευές συνδέονται γενικά με συγκεκριμένα στίγματα και διαφοροποιούνται από έντομο σε έντομο. Ωστόσο, όλες πραγματοποιούν ουσιαστικά την ίδια λειτουργία· διαρρηγνύουν το στρώμα της επιφάνειας του νερού, με τέτοιο τρόπο, ώστε τα στίγματα να έρθουν σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Οι κατασκευές αυτές χρησιμεύουν, επίσης, ώστε να κρατήσουν το νερό μακριά από την τραχεία όταν το έντομο είναι βυθισμένο στο νερό. Αποτελούνται, συνήθως, από τρίχες οι οποίες είναι αδιάβροχες (Romoser and Stoffolano, 1988).

#### A) Σωλήνες αναπνοής

Αν και τα υδρόβια έντομα ζουν κάτω από την επιφάνεια του νερού, μερικά από αυτά παίρνουν τον αέρα απευθείας από την επιφάνεια μέσω εκτατών κοίλων σωλήνων αναπνοής (σίφωνες) (Εικόνα 33) (Meyer, 2006).



**Εικόνα 33.** Αναπνοή προνύμφης κουνουπιού με τη βοήθεια ‘σιφώνα’  
(πηγή: [www.cals.ncsu.edu](http://www.cals.ncsu.edu))

Το είδος αυτού του εξαρτήματος ποικίλει από είδος σε είδος και το μήκος του είναι είτε σταθερό (προνύμφες κουνουπιών), είτε είναι μεταβλητό (προνύμφες Syrphidae) (Σταμόπουλος, 2007).

Παραδείγματα υδρόβιων εντόμων, που αναπνέουν με σωλήνες αναπνοής, αποτελούν, εκτός από τα προαναφερθέντα, τα Ημίπτερα της οικογένειας Nepidae και ορισμένες προνύμφες Διπτέρων (Ephydriidae, Psycodidae, Stratiomyidae, Tabanidae, Tipulidae και Ptychopteridae) (Merritt and Cummins, 1996).

### **B) Φυσαλίδες αέρα**

Μερικά υδρόβια έντομα, όπως τα Κολεόπτερα της οικογένειας Dytiscidae, φέρουν μαζί τους μια φυσαλίδα αέρα, με την οποία βυθίζονται κάτω από την επιφάνεια του νερού (Εικόνα 34). Αυτή η φυσαλίδα μπορεί να κρατηθεί κάτω από το έλυτρά τους ή μπορεί να παγιδευτεί σε δασύτριχα μέρη στο σώμα τους. Η φυσαλίδα έρχεται σε επαφή συνήθως με ένα ή με περισσότερα ενεργά στίγματα, έτσι ώστε το έντομο να μπορεί να αναπνεύσει τον αέρα από τη φυσαλίδα, ενώ καταδύεται.



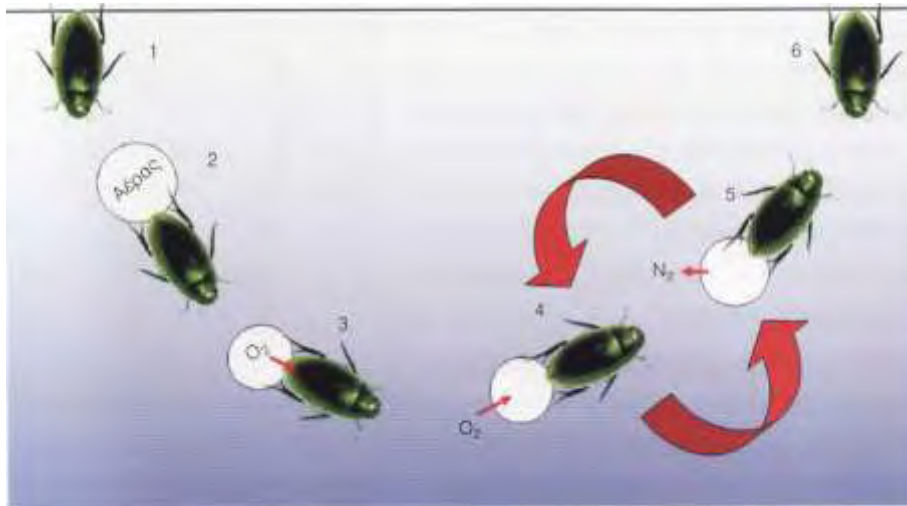
**Εικόνα 34.** *Agaricus* sp. (Coleoptera: Dytiscidae) με φυσαλίδα αέρα κάτω από τα έλυτρα  
(Φωτ.: N.Sloth, πηγή: [www.biopix.dk](http://www.biopix.dk))

Η αεροφυσαλίδα παρέχει στο έντομο μόνο μια βραχυπρόθεσμη ποσότητα σε οξυγόνο, αλλά χάρη στις μοναδικές σωματικές ιδιότητές της, μια φυσαλίδα μπορεί να συλλέξει μερικά από τα μόρια οξυγόνου που είναι διαλυμένα στο νερό. Στην πραγματικότητα, η φυσαλίδα ενεργεί ως "φυσικό βράγχιο", η οποία για να ξαναγεμίσει με οξυγόνο, απαιτείται η ανάδυση του εντόμου στην επιφάνεια του νερού (Meyer, 2006).

Η διαδικασία, όπως αυτή παρουσιάζεται σχηματικά και στην Εικόνα 35, διέρχεται από τις εξής φάσεις:

1. Το έντομο κατευθύνεται προς την επιφάνεια του νερού και αφού παραλάβει μια φυσαλίδα ατμοσφαιρικού αέρα, την κρατά κάτω από το έλυτρό του ή σε δασύτριχα μέρη στο σώμα του και καταδύεται,
2. Καθώς το έντομο καταδύεται, καταναλώνει το οξυγόνο της φυσαλίδας, του οποίου μειώνεται η μερική πίεση,
3. Στα υδάτινα οικοσυστήματα, όπου ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι κορεσμένος, δημιουργείται διαφορά πίεσης ανάμεσα στη μερική πίεση του οξυγόνου στο νερό και μέσα στη φυσαλίδα,

4. Το αποτέλεσμα της διαφοράς πίεσης, είναι η διάχυση του οξυγόνου του νερού προς το εσωτερικό της φυσαλίδας, και εμπλουτισμός της φυσαλίδας με οξυγόνο,



**Εικόνα 35.** Σχηματική απεικόνιση των διαφόρων φάσεων αναπνοής υδρόβιου Κολεόπτερου με βοήθεια ‘φυσικών βραγχίων’ (πηγή: Σταμόπουλος , 2007)

5. Η κατανάλωση του οξυγόνου δημιουργεί επίσης μια διαφορά πίεσης μεταξύ της μερικής πίεσης του αζώτου στη φυσαλίδα, η οποία είναι και υψηλότερη, και της μερικής πίεσης του αζώτου στο νερό, με αποτέλεσμα τη διάχυση του αζώτου της φυσαλίδας προς το νερό και τη βαθμιαία συρρίκνωση του όγκου της,
6. Η διάρκεια ζωής της φυσαλίδας είναι μικρή και όταν αυτή συρρικνωθεί αρκετά το έντομο επανέρχεται στην επιφάνεια για να την ανανεώσει. Στην πραγματικότητα, εκείνο που χρειάζεται ανανέωση είναι το άζωτο. Σε ορισμένα έντομα, υπάρχουν μόνιμες και σταθερές κατασκευές, οι οποίες λειτουργούν ως ‘φυσικά βράγχια’ και των οποίων ο ρόλος είναι η συγκράτηση του αζώτου και η μη διάχυσή του

στο νερό. Τέτοιου είδους κατασκευή είναι το plastron (Σταμόπουλος, 2007).

### Γ) Plastron

Τα υδρόβια έντομα, τα οποία είναι σε θέση να παραμείνουν κάτω από την επιφάνεια του νερού, συνήθως έχουν μια κατασκευή γνωστή ως plastron.

Το plastron είναι ένα πολύ λεπτό στρώμα, που αποτελείται από πολυάριθμες πυκνές υδροφοβικές τρίχες ή άλλα πολύ εξειδικευμένα πλέγματα επιδερμικής προέλευσης. Οι τρίχες μπορούν να κρατήσουν το νερό μακριά από τη σωματική επιφάνεια και έτσι επιτρέπουν να αναπτυχθεί ένα μόνιμο στρώμα αέρα σε αυτή την περιοχή. Τα εξειδικευμένα πλέγματα συνδέονται με τα τραχειακά βράγχια (Merritt and Cummins, 1996).

Η κατασκευή plastron βρίσκεται στα ενήλικα άτομα ορισμένων υδρόβιων Κολεοπτέρων (παραδείγματος χάρη *Stenelmis* sp.), στις προνύμφες και ενήλικα στάδια του Ημίπτερου *Aphelocheirus aestivalis*, και στα θηλυκά ενήλικα του άπτερου Λεπιδόπτερου *Acentrophus niveus*. Το plastron, το οποίο αποτελείται από τα εξειδικευμένα δερματικά πλέγματα, βρίσκεται επίσης σε προνυμφικά ή/και στάδια pupa ορισμένων Κολεοπτέρων και Διπτέρων (Romoser and Stoffolano, 1988).

Αντίθετα από τις φυσαλίδες αέρα, το στρώμα αερίου που έχει ένα plastron διατηρείται σταθερό λόγω της στιβαρής κατασκευής του και δεν μεταβάλλεται ο όγκος του (Σταμόπουλος, 2007). Τα στίγματα είναι ανοικτά στο plastron και αυτό λειτουργεί κατά τρόπο παρόμοιο με ένα φυσικό βράγχιο, εκτός από ότι δεν απαιτείται η συχνή ανανέωση του αέρα με συνεχείς αναδύσεις στην επιφάνεια του νερού (Romoser and Stoffolano, 1988).

### Δ) Λήψη αέρα από το αερέγχυμα των φυτών

Μερικά υδρόβια έντομα είναι σε θέση να ‘αιχμαλωτίζουν’ και να χρησιμοποιήσουν τις φυσαλίδες αέρα, που απελευθερώνονται από τα υδρόβια φυτά. Άλλα έντομα, τρυπούν το υπόγειο τμήμα των βλαστών των υδρόβιων φυτών και προσλαμβάνουν αέρα από το αερέγχυμά τους (Εικόνα 36) (McCafferty, 1998).

Οι προνύμφες του *Donacia simplex* (Coleoptera-Chrysomelidae) ζουν στη λάσπη γύρω από τις ρίζες υδρόβιων φυτών, όπως του *Typha latifolia*, και ανοίγουν τρύπες στη ρίζα τους με ένα προεκτεινόμενο σιφώνιο. Τα στίγματα στην άκρη του σιφωνιού επιτρέπουν την είσοδο του αέρα στον οργανισμό τους (Romoser and Stoffolano, 1988).

Οι προνύμφες αυτές λίγο πριν τη νύμφωσή τους διανοίγουν τρύπα στη ρίζα του υδρόβιου φυτού και στη συνέχεια κατασκευάζουν από πάνω ένα βομβύκιο μέσα στο οποίο νυμφώνονται. Τόσο οι νύμφες όσο και τα ενήλικα που θα προκύψουν, εξαρτώνται από το οξυγόνο που διαχέεται μέσα στο βομβύκιο διαμέσου του ανοίγματος αυτού. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα τα ενήλικα άτομα διαπαύουν μέσα στα βομβύκια και κατορθώνουν με αυτό τον τρόπο να επιζήσουν έχοντας περιορίσει στο ελάχιστο τις απαιτήσεις τους σε οξυγόνο (Σταμόπουλος, 2007).





**Εικόνα 36.** Η προνύμφη *Mansonia* χρησιμοποιεί το προεκτεινόμενο σιφώνιο, με το οποίο τρυπά τη ρίζα των υδρόβιων εντόμων και παίρνει οξυγόνο από το αερέγχυμά τους (Φωτ.: Stephen Doggett, πηγή: <http://medent.usyd.edu.au>).

Μερικά Λεπιδόπτερα, όπως το *Hydrocampra*, αλλά και υδρόβια Δίπτερα και Κολεόπτερα έχουν υιοθετήσει αυτή τη προσαρμογή της λήψης αέρα από το αερέγχυμα των υδρόβιων φυτών (Blum, 1985).

### **Ε) Αναπνοή με αιμογλοβίνη**

Η σπάνια περίπτωση της αναπνοής με αιμογλοβίνη απαντάται στην αιμόλεμφο των προνυμφών του γένους *Chironomus* (Diptera). Το είδος της αιμογλοβίνης (εξ ου και ο χρωματισμός του σώματός τους) με την οποία δεσμεύει τις απαιτούμενες ποσότητες οξυγόνου σε τέτοιο βαθμό ώστε να μπορούν να ζουν σε περιβάλλοντα όπου οι συγκεντρώσεις του αερίου είναι πολύ χαμηλές. Η δέσμευση αυτή γίνεται με μια διαδικασία συνεχών κινήσεων και συστροφών του σώματος των προνυμφών η οποία ακολουθείται από σύντομες περιόδους ηρεμίας. Κατά τη διάρκεια της κυματοειδούς τους κινήσεως χρησιμοποιούν την αιμογλοβίνη για να δεσμεύσουν οξυγόνο, το οποίο αποθηκεύουν, και κατά τη φάση της μη κυματοειδούς

τους κινήσεως αυτό αποδίδεται στον οργανισμό τους (Σταμόπουλος 2007, Blum 1985)



Εικόνα 37. *Chironomus sp.* (Φωτ.: N.Sloth, πηγή: www.biopix.dk)

Η αιμογλοβίνη εμφανίζεται επίσης μέσα σε ορισμένα κύτταρα της προνύμφης *Gastrophilus* (Diptera) και στις προνύμφες και στα ενήλικα *Anisops* και *Buenoa* (Notonectidae) (Merritt and Cummins, 1996).

### 3.2 Θερμοκρασία

Ουσιαστικά, όλα τα στάδια της ζωής και της διασποράς των υδρόβιων εντόμων επηρεάζονται από τη θερμοκρασία. Είναι ένας καθοριστικός παράγοντας που επηρεάζει τη διασπορά, την ποικιλομορφία, και τη βιοποικιλότητα στα εσωτερικά νερά (Ward, 1992). Ο μεταβολισμός, η αύξηση και η αναπαραγωγή σχετίζεται άμεσα με τη θερμοκρασία, που μαζί με τη διαθεσιμότητα της τροφής, σε ποσότητα και σε ποιότητα, επιδρούν στην ανάπτυξη των υδρόβιων εντόμων (Anderson and Cummins, 1979). Ο ημερήσιος κύκλος της θερμοκρασίας μπορεί να είναι επίσης σημαντικός: π.χ. η γονιμότητα των κουνουπιών *Wyeomyia smithii* ήταν επταπλάσια, όταν αυτά εκτέθηκαν σε διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, αντί σε σταθερές θερμοκρασίες (Bradshaw, 1980).

Λίγα μόνο έντομα εμφανίζονται σε νερά με θερμοκρασία της τάξης των 50 °C, ενώ άλλα μπορούν να επιζήσουν στα υποστρώματα παγωμένων Αρκτικών λιμνών, όπου οι θερμοκρασίες μπορούν να είναι τόσο χαμηλές, όπως της τάξης των -20 °C ως -30 °C. Τα Δίπτερα των οικογενειών Chironomidae και Empididae αποτελούν πάνω από το 90% των ατόμων που βρέθηκαν στους παγωμένους βιότοπους ρευμάτων της Αλάσκα (Irons et al., 1992).

Πολλές τάξεις, αντίθετα, που απαντώνται σε ποτάμια της Αλάσκα δεν μπορούν να επιζήσουν όταν οι θερμοκρασίες πέσουν κάτω από -1 °C. Σε αυτές τις θερμοκρασίες, τα είδη αυτά απομακρύνονται από την παγωμένη ζώνη και μετακινούνται σε νερά που δεν παγώνουν.

Το θερμικό σημείο θανάτου των περισσότερων ασπονδύλων του γλυκού νερού είναι μεταξύ 30 °C και 40 °C (Merritt and Cummins, 1996). Έτσι, είδη όπως το *Hedriodiscus truquii* (Diptera: Statiomyidae) το οποίο ανέχεται θερμοκρασίες ως 47 °C στη Βόρεια Αμερική (Stockner, 1971) και το *Scatella thermarum* (Diptera: Ephydriidae), που βρίσκεται σε 47.7 °C σε Ισλανδικές θερμές πηγές, έχουν αναπτύξει ιδιαίτερα θερμικές προσαρμογές. Σε έρευνα της πανίδας των εντόμων που ζουν σε θερμές πηγές, ο Pritchard (1991) κατέληξε στα εξής συμπεράσματα:

- κανένα έντομο δεν ζει πάνω από 50 °C,
- λίγα έντομα απαντώνται πάνω από 40 °C και
- η θερμοκρασία σε συνδυασμό με αλλαγές στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των νερών (π.χ. αύξηση pH, μείωση συγκέντρωσης του οξυγόνου) μπορεί να περιορίσει την παρουσία και αφθονία ορισμένων ειδών υδρόβιων εντόμων.

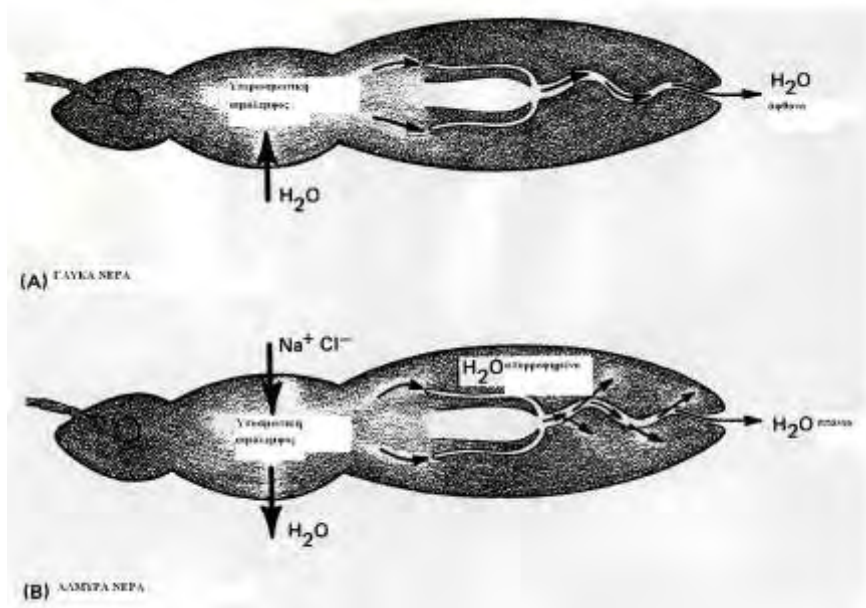
Αντίθετα με τον περιορισμένο αριθμό των ειδών που απαντώνται σε υψηλές θερμοκρασίες, σε νερά που τείνουν να παγώσουν υπάρχει μια διαφορετική πανίδα

και πολλά είδη που ζουν σε νερά της ηπειρωτικής ενδοχώρας μπορούν να επιβιώσουν τον χειμώνα (Ward, 1992).

Τα υδρόβια έντομα προσαρμόζουν κατάλληλα τα στάδια του βιολογικού τους κύκλου, ώστε να χρησιμοποιούν τις ευνοϊκές περιόδους για την αύξησή τους. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν τη διάπαυση ή μια αδρανή περίοδο, για να αποφύγουν υπερβολικά υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες (Merritt and Cummins, 1996).

### 3.3 Ωσμωρύθμιση

Τα διαλυμένα άλατα στο νερό επηρεάζουν την χημική ισορροπία και τη βιολογική δραστηριότητα των υδρόβιων εντόμων. Με κάθε αύξησή τους επέρχεται αύξηση της πυκνότητας και μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου στο νερό. Η μεγαλύτερη επιρροή, εντούτοις, είναι η επίδραση που έχουν αυτά τα μόρια στις οσμωτικές πιέσεις των κυττάρων των εντόμων. Όταν οι συγκεντρώσεις των αλάτων είναι χαμηλότερες στο νερό από ότι μέσα στο σώμα των εντόμων, όπως συμβαίνει στα γλυκά νερά, το σώμα είναι υπερωσμωτικό και το νερό και τα άλατα διαχέονται στο σώμα προκαλώντας αραίωση του αίματος και σοβαρά ωσμωρυθμιστικά προβλήματα. Η αντίστροφη διαδικασία ισχύει για το αλμυρό ή το υφάλμυρο νερό, στο οποίο τα κυτταρικά υγρά είναι υποοσμωτικά και το νερό εξέρχεται από το σώμα των εντόμων (Εικόνα 38) (Elzinga, 2004).



**Εικόνα 38.** Σύγκριση ωσμωρυθμιστικών στρατηγικών. Α) σε γλυκά νερά, όπου το νερό στο σώμα είναι σε αφθονία, Β) σε αλμυρά νερά, όπου το σωματικό νερό πρέπει να διατηρηθεί (πηγή: Elzinga, 2004, τροπ.).

Τα υδρόβια έντομα έχουν υιοθετήσει πολλές προσαρμογές για να υπερνικήσουν τα προβλήματα της συγκέντρωσης των αλάτων στο νερό. Ένα έντομο, που έχει υπερωσμωτική αιμόλεμφο, αποβάλλει νερό και αμμωνία από το σώμα του, για να διατηρήσει τις βέλτιστες ωσμωτικές πιέσεις (Smith, 2005). Τα υποσμωτικά άτομα, αντιδρούν παρόμοια με τα χερσαία έντομα, και έχουν κηρώδες επιδερμάτιο, που περιορίζει την απορρόφηση αλάτων και την απώλεια νερού (McCafferty, 1998). Εκκρίνουν επίσης ουρικό οξύ και καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες νερού για να μειώσουν την απώλεια νερού στο σώμα τους (Charman, 1982).

### 3.4 Οξύτητα και αλκαλικότητα

Το νερό της θάλασσας έχει pH περίπου ίσο με 8, ενώ αυτό των γλυκών νερών κυμαίνεται από 3,2 μέχρι 10.5. Όξινα νερά είναι συνηθισμένο φαινόμενο στις λίμνες, όπου η αποικοδόμηση της οργανικής ύλης γίνεται με πολύ αργό ρυθμό, και σε λίμνες

όπου συσσωρεύονται όξινες βροχές. Τα αλκαλικά νερά είναι πιο κοινά σε έρημες περιοχές ή σε περιοχές όπου αυτά στραγγίζονται. Σημαντικές αλλαγές εντούτοις μπορούν να εμφανιστούν από εποχή σε εποχή ειδικά στις ρηχές λίμνες και σε περιοχές που σημειώνονται υψηλές ή μειωμένες βροχοπτώσεις (Elzinga, 2004).

Τα υδρόβια έντομα είναι ανεκτικά σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις pH. Τα ενήλικα άτομα π.χ. των οικογενειών Gyrinidae (Coleoptera) και Corixidae (Hemiptera) είναι ιδιαίτερα ανεκτικά στα όξινα νερά και μπορούν να επιζήσουν και να αναπαραχθούν σε νερά με pH της τάξης του 3.5, ενώ οι προνύμφες των Ephemeroptera εξαφανίζονται προτού το pH πέσει κάτω από 5 (Ortiz and Puig, 2007).

### 3.5 Υπόστρωμα

Μια μεγάλη ποικιλία από ανόργανα και οργανικά υλικά, που προέρχονται από αλλόχθονες και αυτόχθονες εισαγωγές, αποτελούν το υπόστρωμα των υδάτινων οικοσυστημάτων. Έτσι, π.χ. το υπόστρωμα των ορεινών ρεμάτων αποτελείται από πέτρες και κροκκάλες, ενώ στα πεδινά ποτάμια βρίσκουμε ιλύ και άμμο. Το υπόστρωμα αλληλεπιδρά με άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες, επιδρώντας στη συμπεριφορά των υδρόβιων εντόμων. Στα ποτάμια με λιγότερη ροή νερού, το λεπτότερο μέγεθος των μορίων του υποστρώματος σχετίζεται με τη χαμηλότερη συγκέντρωση οξυγόνου. Επίσης, το μέγεθος και το ποσό της οργανικής ύλης, τα οποία έχουν σχέση με την ανάπτυξη μακροφύτων και μικροβίων, διαφέρουν ανάλογα με το υπόστρωμα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω παραδείγματα, ο τύπος του υποστρώματος παίζει σημαντικό ρόλο στη διασπορά και αφθονία των υδρόβιων εντόμων. Το υπόστρωμα παρέχει ενδιαίτημα, τροφή και προστασία στα υδρόβια έντομα (Hynes, 2006).

### 3.5.1 Οργανικά υποστρώματα

Τα πολύ μικρά οργανικά μόρια (< 1mm) συνήθως χρησιμεύουν ως τροφή παρά ως υπόστρωμα, ενώ τα μεγαλύτερα οργανικά μόρια, από τα φύλλα ως τα μακρόφυτα, λειτουργούν ως υπόστρωμα παρά ως τροφή. Ωστόσο, τα απορριπτόμενα φύλλα από χερσαία δέντρα, αποτελούν υπόστρωμα και τροφή για τα φυτοφάγα υδρόβια έντομα. Η συσσώρευση των φύλλων στο βένθος των ποταμών ευνοεί συνήθως τη μέγιστη βιοποικιλότητα και αφθονία των υδρόβιων εντόμων. Ακόμη και τα μακρόφυτα αποτελούν τροφή για μερικά υδρόβια έντομα. Συχνά, τα μεγάλα οργανικά υποστρώματα, χρησιμεύουν ως περιοχές θήρευσης, λόγω της μεγάλης αφθονίας υδρόβιων εντόμων, για αρπακτικά, όπως ψάρια, αλλά και ως επιφάνειες για την ανάπτυξη μακροφύτων (Allen, 1995).

### 3.5.2 Ανόργανα υποστρώματα

Ο τύπος του υποστρώματος εξαρτάται από τις εισαγωγές αλλόχθονων υλικών, αλλά γενικά το μέγεθος των μορίων μειώνεται στα υδάτινα οικοσυστήματα κατά τη διαδρομή από τα ανάντι στα κατόντι. Στον παρακάτω Πίνακα 3, φαίνεται η κατηγοριοποίηση των ανόργανων υποστρωμάτων σε σχέση με το μέγεθος των ανόργανων υλικών του.

**Πίνακας 3.** Η ταξινόμηση των ανόργανων υποστρωμάτων σύμφωνα με το μέγεθος τους

(πηγή: Ward, 1992)

Κατηγορία μεγέθους	Διάμετρος σωματιδίων (mm)
<b>Πέτρες</b>	>256
Μεγάλες <b>Κροκάλες</b>	128-256
Μικρές <b>Κροκάλες</b>	64-128
Μεγάλο <b>Χαλίκι</b>	32-64
Μικρό <b>Χαλίκι</b>	16-32
Χονδροειδές <b>Αμμοχάλικο</b>	8-16
Μεσαίο <b>Αμμοχάλικο</b>	4-8
Λεπτό <b>Αμμοχάλικο</b>	2-4
Πολύ χονδροειδής <b>Άμμος</b>	1-2
Χονδροειδής <b>Άμμος</b>	0.5-1
Μεσαίου μεγέθους <b>Άμμος</b>	0.25-0.5
Λεπτόκοκκη <b>Άμμος</b>	0.125-0.25
Πολύ λεπτόκοκκη <b>Άμμος</b>	0.063-0.125
Ίλύς	<0.063

### 3.5.3 Χαρακτηριστική πανίδα σημαντικών κατηγοριών υποστρωμάτων

Η πλειοψηφία των βενθικών μακροασπονδύλων έχει στενή σχέση με το υπόστρωμα. Ανάλογα με τον τύπο του υποστρώματος (π.χ. άμμος και πέτρες), πολλές τάξεις παρουσιάζουν κάποιο βαθμό προτίμησης σε αυτό.

**Λιθόφιλες τάξεις** είναι εκείνες που απαντώνται σε πετρώδη υποστρώματα λιμνών και ποταμών και σχετίζονται με μεγάλου μεγέθους ανόργανα υλικά. Πολλά είδη υδρόβιων εντόμων απαντώνται σε υποστρώματα με ανόργανα υλικά όλων των μεγεθών, ενώ άλλα είναι πιθανότερο να βρεθούν σε υπόστρωμα με συγκεκριμένη κατηγορία μεγέθους. Οι προνύμφες π.χ. της οικογένειας Psephenidae (Coleoptera) απαντώνται κυρίως κάτω από πετρώδη υποστρώματα, ενώ οι προνύμφες της οικογένειας Pycnalidae (Lepidoptera) απαντώνται σε αμμώδη καταφύγια που κατασκευάζουν κάτω από πετρώδη υποστρώματα (Ward, 1992).



## Άμμος

Η άμμος θεωρείται φτωχό υπόστρωμα, ειδικά για τα μακροασπόνδυλα, λόγω της αστάθειάς του, και επειδή η συνεκτικότητα των κόκκων άμμου μειώνει την αφθονία των οργανικής προέλευσης θρυμμάτων ενώ μπορεί παράλληλα να περιορίσει και τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου. Αρκετές τάξεις, που καλούνται **ψαμμόφιλες**, προτιμούν αμμώδη υποστρώματα. Η ψαμμόφιλη πανίδα περιλαμβάνει μερικά μακροασπόνδυλα τα οποία υιοθετούν προσαρμογές ακόμα και για τον τρόπο αναπνοής τους. Παραδείγματα τέτοιου είδους προσαρμογής, είναι τα παρακάτω:

- Σε ένα αμμώδες υπόστρωμα ποταμού στη Βιρτζίνια, οι πυκνότητες ψαμμόφιλων (Chironomidae) υπολογίστηκαν κατά μέσο όρο σε πάνω από 2.000 άτομα/ 10 cm<sup>2</sup>, με μέγιστη πυκνότητα 6.000 άτομα/10 cm<sup>2</sup>, ενώ πυκνότητες προνυμφών Chironomidae της τάξης των 85.000 ατόμων/m<sup>2</sup> καταγράφηκαν σε αμμώδες υπόστρωμα ενός μεγάλου ποταμού της βόρειας Αλμπέρτα.
- Οι προνύμφες του είδους *Lestinogomphus africanus* (Odonata) βρέθηκαν σε αμμώδες υπόστρωμα λιμνών στην Ινδία, έχοντας επιμηκυσμένα τα αναπνευστικά τους σιφώνια που φθάνουν πάνω από την επιφάνεια της άμμου.
- Οι προνύμφες του γένους *Macronema* sp. (Trichoptera: Hydrophychidae) κατασκευάζουν παγίδες οι οποίες μοιάζουν με καπνοδόχο, ώστε να απαγορεύσουν την είσοδο κόκκων άμμου στο στόμα, μαζί με τη λεία τους (Hynes, 2006).

**Σκαπτικές τάξεις** είναι εκείνες που σκάβουν στοές σε συγκεκριμένου μεγέθους μορίων του υποστρώματος, στα οποία απαντώνται. Τα Ephemeroptera *Ephemera danica* και *E. simulans* κρύβονται κάτω από αμμοχάλικο, ενώ αντίθετα οι προνύμφες

του είδους *Hexagenia limbata* (Ephemeroptera) κρύβονται κάτω από λεπτά ιζήματα. Τα υποστρώματα που αποτελούνται από λεπτότερα ιζήματα έχουν συνήθως χαμηλή συγκέντρωση σε οξυγόνο. Έτσι, η προνύμφη *H.limbata* προκαλεί ρεύμα νερού με το χτύπημα των βραγχίων της, ώστε να δημιουργήσει καλύτερες συνθήκες οξυγόνωσης (Εικόνα 39) (Allen, 1995).



**Εικόνα 39.** Τραχειακά βράγχια προνύμφης *Hexagenia limbata*, με των οποίων το χτύπημα δημιουργείται ρεύμα νερού για την καλύτερη οξυγόνωση αυτού (πηγή:troutnut.com).

**Ξυλόφιλες τάξεις** είναι εκείνες που απαντώνται σε υποστρώματα με ξυλώδη θρύμματα. Τα μικρού μεγέθους τεμάχια ξύλου μπορεί να αποτελέσουν υπόστρωμα, ενώ μερικά είδη, όπως το *Lara anara* (Coleoptera), τα χρησιμοποιούν για τροφή, άλλα δε είδη τρέφονται από ένα μίγμα φυκών, μικροβίων και αποικοδομημένων θρυμμάτων από ξύλα, που βρίσκονται στα ξηλώδη υποστρώματα. Τα ξυλώδη υποστρώματα είναι κοινά στα ποτάμια των δασικών περιοχών.

**Φυτόφιλες τάξεις** είναι εκείνες που ζουν πλησίον υδρόβιων φυτών, ενώ ένας σημαντικός αριθμός ασπόνδυλων ενδιαίτάται στην επιφάνεια των μακροφύτων.

Πολλά από αυτά τα είδη τρέφονται με μακρόφυτα, ενώ άλλα τα χρησιμοποιούν ως καταφύγιο. Παράδειγμα φυτόφιλων ειδών είναι η προνούμφη *Rhyacophila verrula* (Trichoptera) και διάφορα είδη Εφημερόπτερων (Hynes, 2006).

### **Η επίδραση του υποστρώματος στη βιοποικιλότητα και αφθονία των υδρόβιων εντόμων**

Γενικά, η βιοποικιλότητα και η αφθονία των υδρόβιων εντόμων αυξάνονται ανάλογα με τη σταθερότητα των υποστρωμάτων και την παρουσία οργανικών θρυμμάτων. Άλλοι παράγοντες που επιδρούν στην αφθονία είναι το μέσο μέγεθος των στοιχείων που απαρτίζουν τα ανόργανα υποστρώματα, η ποικιλία των μεγεθών τους, και η σύσταση της επιφάνειας (Πίνακας 4).

**Πίνακας 4.** Αφθονία των υδρόβιων εντόμων σε πέντε ενδιαιτήματα (σε σχέση με το υπόστρωμα) σε ποτάμι του Quebec. (Οι τιμές είναι μέσοι όροι ετήσιας εμφάνισης, πηγή: Allen, 1995).

Ενδιαιτήμα	Αφθονία (άτομα/m <sup>2</sup> )	Αριθμός των ειδών
Άμμος	920	61
Αμμοχάλικο	1300	82
Κροκάλες και χαλίκια	2130	76
Φύλλα	3480	92
Βιοθρύμματα	5680	66

Η αφθονία των υδρόβιων εντόμων:

- αυξάνεται σε υποστρώματα που αποτελούνται από συστατικά μεσαίου μεγέθους, ενώ μειώνονται σε βραχώδη υποστρώματα (πέτρες και μεγάλες κροκάλες).

- αυξάνεται όταν η ποσότητα των βιοθρυμμάτων που εγκλωβίζεται ανάμεσα στα υποστρώματα είναι μεγάλη,
- αυξάνεται με την ποικιλία υποστρωμάτων σε ένα υδάτινο οικοσύστημα (Allen, 1995).

Η ποσότητα και ο τύπος των βιοθρυμμάτων εξαρτώνται από το μέσο μέγεθος των στοιχείων που απαρτίζουν τα ανόργανα υποστρώματα, αλλά και από την ποικιλία τους. Έτσι μια μελέτη της επιλογής υποστρώματος από τα υδρόβια έντομα είναι ανέφικτη χωρίς την ταυτόχρονη μελέτη του μεγέθους και της ποσότητας της οργανικής ύλης που το απαρτίζουν (Hynes, 2006).

### Ιλύς

Η ιλύς σε μικρές ποσότητες είναι ωφέλιμη για μερικές τάξεις. Σε εργαστηριακά πειράματα, όταν προστέθηκε ιλύς σε μεγαλύτερου μεγέθους υποστρώματα, τα εμπλούτισε και τα έκανε κατάλληλα για την ανάπτυξη των προνυμφών *Caenis latipennis* (Ephemeroptera) και *Perlesta placida* (Plecoptera). Σε μεγάλες όμως ποσότητες, η ιλύς είναι επιβλαβής για τα μακροασπόνδυλα επειδή δημιουργεί κενά στο υπόστρωμα μειώνοντας το μέγεθος του ενδιαιτήματος και τη συγκέντρωση του οξυγόνου σε αυτό, ενώ παράλληλα δεν ευνοεί την ανάπτυξη μικροβίων και μακροφύτων.

### Σύσταση υποστρωμάτων

Η σύσταση των υποστρωμάτων αναφέρεται στις ιδιότητες της επιφάνειάς τους, όπως η σκληρότητα, η τραχύτητα, και άλλους παράγοντες. Οι ερευνητές έχουν διαπιστώσει ότι περισσότερα ασπόνδυλα απαντώνται σε γρανίτη και ψαμμίτη, τα οποία έχουν πιο τραχιές επιφάνειες από τον χαλαζία. Άλλες μελέτες αναφέρουν ότι η

βιοποικιλότητα και η αφθονία είναι μεγαλύτερη σε ανώμαλα παρά σε ομαλά υποστρώματα του ίδιου μεγέθους (Allen, 1995).

### **3.6 Μορφολογικές προσαρμογές και συμπεριφορά στο ρεύμα του νερού**

Το σώμα των εντόμων, που ζουν σε ισχυρά ρεύματα νερού εμφανίζεται ραχιοκοιλιακά πεπλατυσμένο και μερικές φορές τα έντομα αυτά έχουν πλευρικά προεκτεινόμενα πόδια. Παραδείγματα υδρόβιων εντόμων με αυτή την προσαρμογή είναι οι οικογένειες Heptagenidae (Ephemeroptera), Perlidae (Plecoptera) και τα Psephenidae (Coleoptera) (Merritt and Cummins, 1996).

Οι θήκες (περιβλήματα), που κατασκευάζονται από πολλά Τριχόπτερα (Εικόνα 40), βοηθούν στη βελτίωση ή στην τροποποίηση των δυσμενών αποτελεσμάτων της ταχύτητας του νερού στα ποτάμια. Η ποικιλία των σχημάτων και των υλικών (πέτρες, άμμος, ξύλα, φύλλα) αυτών των περιβλημάτων ενεργεί ως αντίσταση ενάντια στο ρεύμα του νερού (Gullan and Cranston, 2005).

Αυτές τις θήκες τις κουβαλούν μαζί τους, κατά τη διάρκεια της προνυμφικής ζωής τους, και όταν έρθει η ώρα της μεταμόρφωσης, τότε κλείνουν την είσοδό τους και μεταμορφώνονται μέσα σε αυτές. Οι θήκες αυτές, επίσης, βοηθούν στην αποφυγή των θηρευτών τους (Σταμόπουλος, 2007).



**Εικόνα 40.** Θήκες προνυμφών *Halesus* Stephens (Trichoptera: Limnephilidae) από το Κοντόρεμα Πηλίου (Φωτ.: Δ.Κ.Σταμόπουλος)

Διάφορες προνύμφες υδρόβιων εντόμων έχουν άγκιστρα, που τους επιτρέπουν να προσκολληθούν σε αρκετά ανώμαλες επιφάνειες, όπως π.χ. σε βράχους, ενώ άλλα παράγουν μετάξινα νήματα που τους επιτρέπουν να προσκολλώνται στα υποστρώματα και να αντιμετωπίζουν με αυτό τον τρόπο την γρήγορη ροή του νερού. Οι προνύμφες της οικογένειας Simuliidae (Diptera) γατζώνονται σε απόκρυμους βράχους ποταμών με γρήγορη ροή με τη βοήθεια μιας σειράς αγκίστρων σε κυκλική διάταξη που βρίσκονται στην περιοχή της έδρας. Με τη βοήθεια του ακραίου όνυχα του ταρσού τους υφαίνουν ένα μεταξένιο νήμα, που περιστρέφουν σε μια επιφάνεια του βράχου. Το μεταξένιο αυτό νήμα τους βοηθά στο να ανακτήσουν την αρχική τους θέση όταν παρασυρθούν από το ρεύμα του νερού (Merritt and Cummins, 1996).

Άλλα είδη που ανήκουν στις οικογένειες Hydropsychidae (Εικόνα 41), Philopotamidae, Psychomiidae (Trichoptera) και Chironomidae (Diptera), χρησιμοποιούν το μετάξι για την κατασκευή πλεγμάτων που χρησιμοποιούν για να παγιδέψουν άλλα έντομα που παρασύρθηκαν από το ρεύμα του νερού (Gullan and Cranston, 2005).



**Εικόνα 41.** Προνύμφη Hydropsychidae (Trichoptera), η οποία κατασκευάζει πλέγμα  
(Φωτ.: Dr. Robert Bohanan, πηγή: <http://watermonitoring.uwex.edu>)

Πολλά έντομα που ζουν σε τρεχούμενα νερά είναι μικρότερα από τα αντίστοιχά τους τα οποία ζουν σε στάσιμα. Το μέγεθός τους σε συνδυασμό με το εύκαμπτο του σώματός τους, τους επιτρέπει να ζήσουν ανάμεσα σε πέτρες και σε χαλίκια στον πυθμένα (βένθος) του ποταμού ή ακόμα και στα ασταθή αμμώδη υποστρώματα. Ένα άλλα μέσο αποφυγής του ρεύματος του νερού είναι η διαβίωσή τους ανάμεσα στις συσσωρεύσεις των φύλλων ή ακόμα και κάτω από αυτά. Τα υποστρώματα, αυτά χρησιμοποιούνται από διάφορα είδη Coleoptera και Diptera (π.χ. Tipulidae) (McCafferty, 1998).

Οι προνύμφες της οικογένειας Blephariceridae (Diptera) διαθέτουν στη κοιλιακή τους περιοχή ισχυρότατους μυζητήρες, με τη βοήθεια των οποίων μπορούν να προσκολλώνται ακόμη και σε τελείως λείες επιφάνειες. Τόσο αυτές όσο και οι νύμφες τους είναι κατάλληλα προσαρμοσμένες ώστε να “κολλούν” κυριολεκτικά πάνω στα βράχια για να μην παρασύρονται από το ρεύμα του νερού (Σταμόπουλος, 2007).

### 3.7 Άλλες προσαρμογές και συμπεριφορές των υδρόβιων εντόμων

Μερικές χαρακτηριστικές προσαρμογές και συμπεριφορές που έχουν υιοθετήσουν τα υδρόβια έντομα είναι οι εξής:

- Τα ημιυδρόβια Ημίπτερα (Gerromorpha) εκμεταλλεύονται την επιφανειακή τάση του νερού και το μικρό τους βάρος, ώστε να μπορούν να περπατούν με μεγάλη ταχύτητα ή να στέκονται ακίνητα στην επιφάνεια του νερού (Εικόνα 42) (Σταμόπουλος, 2007).



**Εικόνα 42.** *Gerris remigis* (Φωτ.: Peter Bryant, πηγή: [www.fcps.k12.va.us](http://www.fcps.k12.va.us))

- Οι προσαρμογές για επικοινωνία μεταξύ των εντόμων είναι σημαντικές και κυρίως απαντώνται σε πολλά υδρόβια Ημίπτερα. Η επικοινωνία μέσω κυματισμών είναι ο τρόπος επικοινωνίας για διάφορες ομάδες Ημίπτερων, ο οποίος έχει μελετηθεί στις οικογένειες Belastomatidae και Gerridae. Αυτά τα έντομα ταλαντεύουν τα σώματά τους, κυρίως τα πόδια τους, για να δημιουργήσουν κυματισμούς στην επιφάνεια του νερού και έτσι να προσελκύσουν τα θηλυκά άτομα. Όταν δε βρίσκονται ακίνητα πάνω στην επιφάνεια του νερού, αισθάνονται τις δονήσεις που δημιουργούν οι



μετακινήσεις άλλων υδρόβιων εντόμων, στα οποία επιτίθενται με εξαιρετική ταχύτητα και τα συλλαμβάνουν με τα κοντά τους μπροστινά πόδια (Wilcox, 1995).

- Τα Κολεόπτερα της οικογένειας Gyridae, όταν ενοχληθούν, κολυμπούν ακανόνιστα και με μεγάλη ταχύτητα ή καταδύονται αφήνοντας ταυτόχρονα μια δυσάρεστη οσμή. Η παραγωγή τέτοιων δύσοσμων ουσιών είναι χαρακτηριστική της οικογένειας και αποτελεί ένα αποτελεσματικό μέσο άμυνας.
- Μια άλλη χαρακτηριστική συμπεριφορά των Κολεοπτέρων είναι αυτή του σχηματισμού συναθροίσεων στην οποία μετέχουν διάφορα είδη. Πιστεύεται ότι αυτό έχει ως σκοπό να κάνει αισθητή την “αποκρουστική” παρουσία τους στους εχθρούς τους ώστε αυτοί να απομακρυνθούν.
- Το κάτω χείλος των στοματικών μορίων των Odonata διαμορφώνεται ανάλογα με το είδος της συγκεκριμένης λείας που υπάρχει σε αφθονία στα διάφορα οικοσυστήματα στα οποία ενδιαιτώνται. Έτσι, διακρίνουμε μακρύ κάτω χείλος κατάλληλα διαμορφωμένο για γρήγορη και από μακριά σύλληψη μικροσκοπικής λείας, κάτω χείλος κατάλληλα διαμορφωμένο για σύλληψη μεγάλων και αργά κινούμενων εντόμων (Plecoptera, Diptera), φαρδύ κάτω χείλος διαμορφωμένο για σύλληψη μεγαλόσωμης λείας ή κάτω χείλος διαμορφωμένο σε μικρό “κουτάλι” για σύλληψη μικροσκοπικής κινούμενης λείας.
- Μικρές ομάδες από αρσενικά άτομα της οικογένειας Empididae (Diptera) πετούν με ελικοειδείς κινήσεις πάνω από το νερό κρατώντας ως λεία στο στόμα τους ένα άλλο έντομο, προσπαθώντας να προσελκύσουν τα θηλυκά.

Όταν τα τελευταία επιλέξουν το αρσενικό με την πιο “ενδιαφέρουσα” τροφή, αποσύρονται στην παρακείμενη βλάστηση όπου λαμβάνει χώρα η σύζευξη.

- Ο σχηματισμός σμηνών από τα αρσενικά Εφημερόπτερα έχει ως απώτερο σκοπό να προσελκύσει τα θηλυκά για τη σύζευξη.
- Τα Ημίπτερα της οικογένειας Notonectidae παραμονεύουν τη λεία τους τοποθετημένα ανάποδα κάτω από την επιφάνεια του νερού και μόλις αντιληφθούν την παραμικρή διατάραξή της από διάφορα άλλα αρθρόποδα που έχουν πλησιάσει, επιτίθενται σε αυτά με καταπληκτική ταχύτητα (McCafferty 1998, Σταμόπουλος 2007).

#### 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Στο πειραματικό μέρος επιχειρήθηκε μια ενδεικτική προσέγγιση της οικολογικής σημασίας των υδρόβιων εντόμων αφενός και των παραγόντων που μπορούν να επιδράσουν στην βιοοικολογία τους αφετέρου. Στα πλαίσια της χρησιμότητας των υδρόβιων εντόμων ως αποικοδομητών της οργανικής ύλης, μελετήθηκε το ποσοστό αποικοδόμησης της οργανικής ύλης από προνύμφες *Halesus Stephens* (Trichoptera: Limnephilidae), σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Επίσης, στα πλαίσια της χρησιμότητας των υδρόβιων εντόμων ως βιοδεικτών, μελετήθηκε η τοξικότητα των νιτρικών αλάτων στην επιβίωση των προνυμφών *Halesus Stephens* (Trichoptera: Limnephilidae) και των ενήλικων *Agabus Leach* (Coleoptera: Dytiscidae).

##### 4.1 ΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΥΛΗΣ ΑΠΟ ΠΡΟΝΥΜΦΕΣ *Halesus Stephens* (Trichoptera: Limnephilidae)

###### 4.1.1 Εισαγωγή

Η αποικοδόμηση της οργανικής ύλης αποτελεί μια μεγάλη πηγή ενέργειας για τις κοινωνίες μακροασπονδύλων που απαντώνται σε εσωτερικά νερά (ποτάμια και ρυάκια) (Wallace et al., 1997). Αυτό το υλικό διασπάται από τους τεμαχιστές και τους μικροοργανισμούς, οι οποίοι το κάνουν διαθέσιμο για άλλους οργανισμούς της τροφικής αλυσίδας. Η μεγάλη σημασία των τεμαχιστών και των μικροοργανισμών στην αποικοδόμηση της οργανικής ύλης επηρεάζει τα ποσοστά και τη ροή της ενέργειας σε αυτά τα συστήματα (Cummins et al., 1973). Επίσης, η διάσπαση της τροφής από τους τεμαχιστές επιδρά στις κοινωνίες ανώτερων τάξεων, επειδή η διαδικασία αποικοδόμησης της οργανικής ύλης δημιουργεί λεπτόκοκκη και

διαλυμένη οργανική ύλη, που μεταφέρεται στα κατάντι των ποταμών (Vannote et al. 1980, Wallace et al., 1997).

Τα πειράματα σε εργαστήρια, έχουν δείξει πως τα ποσοστά διάσπασης της οργανικής ύλης από τους τεμαχιστές επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, όπως:

- Η θερμοκρασία του νερού (Nolen and Pearson 1993, Buzby and Perry 2000),
- Το είδος της οργανικής ύλης (Canhoto and Graca 1995, Friberg and Jacobsen 1999, Bogut et al. 2007) και
- Το μέγεθος των μακροασπονδύλων (Iversen 1979, Feio and Graca 2000).

Ωστόσο, τέτοια πειράματα συνήθως αδυνατούν να μας δώσουν το πραγματικό ποσοστό της αποικοδόμησης της οργανικής ύλης από έναν φυσικό πληθυσμό στο πεδίο.

Άλλες μελέτες πάλι, προσδιορίζουν την ποσότητα της οργανικής ύλης που κατανάλωσε ολόκληρος ο πληθυσμός των τεμαχιστών, χωρίς όμως να μας δίνουν πληροφορίες για το ποσοστό αποικοδόμησης από κάθε άτομο του πληθυσμού ξεχωριστά (Cuffney et al. 1990, Graca et al. 2001).

#### 4.1.2 Σκοπός του πειράματος

Ο σκοπός του πειράματος ήταν να υπολογιστεί η ποσότητα της οργανικής ύλης (φύλλα οξυάς *Fagus* sp.) που καταναλώνει η προνύμφη *Halesus* Stephens (Trichoptera: Limnephillidae) μέσα σε 48 ώρες, ενώ παράλληλα προσδιορίστηκε και η επίδραση της θερμοκρασίας (11°C, 16°C, 26°C) στο βαθμό κατανάλωσης από αυτό το Τριχόπτερο.

### 4.1.3 Υλικά και Μέθοδοι

#### Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο όρος Πήλιο, στην τοποθεσία Καλορίζα, κοντά στις πηγές της Λαγωνίκας και σε υψόμετρο 1028m. Οι συντεταγμένες της τοποθεσίας είναι 39°27'04.N και 23°00'29.E. (Εικόνα 43).

Ο χειμάρρος από τον οποίο ελήφθησαν τα δείγματα υδρόβιων εντόμων, λέγεται Κοντόρεμα. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στις 20/3/2007, 19/4/2007, 3/5/2007, 13/6/2007 και 19/10/2007.

Αφού ορίστηκαν σημεία δειγματοληψίας σε διάφορα μέρη του χειμάρρου (ανάντι, μεσαίο τμήμα και κατάντι), πραγματοποιήθηκαν ισάριθμες δειγματοληψίες με τη χρήση διάφορων τύπων αποχής, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την δειγματοληψία κυρίως βενθικού υποστρώματος και οργανισμών. Λόγω της μεγάλης διασποράς των ειδών των υδρόβιων εντόμων, δεν ήταν εφικτό να ακολουθηθεί κάποιο συγκεκριμένο πρωτόκολλο δειγματοληψίας.



**Εικόνα 43.** Περιοχή δειματοληψίας στο όρος Πήλιο

1. Χάρτης περιοχής Πηλίου, όπου φαίνεται η διαδρομή και η περιοχή δειματοληψίας
  2. Εικόνα της περιοχής δειματοληψίας από το Google Earth
  3. Φωτογραφία του χειμάρρου Κοντόρεμα Πηλίου
- (πηγή: Σταμόπουλος, 2007)

Τα δείγματα διαχωρίστηκαν ανάλογα με τη τάξη τους και τοποθετήθηκαν ξεχωριστά σε δοχεία για τη μεταφορά τους στο εργαστήριο όπου και έγινε η αναγνώρισή τους.

Οι παράμετροι που μετρήθηκαν στις δειματοληψίες, με τη βοήθεια οξυγονόμετρου Oxi 330/SET της WTV και αγωγιμόμετρο-pHμετρου Consort C531, ήταν η θερμοκρασία του νερού, το διαλυμένο οξυγόνο, το pH και η αγωγιμότητα (Πίνακας 5).

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 5 η συγκέντρωση του οξυγόνου μειώνεται σε σχέση με τη θερμοκρασία του νερού. Μια πιθανή εξήγηση είναι ότι κατά το πρώτο

διάστημα δειγματοληψιών (20/3-3/5/2007) και λόγω πολλών βροχοπτώσεων, η ροή του νερού στο χείμαρρο ήταν μεγάλη και έτσι η συγκέντρωση του οξυγόνου εμφανίστηκε αυξημένη. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ο χείμαρρος σχεδόν στραγγίζει, οπότε η ροή του νερού μειώθηκε στο ελάχιστο και η συγκέντρωση του οξυγόνου εμφανίστηκε μειωμένη.

**Πίνακας 5.** Παράμετροι που μετρήθηκαν στις δειγματοληψίες

Δειγματοληψίες Παράμετροι	A (20/3/2007)	B (19/4/2007)	Γ (3/5/2007)	Δ (13/6/2007)	E (19/10/2007)
Θερμοκρασία νερού	7,3°C	9,6°C	10,1°C	12°C	10,2°C
Διαλυμένο οξυγόνο	10,7 mg/l	12 mg/l	7,22 mg/l	6,71 mg/l	5,6 mg/l
pH	7,12	7,2	7,45	7,11	6,9
Αγωγιμότητα	27,4 μS	30 μS	36 μS	124 μS	57 μS

Συλλέχθηκαν και στη συνέχεια αναγνωρίστηκαν στο εργαστήριο Ζωολογίας και Υδροβίας Εντομολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, οι εξής ταξινομικές ομάδες (Μπάλκα, 2008):

1. ένα είδος της τάξης Ephemeroptera,
2. δυο οικογένειες της τάξης Hemiptera (Gerridae, Notonectidae),
3. το ένα είδος *Halesus* Stephens (Trichoptera: Limnephilidae),
4. το ένα είδος *Agabus* Leach (Coleoptera: Dytiscidae)
5. δυο οικογένειες της τάξης Diptera (Simuliidae και Tipulidae)
6. μια οικογένεια της τάξης Plecoptera (Leuctridae).

Από τη δειγματοληψία της 3/5/2007 συλλέχθηκαν προνύμφες *Halesus* Stephens και φύλλα οξυάς *Fagus* sp. (Εικόνα 44) (Rushford, 2006), που ήταν και το κυρίαρχο τροφικό υπόστρωμα του χειμάρρου Κοντόρεμα Πηλίου.

Τα φύλλα οξυάς συλλέχθηκαν από το νερό και αφέθηκαν να στεγνώσουν για δυο ημέρες σε κλίβανο, προτού χρησιμοποιηθούν ως τροφή για τα Τριχόπτερα. Μόνο ολόκληρα και “ανέπαφα” φύλλα χρησιμοποιήθηκαν για τα πειράματα. Τα φύλλα ζυγίστηκαν σε ζυγαριά OHAUS ακρίβειας 0,001gr και μετρήθηκε το μήκος τους (δεδομένο που χρειάζεται το πρόγραμμα Adobe Photoshop SC3 EXTEND για το καλιμπράρισμα Logical Units: Pixels). Τα φύλλα σκαναρίστηκαν καθένα ξεχωριστά σε scanner CANON MP160, και οι σκαναρισμένες εικόνες επεξεργάστηκαν με το πρόγραμμα Adobe Photoshop SC3 EXTEND, με τη βοήθεια του οποίου βρέθηκε η



**Εικόνα 44.** Φύλλα από δέντρο οξυάς *Fagus* Sp.(πηγή: Rushford, 2006)

συνολική επιφάνεια των ολόκληρων σκαναρισμένων φύλλων, για κάθε ένα ξεχωριστά. Τα Τριχόπτερα τοποθετήθηκαν σε ενυδρεία στο εργαστήριο Ζωολογίας και Υδροβίας Εντομολογίας, ώστε να εγκλιματιστούν σε συνθήκες εργαστηρίου (Εικόνα 45).





**Εικόνα 45.** Ενυδρείο, όπου έγινε ο εγκλιματισμός των Τριχόπτερον  
(Φωτ: Δ.Κ.Σταμόπουλος)

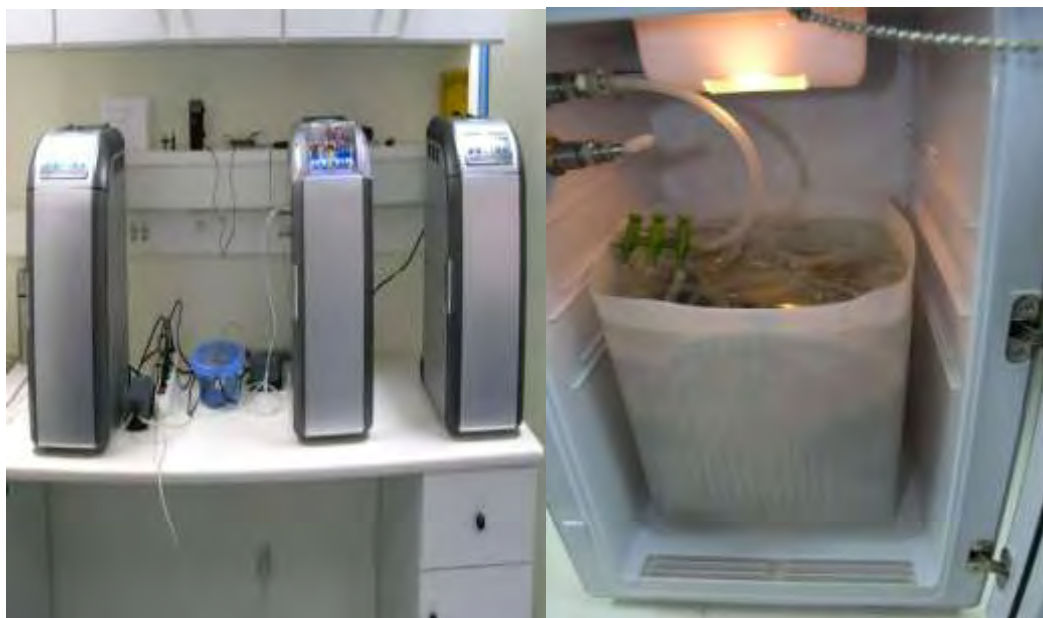
Στα πειραματικά δοχεία που χρησιμοποιήθηκαν (Εικόνα 46) τοποθετήθηκε κίτρινο αδρανές υλικό, ως υπόστρωμα για την καλύτερη μετακίνηση και αποφυγή ολίσθησης των προνυμφών, μια προνύμφη *Halesus Stephens* καθώς και ένα φύλλο οξυάς στο καθένα ξεχωριστά.



**Εικόνα 46.** Δοχείο στο οποίο τοποθετήθηκαν τα Τριχόπτερα (Φωτ: Δ.Κ.Σταμόπουλος)

Στα δοχεία είχαν διανοιχτεί αρκετές τρύπες, ώστε να υπάρχει καλύτερη ροή του νερού και οξυγόνωση του. Τα δοχεία χωρίστηκαν σε 3 ομάδες των 20, η κάθε μια από τις οποίες τοποθετήθηκε σε πλαστικό δοχείο 8lt που ήταν γεμάτο με νερό από το

χείμαρρο δειγματοληψίας. Κάθε ομάδα τοποθετήθηκε σε κλιβάνους Aquali EC-0318 (Εικόνα 47), στους οποίους η θερμοκρασία ήταν ρυθμισμένη στους 11°C, 16°C και 26°C, αντίστοιχα.



**Εικόνα 47.** Οι κλιβάνοι στους οποίους τοποθετήθηκαν τα Τριχόπτερα (αριστερά) και το εσωτερικό του κλιβάνου (δεξιά), όπου διακρίνεται η μέθοδος οξυγόνωσης (Φωτ: Δ.Κ.Σταμόπουλος)

Το πείραμα διήρκησε 48 ώρες. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων μετρήθηκαν με τη βοήθεια του οξυγονόμετρου Oxi 330/SET της WTV και pHμετρου-αγωγιμόμετρου Consort C5321 το διαλυμένο οξυγόνο, το pH και η αγωγιμότητα. Η φωτοπερίοδος στους κλιβάνους ήταν 16h/8h (L/D).

Μετά το πέρας των πειραμάτων, τα φύλλα της οξυάς μήκαν σε κλίβανο για 2 ημέρες, ώστε να στεγνώσουν. Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία για τα φαγωμένα φύλλα, όπως και με τα ολόκληρα. Τα φύλλα ζυγίστηκαν στην ζυγαριά και στην συνέχεια σκαναρίστηκαν καθένα ξεχωριστά σε scanner CANON MP160. Οι σκαναρισμένες εικόνες επεξεργάστηκαν με πρόγραμμα Adobe Photoshop SC3 EXTEND, με το οποίο μετρήθηκε η φαγωμένη επιφάνεια για κάθε φύλλο ξεχωριστά.

Στην παρακάτω Εικόνα 48 φαίνεται η διαφορά της επιφάνειας δυο ολόκληρων φύλλων και των ίδιων φύλλων τα οποία αποικοδομήθηκαν από Τριχόπτερα της ομάδας Α΄ και Β΄ αντίστοιχα.



**Εικόνα 48.** Στο φύλλο οξυάς  $A_{13}$  (αριστερά) το πράσινο χρώμα αντιπροσωπεύει την ολόκληρη επιφάνεια του φύλλου, ενώ το κόκκινο χρώμα τη φαγωμένη επιφάνεια και στο φύλλο οξυάς  $B_2$  (δεξιά) το κίτρινο χρώμα αντιπροσωπεύει την ολόκληρη επιφάνεια, ενώ το κόκκινο τη φαγωμένη.

Ενδεικτικά για τα φύλλα  $A_{13}$  και  $B_2$  έχουμε τα εξής αποτελέσματα

(Πίνακας 6):

**Πίνακας 6.** Ενδεικτικά αποτελέσματα για την αποικοδόμηση των φύλλων  $A_{13}$  και  $B_2$  με τη χρήση του προγράμματος Adobe Photoshop SC3 EXTEND.

$A_{13}$	$B_2$
Διαφορά βάρους: 1,666 mg	Διαφορά βάρους: 24,055 mg
Διαφορά επιφάνειας: 0,259 cm <sup>2</sup>	Διαφορά επιφάνειας: 3,741 cm <sup>2</sup>
Ποσοστό: 1,1 %	Ποσοστό: 18,4 %

Τα αποτελέσματα επεξεργάστηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος Microsoft Excel 2003, ενώ η στατιστική ανάλυση έγινε με το πρόγραμμα StatView 5.0. Υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι, η τυπική απόκλιση, το τυπικό σφάλμα, ενώ για τα δεδομένα όσον αφορά τη σχέση θερμοκρασίας με την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης χρησιμοποιήθηκε ANOVA. Σε όλες τις περιπτώσεις οι μέσοι όροι συγκρίθηκαν με τη βοήθεια του κριτηρίου PLSD του Fisher.

#### 4.1.4 Αποτελέσματα-Συζήτηση

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων δε παρατηρήθηκε θνησιμότητα σε καμία μεταχείριση και στις τρεις θερμοκρασίες.

Στον παρακάτω πίνακα 7 φαίνεται η μέση κατανάλωση της οργανικής ύλης που κατανάλωσαν οι προνύμφες *Halesus Stephens* σε διαφορετικές θερμοκρασίες.

**Πίνακας 7.** Βάρος φαγομένων φύλλων οξυάς ανά προνύμφη σε διάφορες θερμοκρασίες.

Θερμοκρασία	Μέση κατανάλωση βιομάζας (mg/προνύμφη)
11 °C	6.5 ± 1.3 a
16 °C	8.8 ± 1.7 a
26 °C	3.6 ± 0.6 b

Παρατήρηση: Οι τιμές στη στήλη που δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα είναι στατιστικά σημαντικές ( $p < 0.05$ ) σύμφωνα με το Fisher's PLSD test.

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 7, η υψηλότερη καταναλώση οργανικής ύλης φαίνεται να επιτυγχάνεται στους 16°C χωρίς όμως να διαφέρει στατιστικά με την κατανάλωση στους 11°C. Αντίθετα, οι υψηλές θερμοκρασίες (26°C) δεν φαίνεται να ευνοούν την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης αφού οι παρατηρούμενες τιμές είναι σχετικά χαμηλές και διαφέρουν στατιστικά από τις υπόλοιπες. Μια πιθανή εξήγηση είναι ότι στις υψηλές θερμοκρασίες η δραστηριότητα των συγκεκριμένων εντόμων που είναι εγκληματισμένα σε χαμηλές θερμοκρασίες νερών, μειώνεται σημαντικά.

Σε παρόμοια πειράματα, οι Jacobsen and Jensen (1994) εξέτασαν την ποσότητα της αποικοδόμησης οργανικής ύλης για προνύμφες 5<sup>ου</sup> σταδίου του *Anabolia nervosa* (Trichoptera: Limnephilidae) στους 15 °C σε τρία διαφορετικά είδη φύλλων. Τα αποτελέσματά τους είναι τα ακόλουθα:

- 2,73 mg φύλλων *Potamogeton* sp./ ημέρα / προνύμφη
- 2,33 mg φύλλων *Alnus* sp./ ημέρα / προνύμφη (Σκλήθρο) και
- 1,82 mg φύλλων *Fagus* sp./ ημέρα / προνύμφη (Οξυά).

O Otto (1974) που εξέτασε την ποσότητα της αποικοδόμησης οργανικής ύλης για προνύμφες 5<sup>ου</sup> σταδίου του *Potamophylax cingulatus* (Trichoptera: Limnephilidae) κατέληξε ότι οι προνύμφες καταναλώνουν το

- 26 % της ποσότητας των φύλλων *Alnus glutinosa* (Σκλήθρο) στους 15 °C και
- 14% της ποσότητας των φύλλων *Fagus sylvatica* (Οξυά) στους 10 °C.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι η θερμοκρασία παίζει καθοριστικό ρόλο στην αποικοδόμηση της οργανικής ύλης, χωρίς όμως να διαπιστώνεται – τουλάχιστον για τις περιορισμένες συνθήκες του πειράματος- ότι υπάρχει υψηλός βαθμός συσχέτισης μεταξύ των δυο αυτών παραγόντων. Όπως αναφέρει και ο Ward (1992), η αποικοδόμηση της οργανικής ύλης, στα κρύα ποτάμια, είναι μεγαλύτερη σε εκείνη τη θερμοκρασία, όπου ο οργανισμός έχει προσαρμοστεί.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματός μας διαφαίνεται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας δεν συνεπάγεται και αύξηση της ποσότητας της αποικοδόμησης της οργανικής ύλης. Έτσι οι προνύμφες *Halesus* Stephens που χρησιμοποιήθηκαν, προτιμούν θερμοκρασίες 11 °C - 16 °C, διότι είναι προσαρμοσμένες στο φυσικό τους περιβάλλον να τρέφονται σε αυτό το εύρος των θερμοκρασιών και όχι σε μεγαλύτερο, όπως είναι η θερμοκρασία 26 °C.

## 4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΑΛΑΤΩΝ ΣΕ ΠΡΟΝΥΜΦΕΣ *Halesus* Stephens (Trichoptera: Limnephilidae) ΚΑΙ ΕΝΗΛΙΚΑ *Agabus* Leach (Coleoptera: Dytiscidae)

### 4.2.1 Σκοπός του πειράματος

Ο σκοπός αυτού του πειράματος, ήταν να καθοριστεί η επίδραση της βραχυπρόθεσμης έκθεσης (48h) σε νιτρικές ρίζες NO<sub>3</sub><sup>-</sup> δυο υδρόβιων εντόμων, της προνύμφης *Halesus* Stephens (Trichoptera: Limnephilidae) και του ενήλικου *Agabus* Leach (Coleoptera: Dytiscidae) δεδομένου ότι τα νιτρικά ιόντα αποτελούν ένα συχνό για τους υδρόβιους οργανισμούς στρεσογόνο παράγοντα που απαντάται αρκετά συχνά στα υδάτινα οικοσυστήματα.

### 4.2.2 Εισαγωγή

Οι ενώσεις του αζώτου, όπως η αμμωνία, το νιτρώδες άλας και το νιτρικό άλας, μπορούν να εισαχθούν σε οικοσυστήματα γλυκών νερών από αρκετές ανθρώπινες δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένου των φυτοφαρμάκων, των βιομηχανικών καθώς και των οικιακών αποβλήτων. Σε κανονικές συνθήκες, η αμμωνία οξειδώνεται σε νιτρικό άλας, σε δύο στάδια, από δύο διαφορετικές ομάδες αερόβιων χημειοαυτότροφων βακτηρίων (Sharma and Ahlert, 1977), ενώ παράγεται ως ενδιάμεσο προϊόν νιτρώδες άλας (Knepp and Arkin, 1973).

Τα νιτρικά άλατα είναι λιγότερο τοξικά στους υδρόβιους οργανισμούς από ότι είναι η αμμωνία και τα νιτρώδη άλατα (Camargo et al., 2005). Οι ενώσεις νιτρικών αλάτων είναι εύκολα διαλυτές στο νερό, απελευθερώνοντας νιτρικά ιόντα (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Στα ψάρια, η τοξικότητα των ιόντων αυτών εξαρτάται πολύ από την

κατιονική σύνθεση του διαλύματος. Π.χ. το διάλυμα νιτρικού νατρίου είναι λιγότερο τοξικό από το διάλυμα νιτρικού καλίου (Dowden and Bennett, 1965).

Η τοξικότητα των νιτρικών αλάτων, στα υδρόβια ασπόνδυλα, αυξάνεται με την αύξηση των συγκεντρώσεων νιτρικών αλάτων και του χρόνου έκθεσης σε αυτά. Αντίθετα, η τοξικότητα των νιτρικών αλάτων μειώνεται όταν αυξάνεται το μέγεθος του σώματος των ασπόνδυλων και η αλατότητα του νερού (Camargo and Ward 1992, 1995, Tsai and Chen 2002). Γενικά, τα ασπόνδυλα του γλυκού νερού εμφανίζονται πιο ευαίσθητα, στη τοξικότητα νιτρικών αλάτων, από τα θαλάσσια ασπόνδυλα (Muir et al., 1991).

Στον παρακάτω Πίνακα 8, φαίνεται ενδεικτικά η επίδραση του νιτρικού νατρίου σε διάφορα είδη ασπόνδυλων για διαφορετικούς χρόνους έκθεσης.

**Πίνακας 8.** Τιμές του τοξικολογικού παράγοντα (LC50) σε διαφορετικούς χρόνους έκθεσης και για διάφορα είδη ασπόνδυλων του γλυκού νερού (πηγή: Camargo et al., 2005)

Είδος	Στάδιο ανάπτυξης	Υδάτινο μέσο	Τοξικολογικός παράγοντας (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /l)
<i>Cheumatopsyche pettiti</i>	1 <sup>ο</sup> σταδίου προνύμφες	Γλυκό νερό	<b>191</b> (72 h LC50)
<i>Cheumatopsyche pettiti</i>	5 <sup>ο</sup> σταδίου προνύμφες	Γλυκό νερό	<b>210</b> (72 h LC50)
<i>Hydropsyche occidentalis</i>	1 <sup>ο</sup> σταδίου προνύμφες	Γλυκό νερό	<b>148.5</b> (72 h LC50)
<i>Hydropsyche occidentalis</i>	5 <sup>ο</sup> σταδίου προνύμφες	Γλυκό νερό	<b>183.5</b> (72 h LC50)
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	Νεογνά (<24 h)	Γλυκό νερό	<b>374</b> (48 h LC50)
<i>Daphnia magna</i>	Νεογνά (<48 h)	Γλυκό νερό	<b>462</b> (48 h LC50)

### 4.2.3 Υλικά και Μέθοδοι

Από τη δειγματοληψία της 3/5/2007 συλλέχθηκαν προνύμφες *Halesus* Stephens (Trichoptera: Limnephilidae) και ενήλικα άτομα *Agabus* Leach (Coleoptera: Dytiscidae) από τον χείμαρρο Κοντόρεμα Πηλίου όπου και τα δυο είδη είναι σε αφθονία. Τα έντομα τοποθετήθηκαν σε ενυδρεία στο εργαστήριο Ζωολογίας και Υδροβίας Εντομολογίας.

Ως πηγή νιτρικών ριζών χρησιμοποιήθηκε νιτρικό ασβέστιο ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\text{H}_2\text{O}$ ) το οποίο διαλύθηκε σε  $\text{H}_2\text{O}$  ώστε να επιτευχθούν συγκεντρώσεις 500 mg/ lt, 250 mg/ lt, 125 mg/ lt και 62.5 mg/ lt σε νιτρικό ασβέστιο.

Για κάθε συγκέντρωση που δοκιμάστηκε έγιναν 8 επαναλήψεις με 10 ml διαλύματος για τα Trichoptera και 15 επαναλήψεις με 5 ml διάλυμα για τα Coleoptera. Ως μάρτυρας χρησιμοποιήθηκε απεσταγμένο νερό. Ως πειραματικά δοχεία χρησιμοποιήθηκαν δοκιμαστικοί σωλήνες των 10 ml.

Σε κάθε σωλήνα τοποθετήθηκε μια προνύμφη Trichoptera και ένα ενήλικο Coleoptera αντίστοιχα. Οι συστοιχίες των δοκιμαστικών σωλήνων τοποθετήθηκαν σε ειδικά στατό και κατόπιν σε κλιβάνους επώασης Aquali EC-0318. Η θερμοκρασία των κλιβάνων ήταν 11 °C, ενώ η φωτοπερίοδος 16h/8h (L/D).

Το πείραμα διήρκησε 48 ώρες. Λόγω της ανθεκτικότητας των ενήλικων Coleoptera στις νιτρικές ρίζες, το πείραμα για αυτά παρατάθηκε στις 90 ώρες. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων μετρήθηκαν το διαλυμένο οξυγόνο και το pH με οξυγονόμετρο Oxi 330/SET της WTV και pHμετρο Consort C531. Οι μέσες τιμές κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, ήταν για το pH 7.5 και για το διαλυμένο οξυγόνο 6,2 mg/lt.

Οι αντιστοιχίες των συγκεντρώσεων νιτρικών ριζών που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τελικά οι εξής (Βλέπε Παράρτημα 7.4):



- 62.5 mg/lit νιτρικού ασβεστίου αντιστοιχούν σε 31 mg/lit NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.
- 125 mg/lit νιτρικού ασβεστίου αντιστοιχούν σε 62 mg/lit NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.
- 250 mg/lit νιτρικού ασβεστίου αντιστοιχούν σε 124 mg/lit NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.
- 500 mg/lit νιτρικού ασβεστίου αντιστοιχούν σε 248 mg/lit NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Με βάση τις θνησιμότητες που καταγράφηκαν σε 24h (για τα Trichoptera) και 72h (για τα Coleoptera) υπολογίσθηκαν με τη μέθοδο Probit analysis οι αντίστοιχες LC<sub>50</sub>.

#### 4.2.4 Αποτελέσματα-Συζήτηση

Από τον παρακάτω Πίνακα 9 προκύπτει ότι υπήρξε διαφορετική ανθεκτικότητα στις νιτρικές ρίζες (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) μεταξύ των Κολεοπτέρων και των Τριχοπτέρων. Τα ενήλικα Κολεόπτερα φαίνεται ότι υπήρξαν πιο ανθεκτικά στα νιτρικά ιόντα (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), σε σχέση με τις προνύμφες των Τριχοπτέρων.

Μια πιθανή εξήγηση είναι ότι τα Τριχοπτερα λόγω της δερματικής τους αναπνοής προσλαμβάνουν οξυγόνο και την τοξική ουσία απευθείας από το νερό. Αντίθετα, τα Κολεόπτερα αναπνέουν με τη βοήθεια της φυσαλίδας αέρα, οπότε δεν δέχονται άμεσα τη τοξικότητα των νιτρικών ριζών. Επίσης, το σώμα τους αποτελείται από κηρώδες υλικό που δεν επιτρέπει την είσοδο των νιτρικών αλάτων σε αυτό. Έτσι συμπεραίνουμε ότι η θνησιμότητα των Κολεοπτέρων οφείλεται και σε άλλους παράγοντες.

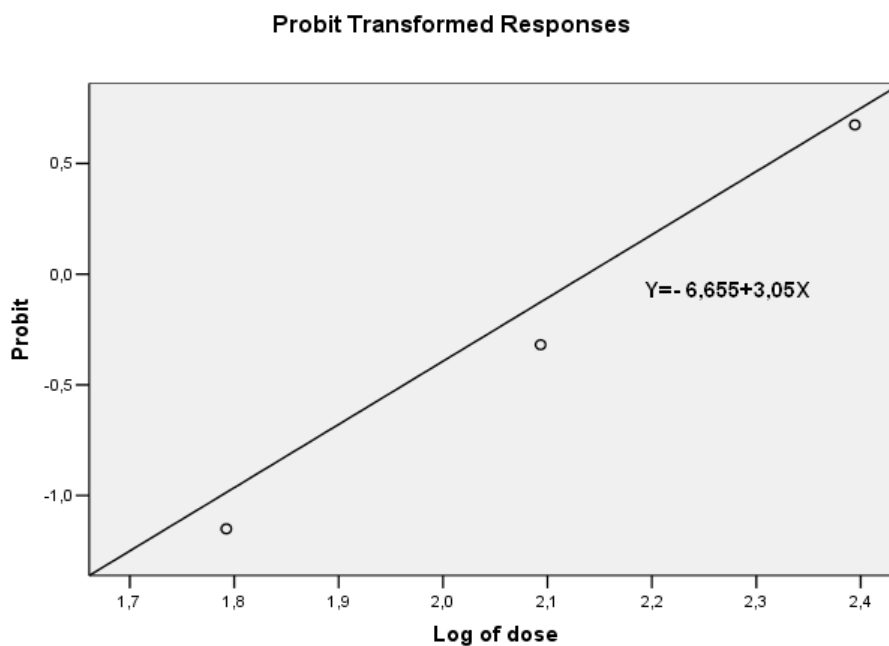
Οι τιμές LC<sub>50</sub> για τα δυο είδη φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 9:

**Πίνακας 9.** Τοξικότητα των νιτρικών ριζών ( $\text{NO}_3^-$ ) σε προνύμφες *Halesus Stephens* για χρόνο έκθεσης 24h και σε ενήλικα *Agabus Leach* για χρόνο έκθεσης 72h.

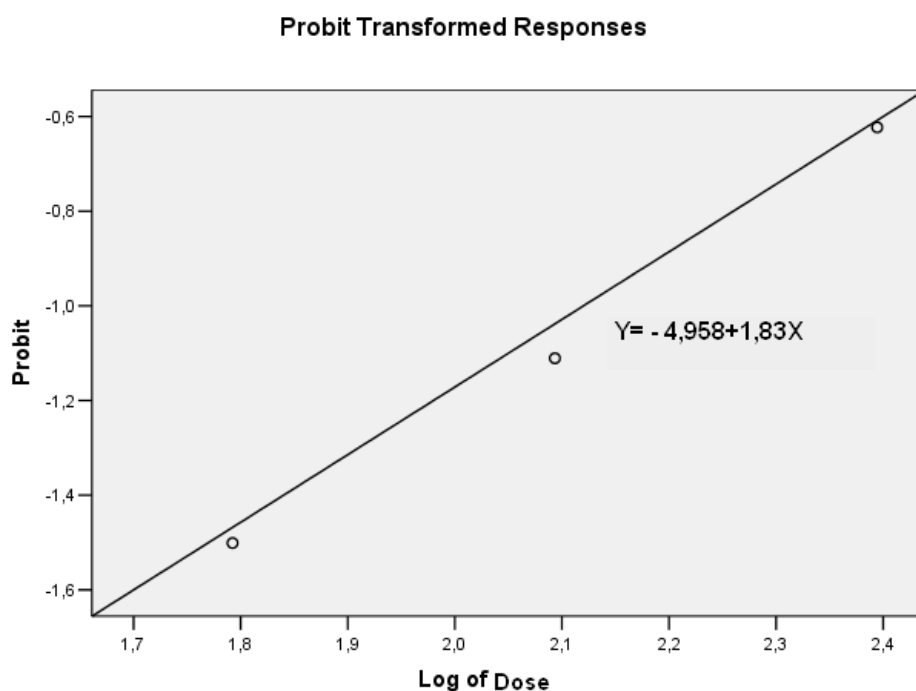
	Intercept ( $\pm$ S.E.)	Slope ( $\pm$ S.E.)	LC <sub>50</sub> <sup>a</sup> (95% f.l.)	df	x <sup>2</sup>
<i>Halesus Stephens</i> (24h)	-6,655 ( $\pm$ 2,64)	3,05( $\pm$ 1,23)	152,13 (90-401,2)	1	0,019
<i>Agabus Leach</i> (72h)	-4,958 ( $\pm$ 1,8)	1,83 ( $\pm$ 0,83)	518,1	2	0,354

<sup>a</sup> οι τιμές LC<sub>50</sub> είναι εκφρασμένες σε mg/l

Οι γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν την LC<sub>50</sub> και για τα δυο είδη φαίνονται παρακάτω:



**Γράφημα 1.** Η γραφική παράσταση της LC<sub>50</sub>, στην οποία φαίνεται η εξίσωση της ευθείας (Τριχόπτερα 24h).



**Γράφημα 2.** Η γραφική παράσταση της  $LC_{50}$ , στην οποία φαίνεται η εξίσωση της ευθείας (Κολεόπτερα 72h).

Σε παρόμοια πειράματα οι Camargo et al. (2005) χρησιμοποίησαν προνύμφες 5<sup>ου</sup> σταδίου των *Cheumatopsyche pettiti* και *Hydropsyche occidentalis* (Trichoptera: Hydropsychidae) και πέντε διαφορετικές συγκεντρώσεις νιτρικού νατρίου ( $NaNO_3$ ) και κατέληξαν στις τιμές που φαίνονται στον πίνακα 8.

Τα Τριχόπτερα του πειράματός μας φαίνονται να είναι πιο ευαίσθητα από τα Τριχόπτερα που χρησιμοποίησαν οι Camargo et al. (2005). Δεν μπορούμε όμως να βγάλουμε σαφή συμπεράσματα γιατί οι χρόνοι έκθεσης ήταν διαφορετικοί. Επίσης, τα Τριχόπτερα φαίνονται να είναι πιο ευαίσθητα από τα νεογνά *Ceriodaphnia dubia* και *Daphnia magna* που χρησιμοποίησαν οι Camargo et al. (2005), γιατί για τον ίδιο χρόνο έκθεσης (48h) έχουν μικρότερη  $LC_{50}$  (Βλέπε Παράρτημα 7.6).

Τα Κολεόπτερα φαίνονται να είναι πιο ανθεκτικά από τα Τριχόπτερα που χρησιμοποίησαν οι Camargo et al. (2005) και φαίνονται στον πίνακα 8, γιατί για τον ίδιο χρόνο έκθεσης (72h) έχουν μεγαλύτερη  $LC_{50}$ . Επίσης, τα Κολεόπτερα φαίνονται

να είναι πιο ανθεκτικά από τα νεογνά *Ceriodaphnia dubia* και *Daphnia magna* που χρησιμοποίησαν οι Camargo *et al.* (2005), γιατί για τον ίδιο χρόνο έκθεσης (48h) έχουν μεγαλύτερη LC<sub>50</sub> (Βλέπε Παράρτημα 7.5).

### 4.3 Γενικά συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας θα λέγαμε ότι τα υδρόβια έντομα έχουν υιοθετήσει μια τεράστια ποικιλία προσαρμογών, τόσο σε επίπεδο ανατομικών χαρακτηριστικών, όσο και σε επίπεδο φυσιολογίας και συμπεριφοράς. Αυτές οι προσαρμογές, τους επιτρέπουν να απαντώνται σε όλα, σχεδόν, τα υδάτινα οικοσυστήματα, συμπεριλαμβανομένου και της θάλασσας (π.χ. το Ημίπτερο *Halobates sp.*). Έτσι τα υδρόβια έντομα εκτός από τον τρόπο αναπνοής τους κάτω από το νερό, έχουν υιοθετήσει και άλλες προσαρμογές όπως την αντοχή τους σε διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, την αντιμετώπιση αυξημένης αλατότητας, αλκαλικότητας και οξύτητας των νερών, καθώς και τη διαβίωσή τους σε τρεχούμενα νερά όπου θα πρέπει να υπερνικήσουν τα έντονα ρεύματα που αναπτύσσονται.

Τα υδρόβια έντομα είναι χρήσιμα ως αποικοδομητές της οργανικής ύλης, την οποία διασπούν και την κάνουν διαθέσιμη για άλλους υδρόβιους οργανισμούς της τροφικής αλυσίδας. Επίσης είναι σημαντική η συμβολή τους ως βιοδεικτών της ποιότητας των νερών, ενώ υπάρχουν είδη που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες ρύπανσης (π.χ. τα Diptera: Chironomidae αποτελούν δείκτες βαρέων μετάλλων στα υδάτινα οικοσυστήματα). Η υγειονομική σημασία των υδρόβιων εντόμων είναι εξίσου σημαντική, δεδομένου ότι τα ενήλικα άτομα πολλών οικογενειών Διπτέρων (π.χ. Culicidae, Simuliidae, Tabanidae), μυζούν αίμα και προκαλούν όχληση στον άνθρωπο και σε παραγωγικά ή κατοικίδια ζώα, χωρίς να

παραβλεφθεί το γεγονός ότι μπορεί να είναι και φορείς ασθενειών, όπως η ελονοσία, ο δάγκειος πυρετός, η ελεφαντίαση, η ασθένεια του ύπνου και πολλές εγκεφαλίτιδες.

Μια ενδεικτική προσέγγιση της οικολογικής τους σημασίας αφενός και των παραγόντων που μπορούν να επιδράσουν στην βιοοικολογία τους αφετέρου, επιχειρήθηκε στο πειραματικό μέρος, όπου βρέθηκε ότι η θερμοκρασία παίζει σημαντικότατο ρόλο στην αποικοδόμηση της οργανικής ύλης, χωρίς όμως να διαπιστώνεται – τουλάχιστον για τις περιορισμένες συνθήκες του πειράματος- ότι υπάρχει υψηλός βαθμός συσχέτισης μεταξύ των δυο αυτών παραγόντων. Τα υδρόβια έντομα και συγκεκριμένα τα Τριχόπτερα φαίνεται να αποικοδομούν το μεγαλύτερο ποσοστό της οργανικής ύλης σε εκείνη τη θερμοκρασία στην οποία έχουν προσαρμοσθεί στο φυσικό τους περιβάλλον.

Όσον αφορά την επίδραση των νιτρικών αλάτων- συχνό για τους υδρόβιους οργανισμούς στρεσογόνο παράγοντα που απαντάται αρκετά συχνά στα υδάτινα οικοσυστήματα- βρέθηκε ότι υπάρχουν υδρόβια έντομα τα οποία είναι αρκετά ευαίσθητα σε αυτά (π.χ. Trichoptera: Limnephilidae), ενώ υπάρχουν και είδη τα οποία είναι πιο ανεκτικά σε αυτά (π.χ. Coleoptera: Dytiscidae). Οι παράγοντες που φαίνεται να επιδρούν στην ανθεκτικότητα στα νιτρικά άλατα είναι το είδος και το στάδιο του βιολογικού κύκλου στο οποίο βρίσκεται το υδρόβιο έντομο, χωρίς να αποκλείονται παράγοντες που δεν εξετάστηκαν στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, όπως η θερμοκρασία του νερού, η φωτοπερίοδος, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου και το μέγεθος του υδρόβιου εντόμου.

## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### 5.1 Ξένη βιβλιογραφία

1. **Allen, J.D., 1995.** Stream ecology. Chapman and Hall (pbs), New York.388pp.
2. **Andersen, N. M., and Cheng, L., 2005.** The marine insect Halobates (Heteroptera: Gerridae): Biology, adaptations, distribution and phylogeny. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 42, 119-180.
3. **Anderson, N.H., and Cummins K.W., 1979.** The influence of diet on the life histories of aquatic insects. *Journal of Fishery Research in Canada* 36, 335-342.
4. **Blum, M. S., 1985.** Fundamentals of Insect Physiology. John Wiley & Sons, Inc. (pbs), New York, 598pp.
5. **Bogut, I., Vidakovic, J., Palijan, G. and Cerba, D., 2007.** Benthic macroinvertebrates associated with four species of macrophytes. *Biologia Bratislava*, 62/5, 600-606.
6. **Bradshaw, W.E., 1980.** Thermoperiodism and the thermal environment of the pitcher-plant mosquito, *Wyeomyia smithii*. *Oecologia* 46, 13-17.
7. **Buzby K.M. and Perry S.A., 2000.** Modeling the potential effects of climate change on leaf pack processing in central Appalachian streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57, 1773–1783.
8. **Camargo, J.A., Ward, J.V., 1992.** Short-term toxicity of sodium nitrate (NaNO<sub>3</sub>) to non-target freshwater invertebrates. *Chemosphere* 24, 23–28.

9. **Camargo, J.A., Ward, J.V., 1995.** Nitrate (NO<sub>3</sub>-N) toxicity to aquatic life: a proposal of safe concentrations for twospecies of Nearctic freshwater invertebrates. *Chemosphere* 31, 3211–3216.
10. **Camargo, J. A., Alonso, A., Salamanca, A., 2005.** Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere* 58, 1255–1267.
11. **Canhoto C. and Graca M.A.S., 1995.** Food value of introduced eucalypt leaves for a Mediterranean stream detritivore: *Tipula lateralis*. *Freshwater Biology*, 34,209–214.
12. **Chapman, R. F., 1982.** The Insects, structure and function (3<sup>rd</sup> Edition). Harvard University Press (pbs), Massachusetts. 919pp.
13. **Cheng, L., 1985.** Biology of *Halobates* (Heteroptera: Gerridae). *Annual Review of Entomology* 30, 111-135.
14. **Clubb, R.W., Gaufin, A.R., and Lords, J.L., 1975.** Acute cadmium toxicity studies upon nine species of aquatic insects. *Environmental Research*, 9, 332-341.
15. **Compin, A. and Cereghino, R., 2003.** Sensitivity of aquatic insect species richness to disturbance in the Adour-Garonne stream system (France). *Ecological Indicators* volume 3. (2), June 2003, 135-142.
16. **Cuffney T.F., Wallace B. and Lugthart G.J., 1990.** Experimental evidence quantifying the role of benthic invertebrates in organic matter dynamics of headwaterstreams. *Freshwater Biology*, 23, 281–299.
17. **Cummins, K. W., 1973.** Trophic Relations of Aquatic Insects. *Annual Review of Entomology* 18, 183-206.

18. **Cummins K.W., Petersen R.C., Howard F.O., Wuycheck J.C. & Holt V.I., 1973.** The utilization of leaf litter by stream detritivores. *Ecology*, 54, 336–345.
19. **De Pauw, N. & Vanhooren, G., 1983.** Method for biological quality assessment of watercourses in Belgium. *Hydrobiologia* 100, 153-168.
20. **Dowden, B. F. and Bennett, H. J., 1965.** Toxicity of selected chemicals to certain animals. *Journal of Water Pollutio Control* 37, 1308-1317.
21. **Elzinga, R.J., 2004.** Fundamentals of Entomology (6<sup>th</sup>Edition). Pearson Education, Inc. (pbs), New Jersey.512pp.
22. **Feio M.J. & Grac,a M.A.S., 2000.** Food consumption by the larvae of *Sericostoma vittatum* (Trichoptera), an endemic species from the Iberian Peninsula. *Hydrobiologia*, 439, 7–11.
23. **Friberg N. & Jacobsen D., 1999.** Variation in growth of the detritivore-shredder *Sericostoma personatum* (Trichoptera). *Freshwater Biology*, 42, 625–635.
24. **Gayraud, S., Statzner, B., Bady, P., Haybachp, A., Scholl, F., Usseglio-Polatera, P., and Bacchi, M., 2003.** Invertebrate traits for the biomonitoring of large European rivers: an initial assessment of alternative metrics. *Freshwater Biology* 48, 2045-2064.
25. **Giesy, J.P., Rosiu, C.J., Graney, R.L., and Henry, M.G., 1990.** Benthic invertebrate bioassays with toxic sediment and pore water. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 9, 233-238.
26. **Gillott, C., 1982.** Entomology. Plenum Press (pbs), New York. 729pp.



27. **Graca, M.A.S., Ferreira R.C.F. and Coimbra, C.N., 2001.**Litter processing along a stream gradient: the role of invertebrates and decomposers. *Journal of the North American Benthological Society*, 20, 408–420.
28. **Gullan, P. J., and Cranston, P.S., 2005.**The Insects, an outline of Entomology (3<sup>rd</sup> Edition).Blackwell Publishing Ltd (pbs).
29. **Heliovaara, K. and Vaisanen, R., 1993.** Insects and Pollution. CRC Press, Inc. (pbs), Florida. 393pp.
30. **Hodkinson, I.D., and Jackson, J.K., 2005.** Terrestrial and aquatic invertebrates as bioindicators for Environmental Monitoring, with particular Reference to Mountain Ecosystems. *Environmental management* vol. 35(5), 649-666.
31. **Hopkins, P.S., Kratz, K.W., and Cooper, S.D., 1989.** Effects of an experimental acid pulse on invertebrates in a high attitude Sierra Nevada stream. *Hydrobiologia*, 171, 45-49.
32. **Huffaker, C.B., and Rabb, R.L., 1984.** Ecological Entomology. John Wiley & Sons, Inc. (pbs), New York. 844pp.
33. **Irons, J.G., Miller, L.K., and Oswood M.W., 1992.** Ecological adaptations of aquatic invertebrates to overwintering in interior Alaska (U.S.A.) subarctic streams. *Canadian Journal of Zoology* 71, 98-108.
34. **Iversen T.M., 1979.** Laboratory energetics of larvae of *Sericostoma personatum* (Trichoptera). *Holarctic Ecology*, 2, 1–5.
35. **Jacobsen, D. and Jensen, K.S., 1994.** Growth and energetics of a trichopteran larva feeding on fresh submerged and terrestrial plants. *Oecologia*, 97, 412-418.

36. **Jansson, A., 1987.** Micronectinae (Heteroptera, Corixidae) as indicators of water quality in Lake Vesijaervi, southern Finland, during the period of 1976-1986. *Lake Paeijaenne Symposium*, 119-128.
37. **Knepp, G. L. and Arkin, G. F., 1973.** Ammonia toxicity levels and nitrate tolerance of channel catfish. *Progressive Fish Culturist* 35, 221-224.
38. **Lehmkuhl, D.M., 1979.** How to know the aquatic insects. WCB/McGraw-Hill (pbs), Massachusetts. 168 pp.
39. **McCafferty, P. W., 1998.** Aquatic Entomology-The Fishermen's and Ecologists Illustrated. Guide to insects and their relatives. Jones & Barlett Publishers (pbs), Sudbury, Massachusetts, 448 pp.
40. **Merritt, R. W., Cummins, K.W., 1996.** An Introduction to the Aquatic Insects of North America (3<sup>rd</sup> Edition). Kendall-Hunt (pbs). 862pp.
41. **Muir, P.R., Sutton, D.C., and Owens, L., 1991.** Nitrate toxicity to *Penaeus monodon* protozoa. *Marine Biology* 108, 67-71.
42. **Nolen, J.A. and Pearson, R.G., 1993.** Factors affecting litter processing by *Anisocentropus kirranus* (Trichoptera: Calamoceratidae) from an Australian tropical rainforest stream. *Freshwater Biology*, 29, 469-479.
43. **Ortiz, J.D. and Puig, M.A., 2007.** Point source effects on density, biomass and diversity of benthic macroinvertebrates in a Mediterranean Stream. *River Research and Applications* 23, 155-170.
44. **Otto, C. 1974.** Growth and energetics in a larval population of *Potamophylax cingulatus* (Trichoptera) in a south Swedish stream. *Journal of Animal Ecology*, 43, 339-361.
45. **Papacek, M., 2001.** Small aquatic and ripicolous bugs (Heteroptera: Nepomorpha) as predators and prey: The question of economic importance. *European Journal of Entomology*. 98(1), 1-12.

46. **Romoser, W. S. and Stoffolano, J.G., 1988.** The science of Entomology (4<sup>th</sup> Edition). WCB/McGraw-Hill (pbs), Boston. 605pp.
47. **Rosenberg, D.M., Danks, H.V., Lehmkuhl, D. M., 1986.** Importance of Insects in Environmental Impact Assessment. *Environmental Management*. volume 10(6), 773-783.
48. **Rosenberg, D.M., Davies, I.J., Cobb, D.G., and Wiens, A.P., 1996.** Protocols for measuring biodiversity: Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters.
49. **Runck, C., Blinn, D. W. , 1994.** Role of *Belastoma bakeri* (Heteroptera) in the trophic ecology of a fishless desert spring. *Limnology and Oceanography*. 39(8), 1800-1812.
50. **Rushford, K., 2006.** Trees of the mountains. Harper Collins Publishers (pbs) England. 288pp.
51. **Schloesser, D.W., 1988.** Zonation of mayfly nymphs and caddisfly larvae in the St. Marys River. *Journal of Great Lakes Research*, 14, 227-234.
52. **Sharma, B. and Ahlert, R. C., 1977.** Nitrification and nitrogen removal. *Water Research* 11, 897-925.
53. **Smies, M., Evers, R.H.J., Peijneburg, F.H.M., and Koeman, J.H., 1980.** Environmental aspects of field trials with pyrethroids to eradicate tsetse fly in Nigeria. *Ecotoxicology Environmental Safety* 4, 114-119.
54. **Stockner, J.G., 1971.** Ecological energetics and natural history of *Hedriodiscus truquii* (Diptera) in two thermal spring communities. *Journal of Fishery Research in Canada* 28, 73-94.
55. **Suzuki, K.T., Sunaga, H., Aoki, Y., Hatakeyama, S., Sugaya, Y., Sumi, Y., and Suzuki, T., 1988.** Binding of cadmium and copper in the mayfly *Baetis*

- thermicus* larvae that inhabit a river polluted with heavy metals. *Comp. of Biochemistry and Physiology*, 91 C, 487-490.
56. **Tsai, S.J., Chen, J.C., 2002.** Acute toxicity of nitrate on *Penaeus monodon* Juvenils at different salinity levels. *Aquaculture* 213, 163-170.
57. **Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell J.R. and Cushing C.E., 1980.** The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 130–137.
58. **Wallace, J. B., Merritt, R. W., 1980.** Filter-Feeding ecology of aquatic insects. *Annual Review of Entomology* 25, 103-132.
59. **Wallace, J.B., Eggert, S.L., Meyer, J.L., and Webster, J.R., 1997.** Multiple trophic levels of a forest stream linked to terrestrial litter inputs. *Science*, 277, 102–104.
60. **Ward, J. V., 1992.** Aquatic Insect Ecology. 1. Biology and Habitat. John Wiley & Sons, Inc. (pbs), New York, 438 pp.
61. **Warnick, S.L. and Bell, H.L., 1969.** The acute toxicity of some heavy metals to different species of aquatic insect. *Journal of Water Pollution Contaminants*, 41, 280- 285.
62. **Wilcox, R.S., 1995.** Ripple communication in aquatic and semiaquatic insects. *Ecoscience* 2(2), 109-115.
63. **Williams, D.D., and Hynes, H.B.N., 1976.** The recolonization mechanisms of stream benthos. *Oikos* 27, 265-269.
64. **Wollmann, K. 2001.** Corixidae (Hemiptera, Heteroptera) in acidic mining likes with pH less than or equal to E in Lusatia, Germany. *Hydrobiologia* 433(3), 181-183.

## 5.2 Ελληνική Βιβλιογραφία

1. **Τζανακάκης, Μ.Ε., 1995.** Εντομολογία. University Studio Press, Θεσσαλονίκη. 501 σελ.
2. **Μπάλκα Ν., 2008 .**Τα υδρόβια έντομα ως δείκτες καθαρότητας των τρεχούμενων νερών. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
3. **Πετράκης Π.Β. & Ρούσσης Β., 2001.** Η αξία των υδρόβιων Ετερόπτερων εντόμων σαν βιοδείκτες ελληνικών υγροβιότοπων: μια αλγοριθμική προσέγγιση. 10<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Ιχθυολόγων. Χανιά 18-20 Οκτωβρίου 2001.
4. **Σταμόπουλος, Δ.Κ., 2007.** Υδρόβια Εντομολογία. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας. 200 σελ.

## 5.3 Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

1. **Birmingham, M., Gautsch, J., Heimdal, D., Hubbard, T., Krier, K. and Leopold, R., 2005.** Benthic Macroinvertebrate Indexing, *available at* <http://www.iowater.net>
2. **Bouchard, R. W., 2004.** Guide to Aquatic Invertebrates of the Upper Midwest, *available at* <http://wrc.umn.edu>
3. **Hynes, D.N., 2006.** Zoobenthos of Freshwater-An Introduction. *available at* <http://chebucto.us.ca>

4. **Mandaville, S. M., 2002.** Benthic Macroinvertebrates in freshwatres- Taxa tolerance values Metrics and Protocols. Soil and Water Conservation Society of Metro Halifax *available at* <http://chebucto.ca/Science/SWCS/SWCS.html>
5. **Mandaville, S. M., 1999.** Bioassessment of Freshwaters Using Benthic Macroinvertebrates- A Primer.First Ed.Project E-1.Soil and Water Conservation Society of Metro Halifax.244pp, *available at* <http://chebucto.ca/Science/SWCS/SWCS.html>
6. **Meyer, J. R., 2006.** Respiration in Aquatic Insects. *General Entomology* ENT425, *available at* <http://www.entomology.umn.edu>
7. **Voshell, I. R., 2002.** Macroinvertebrate Ecology. Aquatic Maryland State Envirothon. *available at* <http://www.dnr.state.md.us>
8. **Smith, G., 2005.** Diversity and Adaptations of the Aquatic Insects *available at* <http://www.faculty.ncf.edu/mccord/pdf>
9. **Anonymous, 2008.** Center for Disease Control and Prevention *available at* <http://www.cdc.gov>

## 6. Abstract

The aim of this paper was the study of ecological importance and the role of aquatic insects in aquatic ecosystems, as well as the comprehension of the mechanisms and strategies that these develop, in case to adapt to the particular conditions that these systems require. An indicative approach of their ecological importance and the factors that could affect their bioecology was attempted in the experimental part, where the rate of degradation of the organic matter was examined by larvae *Halesus* Stephens (Trichoptera: Limnephilidae) in three different temperatures (11 °C, 16 °C, 26 °C) and the toxicity of nitrate salts in the survival of larvae of *Halesus* Stephens (Trichoptera: Limnephilidae) and the adults of *Agabus* Leach (Coleoptera: Dytiscidae).

Aquatic insects belong to benthic macroinvertebrates, which are benthic microscopic organisms (200-500 µm), and their biological cycle or at least a part of it is supplemented in aquatic ecosystems. In these ecosystems dominate mainly freshwaters, running or stagnant.

The study of ecology of aquatic insects mainly concerns their importance as indicators of water quality. Most aquatic insects are indicators of good to exceptional quality of waters (larvae of Ephemeroptera and Plecoptera), while others indicate bad quality (larvae of Diptera, such as Chironomidae). Insects are also important as degradators of organic matter, which they break and make it available to the superior orders of aquatic ecosystems. Furthermore, their medical importance is remarkable since much of them, apart from the nuisance that cause to humans and animals, are also vectors of various pathogenic protozoans and viruses causing serious illnesses,

such as malaria, encephalites, illness of sleep, yellow fever, dengue fever, onchocerciasis, leishmaniasis, that is possible to cause even death.

Aquatic insects have adopted a wide variety of adaptations, as well as at the level of anatomic characteristics, as at the level of physiology and behaviour. These adaptations, allow them to be found almost in all aquatic ecosystems (cold or hot springs, areas of tide, in water bodies that disappear in the hot periods of year, in cavities of tree stems that retain water e.t.c.). The way that insects breathe underwater, the confrontation of salinity, the survival in various alkaline or acidic environments and the resistance to the current of running waters were between the various elements that have been studied in the present paper.

**Keywords: aquatic insects, ecology, adaptations, degradation of organic matter, toxicity.**



## 7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### 1. Επεξεργασία δεδομένων των φύλλων οξυάς *Fagus sp.* που κατανάλωσαν

προνύμφες *Halesus Stephens* (Trichoptera: Limnephilidae)

με Microsoft Excel 2003

#### Ομάδα Α

Φύλλο	Μήκος(cm)	Βάρος Αρχικού Φύλλου(mg)	Επιφάνεια Αρχικού Φύλλου(cm <sup>2</sup> )	Βάρος Φαγωμένου Φύλλου(mg)	Επιφάνεια Φαγωμένου Φύλλου(cm <sup>2</sup> )	Διαφορά Βάρους Φύλλου(mg)	Διαφορά Επιφάνειας Φύλλου (cm <sup>2</sup> )
A1	3,527	83,866	13,043	72,138	11,219	11,728	1,824
A2	3,715	93,486	14,539	90,091	14,011	3,395	0,528
A3	3,689	98,45	15,311	95,068	14,785	3,382	0,526
A4	3,723	105,883	16,467	100,887	15,69	4,996	0,777
A5	3,188	76,163	11,845	57,368	8,922	18,795	2,923
A6	3,408	79,166	12,312	76,890	11,958	2,276	0,354
A7	3,978	119,817	18,634	116,377	18,099	3,440	0,535
A8	4,446	138,817	21,589	137,319	21,356	1,498	0,233
A9	4,327	117,952	18,344	115,611	17,98	2,341	0,364
A10	3,536	94,566	14,707	92,746	14,424	1,820	0,283
A11	4,386	130,503	20,296	125,102	19,456	5,401	0,84
A12	4,522	149,787	23,295	142,836	22,214	6,951	1,081
A13	4,437	150,964	23,478	149,298	23,219	1,666	0,259
A14	3,834	103,549	16,104	100,520	15,633	3,029	0,471
A15	4,726	159,496	24,805	154,584	24,041	4,912	0,764
A16	4,454	147,446	22,931	142,772	22,204	4,674	0,727
A17	3,791	129,269	20,104	121,855	18,951	7,414	1,153
A18	4,888	184,586	28,707	162,518	25,275	22,068	3,432
A19	4,624	134,156	20,864	127,803	19,876	6,353	0,988
A20	4,582	164,396	25,567	149,980	23,325	14,416	2,242
						6,528	1,0152

**Ομάδα Β**

	Μήκος(cm)	Βάρος Αρχικού Φύλλου(mg)	Επιφάνεια Αρχικού Φύλλου(cm <sup>2</sup> )	Βάρος Φαγωμένου Φύλλου(mg)	Επιφάνεια Φαγωμένου Φύλλου(cm <sup>2</sup> )	Διαφορά Βάρους Φύλλου(mg)	Διαφορά Επιφάνειας Φύλλου (cm <sup>2</sup> )
B1	5,44	229,712	35,725	204,506	31,805	25,206	3,920
B2	4,208	130,799	20,342	106,744	16,601	24,055	3,741
B3	4,777	158,172	24,599	154,146	23,973	4,025	0,626
B4	5,491	213,656	33,228	207,348	32,247	6,308	0,981
B5	4,777	166,010	25,818	144,842	22,526	21,168	3,292
B6	4,106	137,345	21,360	134,644	20,940	2,701	0,420
B7	3,562	87,699	13,639	86,889	13,513	0,810	0,126
B8	3,426	87,589	13,622	76,086	11,833	11,503	1,789
B9	4,199	115,219	17,919	113,895	17,713	1,325	0,206
B10	4,029	133,686	20,791	128,041	19,913	5,646	0,878
B11	3,766	127,076	19,763	119,437	18,575	7,639	1,188
B12	4,556	180,220	28,028	170,942	26,585	9,278	1,443
B13	3,502	107,677	16,746	96,276	14,973	11,400	1,773
B14	3,112	79,700	12,395	77,205	12,007	2,495	0,388
B15	4,344	132,844	20,660	129,224	20,097	3,620	0,563
B16	3,349	88,130	13,706	79,192	12,316	8,938	1,390
B17	3,969	107,105	16,657	94,212	14,652	12,892	2,005
B18	4,089	140,238	21,810	127,404	19,814	12,834	1,996
B19	3,672	97,807	15,211	96,032	14,935	1,775	0,276
B20	4,627	141,872	22,064	139,743	21,733	2,128	0,331
						8,787	1,367

## Ομάδα Γ

Φύλλο	Μήκος(cm)	Βάρος Αρχικού Φύλλου(mg)	Επιφάνεια Αρχικού Φύλλου(cm <sup>2</sup> )	Βάρος Φαγωμένου Φύλλου(mg)	Επιφάνεια Φαγωμένου Φύλλου(cm <sup>2</sup> )	Διαφορά Βάρους Φύλλου(mg)	Διαφορά Επιφάνειας Φύλλου (cm <sup>2</sup> )
Γ1	4,004	139,325	21,668	136,258	21,191	3,067	0,477
Γ2	4,701	137,255	21,346	135,622	21,092	1,633	0,254
Γ3	3,494	91,248	14,191	85,397	13,281	5,851	0,910
Γ4	3,57	90,509	14,076	87,750	13,647	2,758	0,429
Γ5	4,658	160,068	24,894	150,591	23,420	9,478	1,474
Γ6	4,318	132,780	20,650	129,565	20,150	3,215	0,500
Γ7	3,332	81,365	12,654	81,230	12,633	0,135	0,021
Γ8	4,412	143,691	22,347	140,849	21,905	2,842	0,442
Γ9	4,182	117,778	18,317	115,509	17,964	2,270	0,353
Γ10	4,284	137,705	21,416	136,284	21,195	1,421	0,221
Γ11	4,182	132,876	20,665	130,362	20,274	2,514	0,391
Γ12	4,004	120,672	18,767	118,441	18,420	2,231	0,347
Γ13	3,74	109,111	16,969	108,140	16,818	0,971	0,151
Γ14	4,998	148,218	23,051	146,263	22,747	1,955	0,304
Γ15	3,604	107,883	16,778	106,269	16,527	1,614	0,251
Γ16	4,25	129,031	20,067	124,556	19,371	4,475	0,696
Γ17	5,525	189,267	29,435	180,259	28,034	9,008	1,401
Γ18	4,658	158,094	24,587	150,070	23,339	8,025	1,248
Γ19	4,267	141,994	22,083	139,512	21,697	2,482	0,386
Γ20	4,14	123,810	19,255	117,450	18,266	6,359	0,989
						3,615	0,562

**2. Διαδικασία εύρεσης του ποσοστού φαγώματος των φύλλων οξυάς *Fagus sp.* που κατανάλωσαν οι προνύμφες *Halesus Stephens* (Trichoptera: Limnephilidae) με το πρόγραμμα Adobe Photoshop SC3 Extend**

1. File----→Open.....TIFF
2. View--→Rulers
3. Magic Wand Tool                      Checked Anti-Alias Contiguous
4. Zoom (keyboard+alt)
5. Polygonal Lasso Tool Και Shift πατημένο --→Επιλογή περιοχής  
Και Alt    πατημένο --→Αφαίρεση επιλεγμένης  
περιοχής
6. Analysis-Set measurement Scale-Custom (Logical Units:Pixels=1:0,0085 ή  
τιμή που ανταποκρίνεται στις διαστάσεις του φύλλου)
7. Αφού επιλέξουμε την περιοχή Analysis-Record measurements
8. Select-Deselect (Για καθαρισμό της περιοχής)

3. Στατιστική ανάλυση για την εύρεση στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των τριών θερμοκρασιών που τοποθετήθηκαν οι προνύμφες *Halesus Stephens* (Trichoptera: Limnephilidae) σε σχέση με την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης (φύλλα οξυάς)

Fisher's PLSD for log fylla  
Effect: temperatures  
Significance Level: 5 %

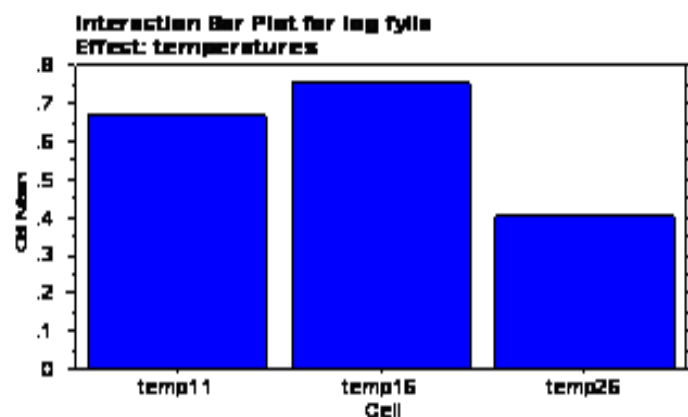
	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
temp11. temp16	-.089	.251	.4783	
temp11. temp26	.259	.251	.0428	6
temp16. temp26	.348	.251	.0072	6

ANOVA Table for log fylla

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value	Lambda	Power
temperatures	2	.624	.312	9.128	.0004	18.255	.978
basos fylla	1	5.667	5.667	165.796	<.0001	165.796	1.000
temperatures * basos fylla	2	.711	.355	10.396	.0002	20.792	.990
Residual	54	1.846	.034				

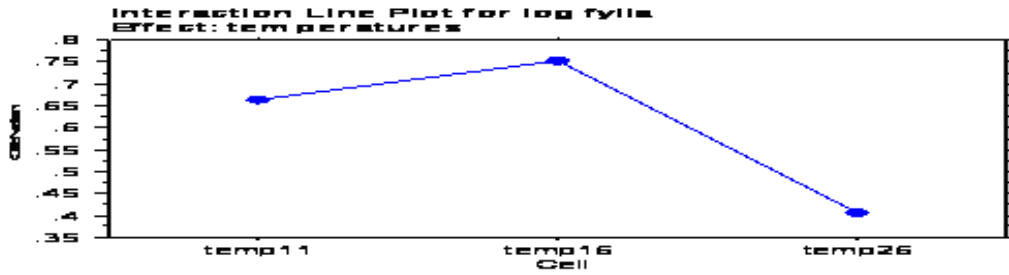
Means Table for log fylla  
Effect: temperatures

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
temp11	20	.665	.340	.076
temp16	20	.754	.430	.096
temp26	20	.406	.410	.092



Fisher's PLSD for log fylla  
Effect: temperatures  
Significance Level: 5 %

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
temp11. temp16	-.089	.117	.1325	
temp11. temp26	.259	.117	<.0001	6
temp16. temp26	.348	.117	<.0001	6



**Fisher's PLSD for log fylla**  
Effect: tem peratures  
Significance Level: 5 %

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
temp11. temp16	-.089	.251	.4783	§
temp11. temp26	.259	.251	.0428	§
temp16. temp26	.348	.251	.0072	§

**Scheffe for log fylla**  
Effect: tem peratures  
Significance Level: 5 %

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
temp11. temp16	-.089	.314	.7760	
temp11. temp26	.259	.314	.1263	§
temp16. temp26	.348	.314	.0263	§

**Bonferroni/Dunn for log fylla**  
Effect: tem peratures  
Significance Level: 5 %

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
temp11. temp16	-.089	.309	.4783	
temp11. temp26	.259	.309	.0428	§
temp16. temp26	.348	.309	.0072	§

Comparisons in this table are not significant unless the corresponding p-value is less than .0167.

**Dunnett for log fylla**  
Effect: tem peratures  
Significance Level: 5 %

	Mean Diff.	Crit. Diff.	
temp11	.259	.284	
temp16	.348	.284	§

**Tukey/Kramer for log fylla**  
Effect: tem peratures  
Significance Level: 5 %

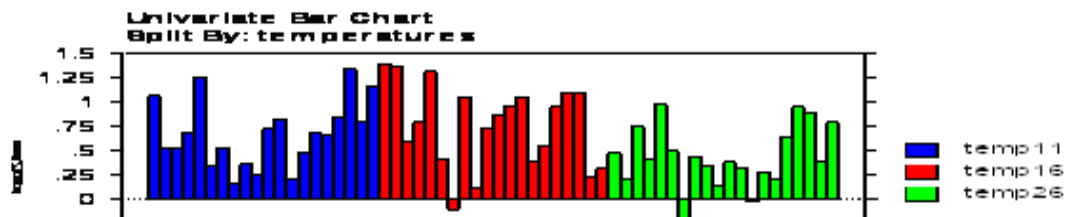
	Mean Diff.	Crit. Diff.	
temp11. temp16	-.089	.301	
temp11. temp26	.259	.301	§
temp16. temp26	.348	.301	§

**Games/Howell for log fylla**  
Effect: tem peratures  
Significance Level: 5 %

	Mean Diff.	Crit. Diff.	
temp11. temp16	-.089	.300	
temp11. temp26	.259	.291	§
temp16. temp26	.348	.324	§

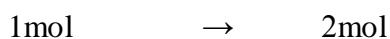
**Student-Newman-Keuls for log fylla**  
Effect: tem peratures  
Significance Level: 5 %

	Mean Diff.	Crit. Diff.	
temp11. temp16	-.089	.251	
temp11. temp26	.259	.251	§
temp16. temp26	.348	.301	§



#### 4. Εύρεση των συγκεντρώσεων νιτρικών ριζών από την αντίδραση διάσπασης του νιτρικού ασβεστίου (0.5gr)

Το νιτρικό ασβέστιο δίσταται πλήρως σε ασβέστιο και νιτρικές ρίζες, κατά την αντίδραση:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{NO}_3^-$



Επειδή τοποθετήσαμε αρχικά 0.5gr νιτρικού ασβεστίου σε 1lt διαλύματος, αυτά θα αντιστοιχούν σε  $0.5 \text{ gr}/\text{MB} \text{ Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = 0.5 \text{ gr} / 236 = 0.002 \text{ mol}$ . Βάση της παραπάνω αντίδρασης, επειδή το 1mol νιτρικού ασβεστίου δίσταται σε 2mol  $\text{NO}_3^-$ , τα 0.002 mol θα δώσουν 0.004 mol  $\text{NO}_3^-$ . Όμως, επειδή τα  $0.004 \text{ mol} = 0.004 * \text{MB} \text{ NO}_3^- \text{ gr} = 0.004 * 62 \text{ gr} = 0.248 \text{ gr}$  ή 248 mg. Οπότε τα 0.5 gr/lt διαλύματος νιτρικού ασβεστίου αντιστοιχούν σε 248 mg/lt  $\text{NO}_3^-$ .

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η αντιστοιχία των συγκεντρώσεων του νιτρικού ασβεστίου και των νιτρικών ριζών  $\text{NO}_3^-$  θα είναι:

- 62.5 mg/lt νιτρικού ασβεστίου αντιστοιχούν σε 31 mg/lt  $\text{NO}_3^-$ .
- 125 mg/lt νιτρικού ασβεστίου αντιστοιχούν σε 62 mg/lt  $\text{NO}_3^-$ .
- 250 mg/lt νιτρικού ασβεστίου αντιστοιχούν σε 124 mg/lt  $\text{NO}_3^-$ .
- 500 mg/lt νιτρικού ασβεστίου αντιστοιχούν σε 248 mg/lt  $\text{NO}_3^-$ .

**5. Αποτελέσματα Probit analysis για την εύρεση της επιθανάτιας συγκέντρωσης  
LC<sub>50</sub> των νιτρικών ριζών για τα ενήλικα *Agabus Leach* (Coleoptera: Dytiscidae)**

**σε διάφορους χρόνους έκθεσης**

**Coleoptera *Agabus Leach* 48h**

\* \* \* \* \* P R O B I T    A N A L Y S I S    \* \* \* \* \*

DATA Information

4 unweighted cases accepted.  
0 cases rejected because of missing data.  
1 case is in the control group.  
0 cases rejected because LOG-transform can't be done.

MODEL Information

ONLY Normal Sigmoid is requested.

\* \* \* \* \* P R O B I T    A N A L Y S I S    \* \* \* \* \*

>Warning # 13527

>Parameter estimates did not converge in maximum number of iterations.

Number of iterations = 20  
Optimal solution not found.

Parameter Estimates (PROBIT model: (PROBIT(p)) = Intercept + BX):

	Regression Coeff.	Standard Error	Coeff./S.E.
VAR00001	2,62421	3,16974	,82789

Intercept	Standard Error	Intercept/S.E.
-7,90043	7,38143	-1,07031

Pearson Goodness-of-Fit Chi Square = ,189    DF = 2    P = ,910

Since Goodness-of-Fit Chi square is NOT significant, no heterogeneity factor is used in the calculation of confidence limits.

\* \* \* \* \* P R O B I T    A N A L Y S I S    \* \* \* \* \*

Observed and Expected Frequencies

	Number of Subjects	Observed Responses	Expected Responses	Residual	Prob
VAR00001	1,49	15,0	,0	,001	-,00003

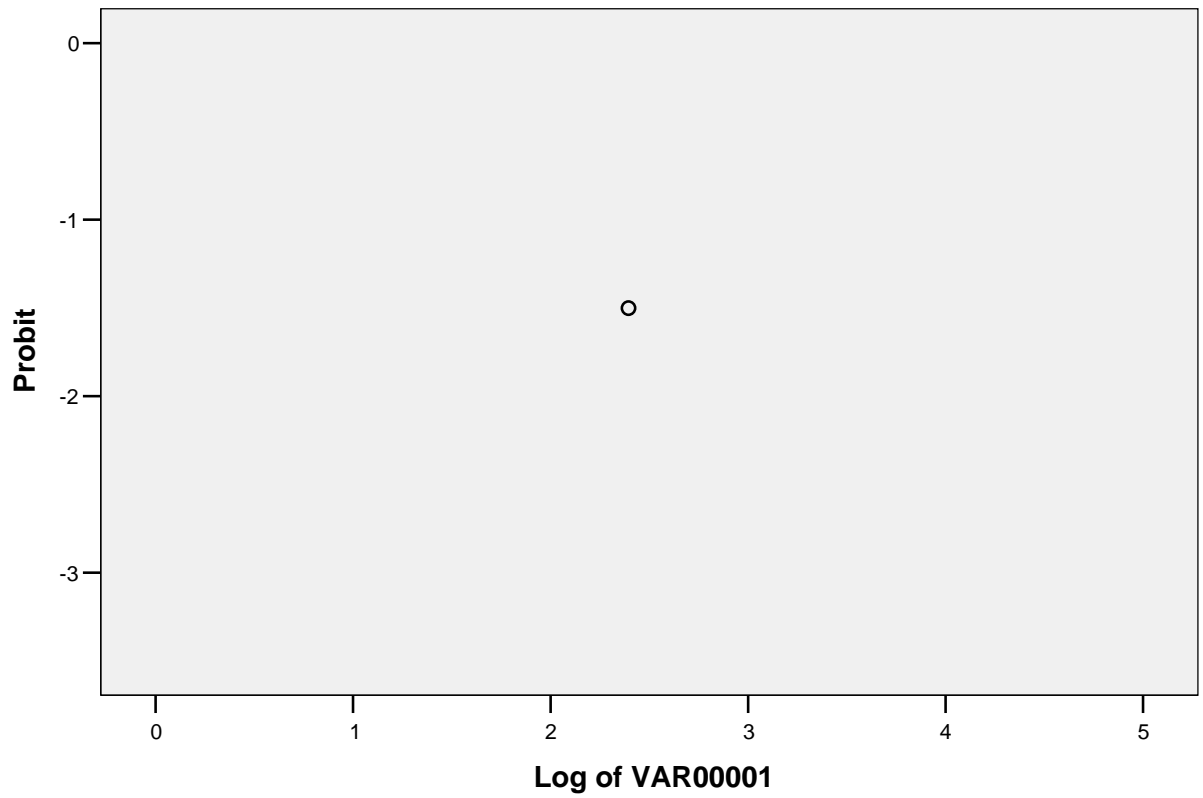


1,79	15,0	,0	,010	-,010	,00069
2,09	15,0	,0	,121	-,121	,00805
2,39	15,0	1,0	,794	,206	,05295

\* \* \* \* \* P R O B I T   A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

Confidence Limits for Effective VAR00001

Prob	VAR00001	95% Confidence Limits	
		Lower	Upper
,01	133,07744	.	.
,02	169,03751	.	.
,03	196,73914	.	.
,04	220,53146	.	.
,05	241,99138	.	.
,06	261,89456	.	.
,07	280,68822	.	.
,08	298,65727	.	.
,09	315,99634	.	.
,10	332,84542	.	.
,15	412,71401	.	.
,20	489,65008	.	.
,25	566,98850	.	.
,30	646,79762	.	.
,35	730,74749	.	.
,40	820,46134	.	.
,45	917,73024	.	.
,50	1024,70894	.	.
,55	1144,15802	.	.
,60	1279,80243	.	.
,65	1436,92374	.	.
,70	1623,42653	.	.
,75	1851,93954	.	.
,80	2144,44651	.	.
,85	2544,20349	.	.
,90	3154,70295	.	.
,91	3322,91324	.	.
,92	3515,83071	.	.
,93	3740,90657	.	.
,94	4009,35553	.	.
,95	4339,11502	.	.
,96	4761,35422	.	.
,97	5337,16065	.	.
,98	6211,80709	.	.
,99	7890,35654	.	.

**Probit Transformed Responses**

**Coleoptera Agabus Leach 64h**

\*\*\*\*\* PROBIT ANALYSIS \*\*\*\*\*  
 DATA Information

4 unweighted cases accepted.  
 0 cases rejected because of missing data.  
 1 case is in the control group.  
 0 cases rejected because LOG-transform can't be done.

MODEL Information

ONLY Normal Sigmoid is requested.

\*\*\*\*\* PROBIT ANALYSIS \*\*\*\*\*  
 Parameter estimates converged after 19 iterations.  
 Optimal solution found.

Parameter Estimates (PROBIT model: (PROBIT(p)) = Intercept + BX):

	Regression Coeff.	Standard Error	Coeff./S.E.
VAR00001	2,83749	1,55051	1,83004
	Intercept	Standard Error	Intercept/S.E.
	-7,59533	3,52478	-2,15484

Pearson Goodness-of-Fit Chi Square = ,210 DF = 2 P = ,900

Since Goodness-of-Fit Chi square is NOT significant, no heterogeneity factor is used in the calculation of confidence limits.

\*\*\*\*\* PROBIT ANALYSIS \*\*\*\*\*

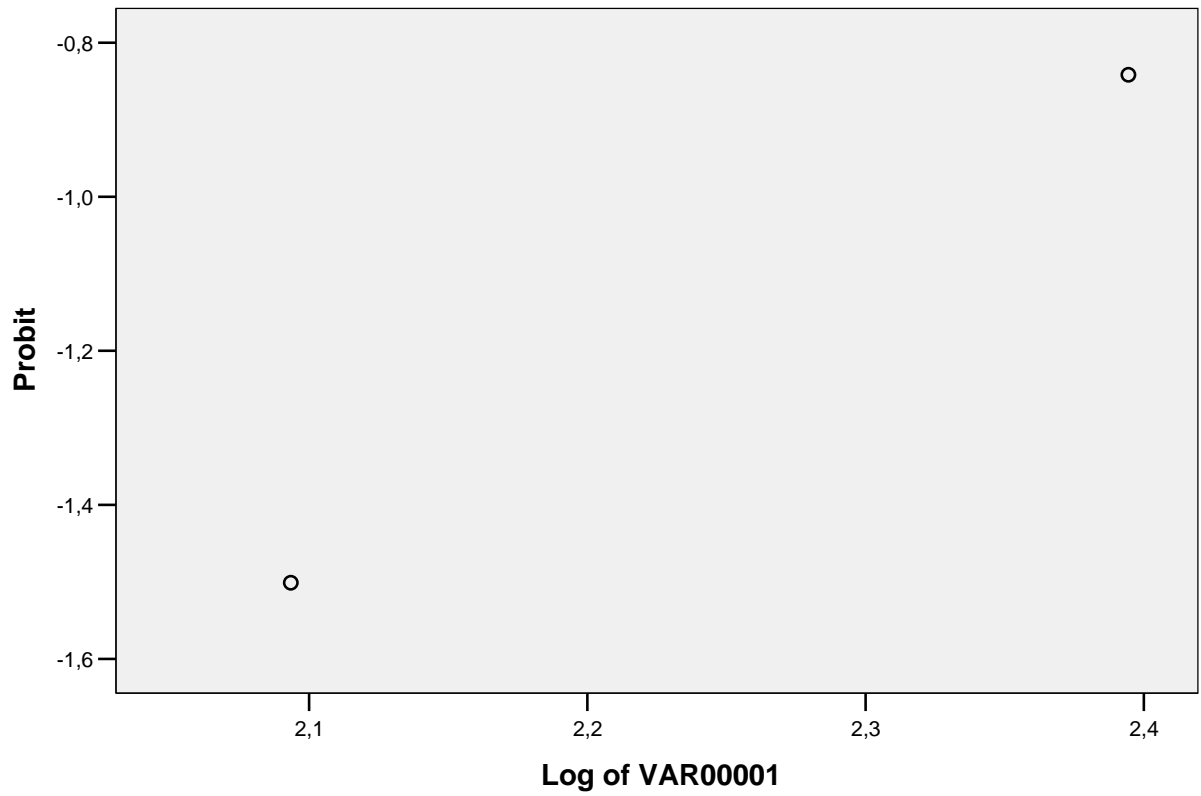
Observed and Expected Frequencies

VAR00001	Number of Subjects	Observed Responses	Expected Responses	Residual	Prob
1,49	15,0	,0	,006	-,006	,00038
1,79	15,0	,0	,091	-,091	,00605
2,09	15,0	1,0	,734	,266	,04894
2,39	15,0	3,0	3,173	-,173	,21154

\* \* \* \* \* P R O B I T    A N A L Y S I S    \* \* \* \* \*

Confidence Limits for Effective VAR00001

Prob	VAR00001	95% Confidence Limits	
		Lower	Upper
,01	71,93113	.	.
,02	89,74028	.	.
,03	103,26213	.	.
,04	114,76095	.	.
,05	125,05242	.	.
,06	134,53599	.	.
,07	143,44118	.	.
,08	151,91376	.	.
,09	160,05301	.	.
,10	167,93011	.	.
,15	204,88690	.	.
,20	239,97763	.	.
,25	274,83495	.	.
,30	310,43242	.	.
,35	347,52197	.	.
,40	386,80572	.	.
,45	429,03475	.	.
,50	475,09295	.	.
,55	526,09564	.	.
,60	583,53146	.	.
,65	649,49365	.	.
,70	727,09324	.	.
,75	821,26858	.	.
,80	940,55981	.	.
,85	1101,64830	.	.
,90	1344,09074	.	.
,91	1410,24099	.	.
,92	1485,79894	.	.
,93	1573,56000	.	.
,94	1677,71694	.	.
,95	1804,94963	.	.
,96	1966,81277	.	.
,97	2185,82851	.	.
,98	2515,18393	.	.
,99	3137,90845	.	.

**Probit Transformed Responses**

**Coleoptera Agabus Leach 72h**

\*\*\*\*\* PROBIT ANALYSIS \*\*\*\*\*  
 DATA Information

4 unweighted cases accepted.  
 0 cases rejected because of missing data.  
 1 case is in the control group.  
 0 cases rejected because LOG-transform can't be done.

MODEL Information

ONLY Normal Sigmoid is requested.

\*\*\*\*\* PROBIT ANALYSIS \*\*\*\*\*  
 Parameter estimates converged after 16 iterations.  
 Optimal solution found.

Parameter Estimates (PROBIT model: (PROBIT(p)) = Intercept + BX):

	Regression Coeff.	Standard Error	Coeff./S.E.
VAR00001	1,82669	,83274	2,19359

	Intercept	Standard Error	Intercept/S.E.
	-4,95839	1,79426	-2,76348

Pearson Goodness-of-Fit Chi Square = ,354 DF = 2 P = ,838

Since Goodness-of-Fit Chi square is NOT significant, no heterogeneity factor is used in the calculation of confidence limits.

\*\*\*\*\* PROBIT ANALYSIS \*\*\*\*\*

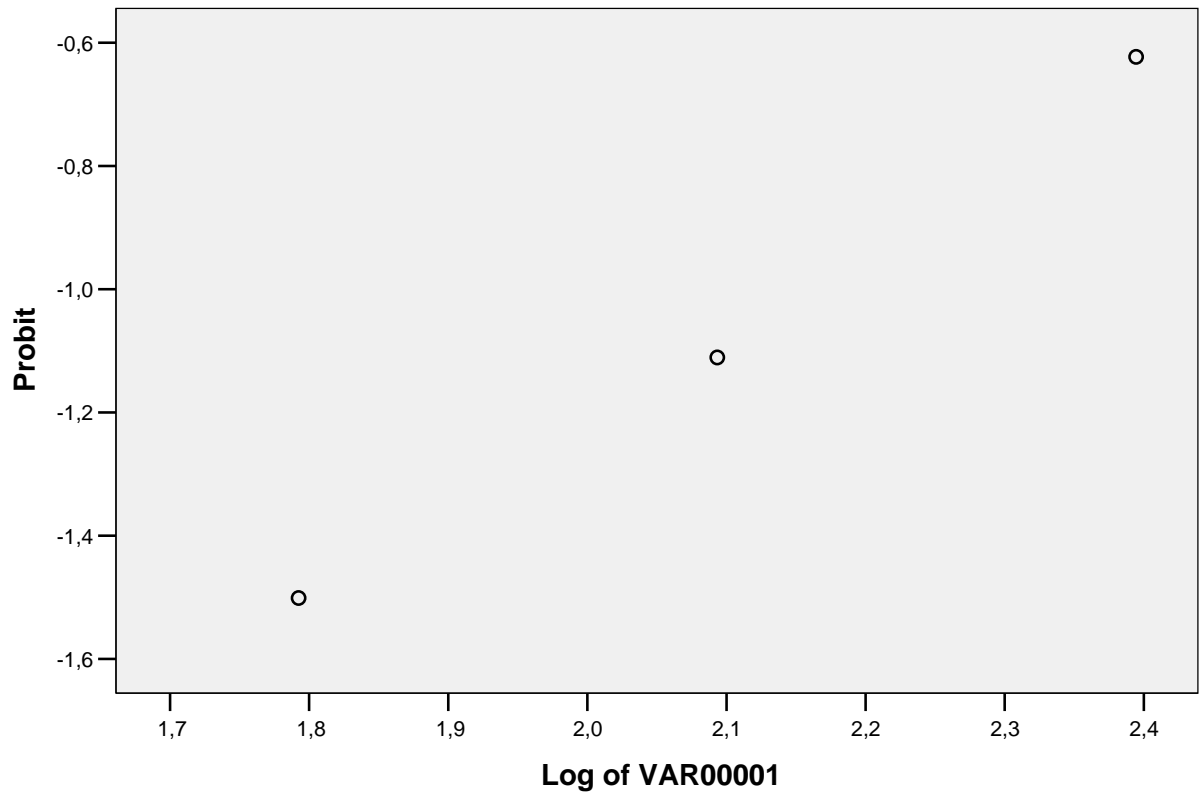
Observed and Expected Frequencies

VAR00001	Number of Subjects	Observed Responses	Expected Responses	Residual	Prob
	1,49	15,0	,0	,191	-,191 ,01274
	1,79	15,0	1,0	,691	,309 ,04607
	2,09	15,0	2,0	1,925	,075 ,12832
	2,39	15,0	4,0	4,192	-,192 ,27945

\* \* \* \* \* P R O B I T   A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

Confidence Limits for Effective VAR00001

Prob	VAR00001	95% Confidence Limits	
		Lower	Upper
,01	27,59825	,00004	65,77125
,02	38,91461	,00087	81,25716
,03	48,39438	,00657	93,83833
,04	57,01916	,02975	105,50092
,05	65,15646	,10064	117,10831
,06	72,99124	,28116	129,27888
,07	80,63226	,68410	142,63489
,08	88,15021	1,49563	157,95283
,09	95,59445	2,99409	176,32822
,10	103,00135	5,55006	199,41626
,15	140,29105	43,16060	549,47576
,20	179,34016	91,31721	2966,89783
,25	221,39699	124,49727	17587,74332
,30	267,50770	150,47176	95036,67285
,35	318,76748	173,66161	468640,00414
,40	376,46210	195,96593	2162572,45310
,45	442,20262	218,41030	9576453,82412
,50	518,09944	241,71607	41639593,9823
,55	607,02271	266,53112	181718122,942
,60	713,02539	293,56274	814276375,265
,65	842,07786	323,70021	3845367473,28
,70	1003,43667	358,18566	19777418551,1
,75	1212,42405	398,91967	115976129653
,80	1496,74801	449,10836	832564004428
,85	1913,35826	514,88738	8296134046712
,90	2606,05354	610,50317	1,49926E+014
,91	2807,97716	636,00508	3,01701E+014
,92	3045,10933	664,86368	6,44971E+014
,93	3329,02782	698,04551	1,48728E+015
,94	3677,52382	736,98954	3,78168E+015
,95	4119,72986	783,96907	1,09642E+016
,96	4707,66398	842,87822	3,82980E+016
,97	5546,65667	921,21873	1,78260E+017
,98	6897,84790	1036,44256	1,37724E+018
,99	9726,23332	1247,30082	3,45765E+019

**Probit Transformed Responses**



**Coleoptera Agabus Leach 90h**

\* \* \* \* \* P R O B I T    A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

## DATA Information

4 unweighted cases accepted.  
 0 cases rejected because of missing data.  
 1 case is in the control group.  
 0 cases rejected because LOG-transform can't be done.

## MODEL Information

ONLY Normal Sigmoid is requested.

\* \* \* \* \* P R O B I T    A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

Parameter estimates converged after 12 iterations.  
 Optimal solution found.

Parameter Estimates (PROBIT model: (PROBIT(p)) = Intercept + BX):

	Regression Coeff.	Standard Error	Coeff./S.E.
VAR00001	1,12141	,61605	1,82033

Intercept	Standard Error	Intercept/S.E.
-3,21423	1,27071	-2,52947

Pearson Goodness-of-Fit Chi Square = ,492    DF = 2    P = ,782

Since Goodness-of-Fit Chi square is NOT significant, no heterogeneity factor is used in the calculation of confidence limits.

\* \* \* \* \* P R O B I T    A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

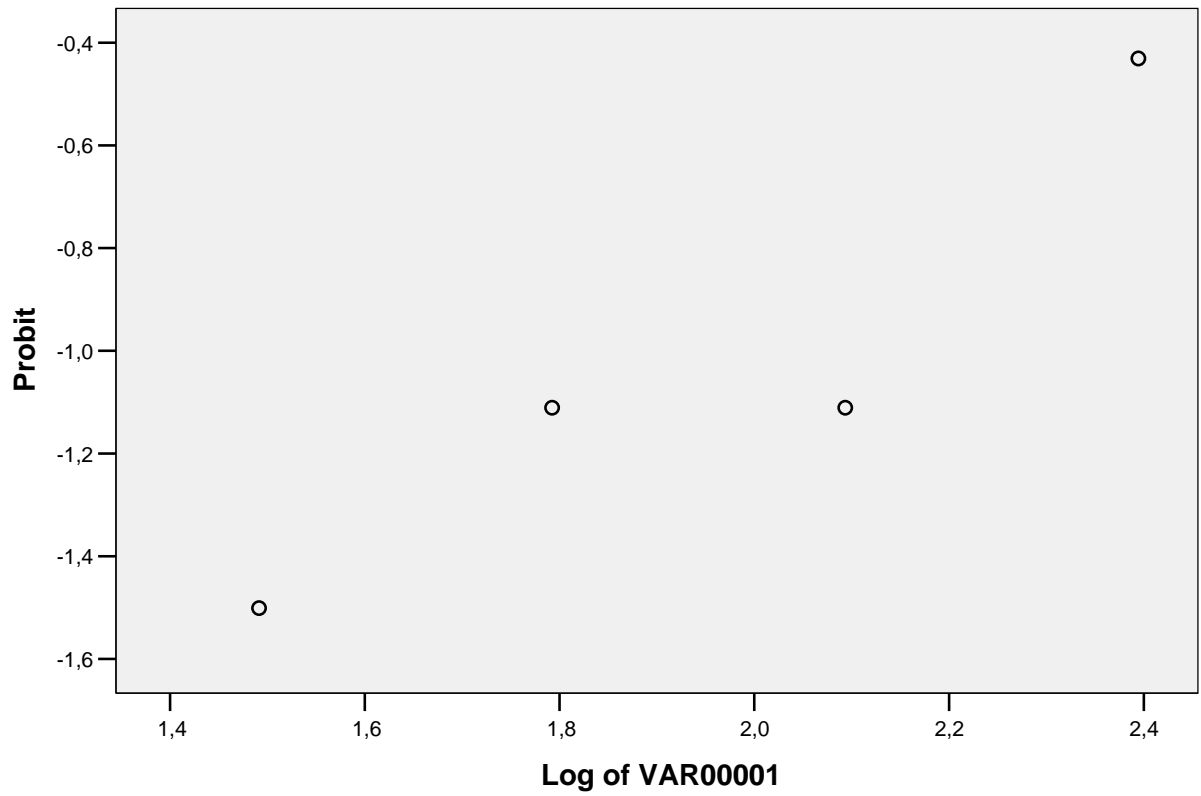
## Observed and Expected Frequencies

VAR00001	Number of Subjects	Observed Responses	Expected Responses	Residual	Prob
1,49	15,0	1,0	,923	,077	,06156
1,79	15,0	2,0	1,714	,286	,11425
2,09	15,0	2,0	2,896	-,896	,19307
2,39	15,0	5,0	4,476	,524	,29838

\* \* \* \* \* P R O B I T    A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

Confidence Limits for Effective VAR00001

Prob	VAR00001	95% Confidence Limits	
		Lower	Upper
,01	6,19087	.	.
,02	10,83522	.	.
,03	15,45496	.	.
,04	20,18781	.	.
,05	25,08786	.	.
,06	30,18500	.	.
,07	35,49953	.	.
,08	41,04740	.	.
,09	46,84237	.	.
,10	52,89720	.	.
,15	87,50100	.	.
,20	130,53704	.	.
,25	183,98004	.	.
,30	250,38625	.	.
,35	333,14474	.	.
,40	436,83575	.	.
,45	567,77986	.	.
,50	734,91406	.	.
,55	951,24663	.	.
,60	1236,38844	.	.
,65	1621,21328	.	.
,70	2157,06208	.	.
,75	2935,63740	.	.
,80	4137,51271	.	.
,85	6172,48557	.	.
,90	10210,34566	.	.
,91	11530,13060	.	.
,92	13157,92781	.	.
,93	15214,24819	.	.
,94	17892,95151	.	.
,95	21528,28666	.	.
,96	26753,70421	.	.
,97	34946,63107	.	.
,98	49846,60045	.	.
,99	87241,16884	.	.

**Probit Transformed Responses**

## 6. Αποτελέσματα Probit analysis για την εύρεση της επιθανάτιας συγκέντρωσης

**LC<sub>50</sub> των νιτρικών ριζών για τις προνύμφες *Halesus Stephens* (Trichoptera:**

**Limnephilidae) σε διάφορους χρόνους έκθεσης**

### Trichoptera *Halesus Stephens* 24h

\* \* \* \* \* P R O B I T   A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

DATA Information

3 unweighted cases accepted.  
0 cases rejected because of missing data.  
1 case is in the control group.  
0 cases rejected because LOG-transform can't be done.

MODEL Information

ONLY Normal Sigmoid is requested.

\* \* \* \* \* P R O B I T   A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

Parameter estimates converged after 14 iterations.  
Optimal solution found.

Parameter Estimates (PROBIT model: (PROBIT(p)) = Intercept + BX):

	Regression Coeff.	Standard Error	Coeff./S.E.
VAR00001	3,04973	1,23547	2,46847

	Intercept	Standard Error	Intercept/S.E.
	-6,65515	2,64171	-2,51925

Pearson Goodness-of-Fit Chi Square = ,019   DF = 1   P = ,890

Since Goodness-of-Fit Chi square is NOT significant, no heterogeneity factor is used in the calculation of confidence limits.

\* \* \* \* \* P R O B I T   A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

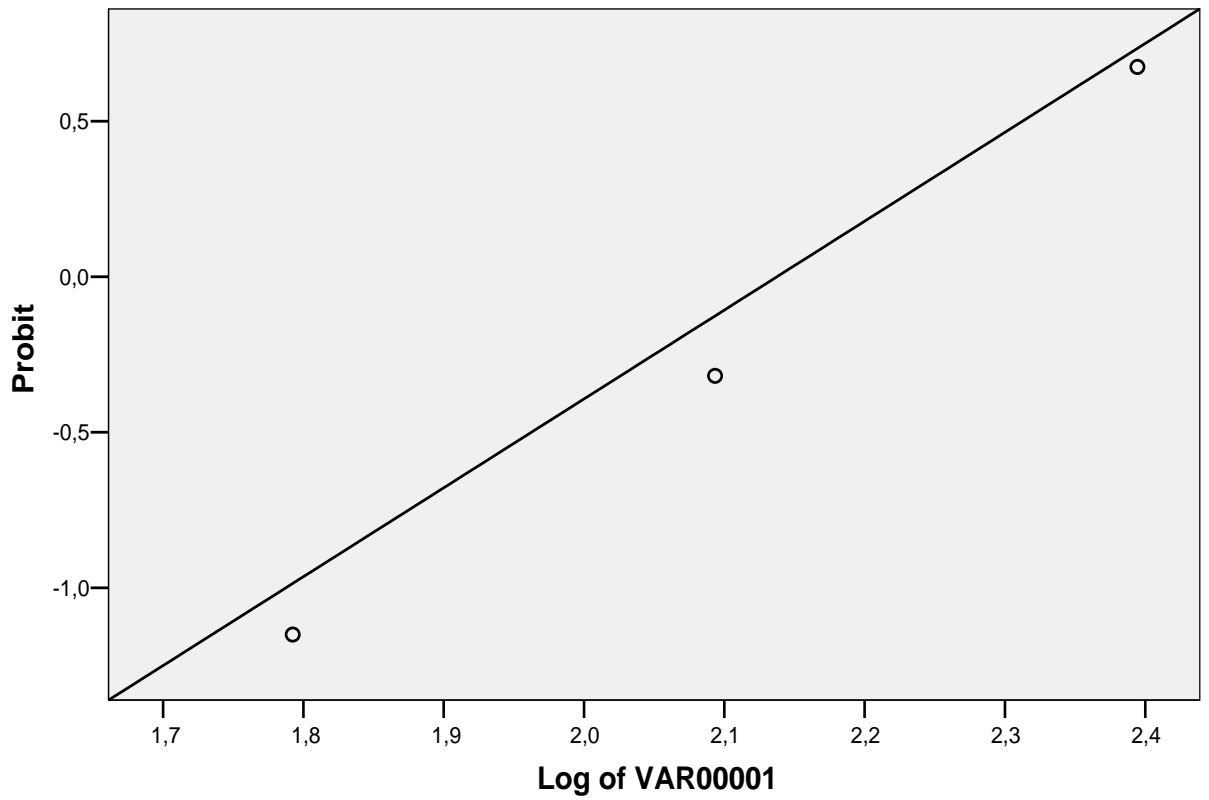
Observed and Expected Frequencies

VAR00001	Number of Subjects	Observed Responses	Expected Responses	Residual	Prob
1,79	8,0	1,0	,938	,062	,11725
2,09	8,0	3,0	3,146	-,146	,39328
2,39	8,0	6,0	5,930	,070	,74127

\* \* \* \* \* P R O B I T   A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

Confidence Limits for Effective VAR00001

Prob	VAR00001	95% Confidence Limits	
		Lower	Upper
,01	26,26675	,04646	57,76198
,02	32,26941	,12497	65,41187
,03	36,77078	,23378	70,89122
,04	40,56625	,37408	75,39292
,05	43,94071	,54786	79,33123
,06	47,03316	,75751	82,90481
,07	49,92320	1,00575	86,22643
,08	52,66125	1,29554	89,36748
,09	55,28158	1,63006	92,37680
,10	57,80869	2,01272	95,28992
,15	69,56118	4,78155	109,20731
,20	80,58338	9,37825	123,42827
,25	91,42134	16,41743	139,58047
,30	102,39095	26,48063	159,79085
,35	113,72754	39,81260	187,61727
,40	125,64334	55,85812	229,30242
,45	138,35900	73,11041	295,19463
,50	152,12883	89,89761	401,18041
,55	167,26907	105,40856	571,75793
,60	184,19743	119,75595	847,97633
,65	203,49671	133,47672	1304,59850
,70	226,02760	147,22006	2087,99092
,75	253,14856	161,70804	3510,05760
,80	287,19546	177,87063	6317,35443
,85	332,70253	197,20780	12630,81832
,90	400,34084	222,87441	30428,82429
,91	418,64182	229,35798	37661,25058
,92	439,47268	236,54382	47493,47058
,93	463,57570	244,62594	61311,60221
,94	492,06094	253,88928	81576,34795
,95	526,69109	264,77728	113027,74404
,96	570,50339	278,03656	165872,90916
,97	629,39060	295,07619	265970,62128
,98	717,18628	319,08984	498635,86181
,99	881,08269	360,42778	1344732,10580

**Probit Transformed Responses**

**Trichoptera Halesus Stephens 32h**

\* \* \* \* \* P R O B I T    A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

## DATA Information

3 unweighted cases accepted.  
 0 cases rejected because of missing data.  
 1 case is in the control group.  
 0 cases rejected because LOG-transform can't be done.

## MODEL Information

ONLY Normal Sigmoid is requested.

\* \* \* \* \* P R O B I T    A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

Parameter estimates converged after 10 iterations.  
 Optimal solution found.

Parameter Estimates (PROBIT model: (PROBIT(p)) = Intercept + BX):

	Regression Coeff.	Standard Error	Coeff./S.E.
VAR00001	2,33543	1,16333	2,00754

	Intercept	Standard Error	Intercept/S.E.
	-4,63671	2,41612	-1,91907

Pearson Goodness-of-Fit Chi Square = ,531    DF = 1    P = ,466

Since Goodness-of-Fit Chi square is NOT significant, no heterogeneity factor is used in the calculation of confidence limits.

\* \* \* \* \* P R O B I T    A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

\*

## Observed and Expected Frequencies

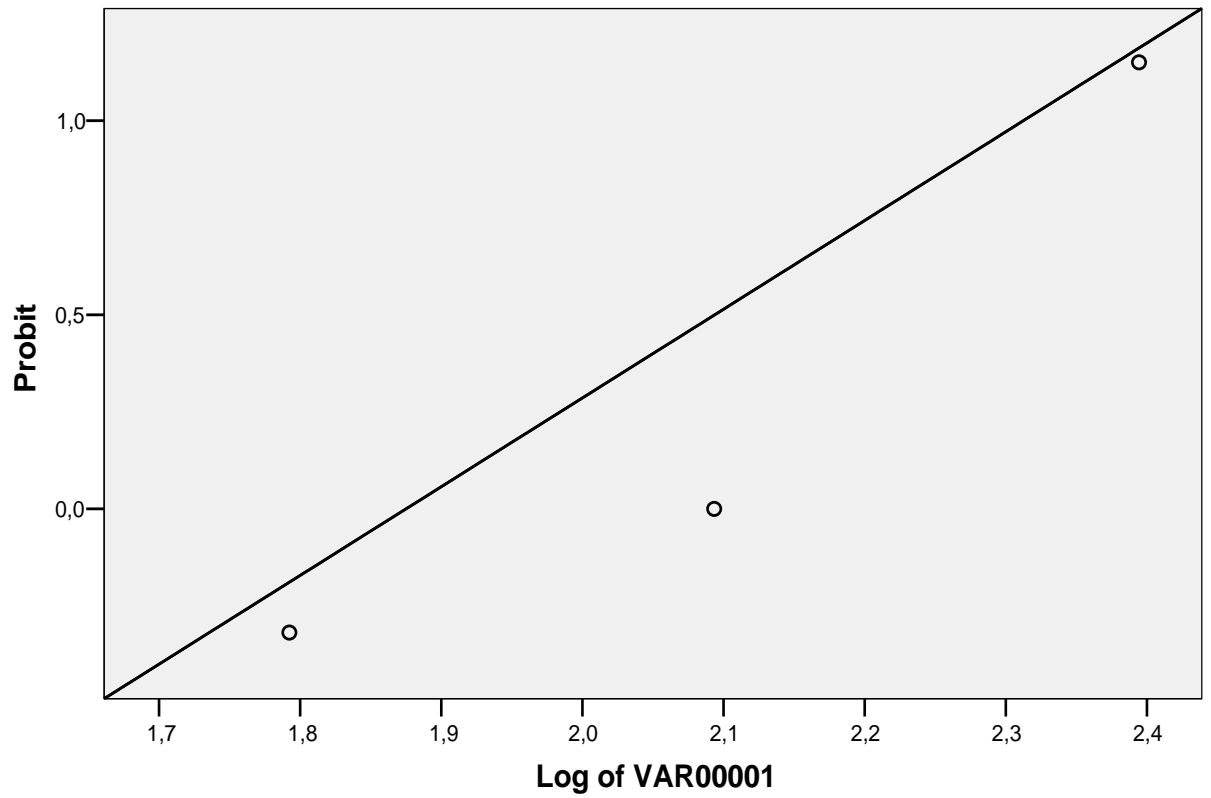
VAR00001	Number of Subjects	Observed Responses	Expected Responses	Residual	Prob
	1,79	8,0	3,0	2,609	,391 ,32610
	2,09	8,0	4,0	4,797	-,797 ,59961
	2,39	8,0	7,0	6,642	,358 ,83031

\* \* \* \* \* P R O B I T   A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

Confidence Limits for Effective VAR00001

Prob	VAR00001	95% Confidence Limits	
		Lower	Upper
,01	9,75582	4,74150E-044	35,08334
,02	12,76400	3,99608E-039	40,47827
,03	15,13714	5,32631E-036	44,36638
,04	17,20893	1,19346E-033	47,56590
,05	19,10161	9,73751E-032	50,36281
,06	20,87569	4,12452E-030	52,89457
,07	22,56629	1,10080E-028	55,23915
,08	24,19587	2,08295E-027	57,44565
,09	25,77986	3,01922E-026	59,54739
,10	27,32944	3,53726E-025	61,56826
,15	34,80061	9,37474E-021	70,97070
,20	42,16991	3,05165E-017	79,99267
,25	49,72399	3,12261E-014	89,35763
,30	57,65435	1,55910E-011	99,77244
,35	66,12781	4,85563E-009	112,31465
,40	75,31704	,00000	129,20225
,45	85,42136	,00020	156,46293
,50	96,68807	,02804	218,37757
,55	109,44081	2,32333	525,03129
,60	124,12308	29,88704	8853,70614
,65	141,37144	65,94937	1042703,02547
,70	162,14881	90,83988	265394236,498
,75	188,00953	110,57721	121545327697
,80	221,68851	129,22624	1,18882E+014
,85	268,63277	149,62039	3,76724E+017
,90	342,07011	175,54670	9,80925E+021
,91	362,63124	182,02473	1,14595E+023
,92	386,37110	189,19523	1,65656E+024
,93	414,27212	197,25861	3,12652E+025
,94	447,82148	206,50950	8,32393E+026
,95	489,41347	217,40751	3,51739E+028
,96	543,24016	230,72943	2,86316E+030
,97	617,59258	247,94915	6,40044E+032
,98	732,41812	272,43186	8,51018E+035
,99	958,25720	315,20678	7,15221E+040



**Probit Transformed Responses**

**Trichoptera Halesus Stephens 48h**

\* \* \* \* \* P R O B I T   A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

DATA Information

3 unweighted cases accepted.  
 0 cases rejected because of missing data.  
 1 case is in the control group.  
 0 cases rejected because LOG-transform can't be done.

MODEL Information

ONLY Normal Sigmoid is requested.

\* \* \* \* \* P R O B I T   A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

Parameter estimates converged after 20 iterations.  
 Optimal solution found.

Parameter Estimates (PROBIT model: (PROBIT(p)) = Intercept + BX):

	Regression Coeff.	Standard Error	Coeff./S.E.
VAR00001	1,60322	1,78446	,89843

	Intercept	Standard Error	Intercept/S.E.
	-1,86801	3,56430	-,52409

Pearson Goodness-of-Fit Chi Square = ,666 DF = 1 P = ,414

Since Goodness-of-Fit Chi square is NOT significant, no heterogeneity factor is used in the calculation of confidence limits.

\* \* \* \* \* P R O B I T   A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

Observed and Expected Frequencies

VAR00001	Number of Subjects	Observed Responses	Expected Responses	Residual	Prob
	1,79	8,0	7,0	,258	,84269
	2,09	8,0	7,0	-,453	,93165
	2,39	8,0	8,0	,195	,97563

\* \* \* \* \* P R O B I T   A N A L Y S I S \* \* \* \* \*

Confidence Limits for Effective VAR00001

Prob	VAR00001	95% Confidence Limits	
		Lower	Upper
,01	,51774	.	.
,02	,76585	.	.
,03	,98180	.	.
,04	1,18353	.	.
,05	1,37781	.	.
,06	1,56811	.	.
,07	1,75648	.	.
,08	1,94425	.	.
,09	2,13241	.	.
,10	2,32166	.	.
,15	3,30133	.	.
,20	4,36719	.	.
,25	5,55200	.	.
,30	6,88758	.	.
,35	8,41041	.	.
,40	10,16564	.	.
,45	12,21175	.	.
,50	14,62711	.	.
,55	17,52020	.	.
,60	21,04661	.	.
,65	25,43899	.	.
,70	31,06349	.	.
,75	38,53608	.	.
,80	48,99083	.	.
,85	64,80788	.	.
,90	92,15499	.	.
,91	100,33366	.	.
,92	110,04333	.	.
,93	121,80766	.	.
,94	136,43931	.	.
,95	155,28390	.	.
,96	180,77518	.	.
,97	217,91776	.	.
,98	279,36533	.	.
,99	413,24209	.	.

**Probit Transformed Responses**