



ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Αριθμ. Πρωτοκ. 499
Ημερομηνία 9-10-13

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ &
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Πτυχιακή διατριβή

**«Καταγραφή φυσικών και χημικών ιδιοτήτων 77 εδαφών
της Ελλάδας»**



ΑΘΑΝΑΣΙΑΔΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

Βόλος 2013

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 12209/1

Ημερ. Εισ.: 12/12/2013

Δωρεά: Συγγραφέα

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ-ΦΠΑΠ

2013

ΑΘΑ

Περίληψη

«Καταγραφή φυσικών και χημικών ιδιοτήτων 73 εδαφών της Ελλάδας»

“Analysis of physical and chemical properties of 73 soil samples from Greece”

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αναλύθηκαν εργαστηριακά 73 δείγματα εδάφους από την περιοχή του Έβρου και τα πρωτογενή αποτελέσματα των αναλύσεων εφαρμόστηκαν σε τρία διαφορετικά εδαφολογικά μοντέλα για τη διεξαγωγή συμβουλών λίπανσης ως προς τα στοιχεία N , P , K στις καλλιέργειες σιταριού και καλαμποκιού. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε σύγκριση του μοντέλου N-WHELM σε σχέση με τ' άλλα δύο μοντέλα (Alberta και Dakota) ως προς την συμβατότητα των αποτελεσμάτων και η ύπαρξη της συσχέτισης του παραπάνω μοντέλου με τις εδαφικές ιδιότητες που κατεγράφησαν στο εργαστήριο. Συγκεκριμένα, για κάθε έδαφος αναλύθηκε το pH, η οργανική ουσία, η μηχανική σύσταση και το ανθρακικό ασβέστιο. Τα πρωτογενή αποτελέσματα εφαρμόστηκαν στα τρία μοντέλα ξεχωριστά όπου και κατεγράφησαν τα αποτελέσματα ως προς τις συμβουλές λίπανσης N , P , K , για κάθε καλλιέργεια. Τέλος πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων σχετικά με την εκτίμηση της ορθότητας των πρωτογενών εργαστηριακών δεδομένων και την σύγκριση των αποτελεσμάτων που προήλθαν από τα τρία μοντέλα σχετικά με τις συμβουλές λίπανσης. Παρατηρήθηκε ότι το N-WHELM, ως προς την καλλιέργεια του σιταριού πρόβλεψε ικανοποιητικά τις δόσεις N και P , καθώς δεν είχε καμία σημαντική διαφορά σε σχέση με τα άλλα δύο μοντέλα. Ωστόσο εμφανίστηκε διαφορά ανάμεσα στα μοντέλα ως προς τη συμβουλή λίπανσης του K . Επιπρόσθετα σχετικά με την καλλιέργεια του καλαμποκιού σημειώθηκαν διαφορές ως προς τις συμβουλές λίπανσης N , P και K . Για την περαιτέρω σύγκριση των μοντέλων έγινε και απλές συσχετίσεις μεταξύ των συμβουλών λίπανσης που προέκυψαν από τα μοντέλα N-WHELM, Alberta και Dakota για το καλαμπόκι και το σιτάρι, οι οποίες επιβεβαίωσαν την εξαιρετική συμφωνία των δύο μοντέλων. Οι συμβουλές λίπανσης του N-WHELM ήταν κατά μέσο όρο κατά πολύ χαμηλότερες από τις «τιμές βάσης» για το N , γεγονός που οδηγεί στην εξοικονόμηση πόρων και για τα περισσότερα εδάφη δεν υπάρχει ανάγκη προσθήκης P και K σε αυτά λόγω της υπολειμματικότητας των στοιχείων.

Πτυχιακή διατριβή που παραδόθηκε στο Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής
Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Αντωνιάδης Βασίλειος

Δημήρκου Ανθούλα

Δαναλάτος Νικόλαος

Λέκτορας

Καθηγήτρια

Καθηγητης

Επιβλέπων

Μέλος

Μέλος

Αφιερώνεται

*Στον συνονόματο και πολυαγαπημένο μου παππού, Αναστάσιο, για τις όμορφες παιδικές
μνήμες που μου χάρισε.*

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει τίτλο «Καταγραφή φυσικών και χημικών ιδιοτήτων 73 εδαφών της Ελλάδας» και εκπονήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών σπουδών του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Κατ' αρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω τον εισηγητή μου κ. Αντωνιάδη Βασίλειο, Λέκτορα Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής Και Αγροτικού Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την πολύτιμη προσφορά γνώσεων και εμπειριών του κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Επίσης, τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, κ. Ανθούλα Δημήτρου, Καθηγήτρια Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής Και Αγροτικού Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και τον κ. Νικόλαο Δαναλάτο, Καθηγητή Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής Και Αγροτικού Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τη συμμετοχή και την κριτική ανάγνωση της παρούσας εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την υποψήφια διδάκτορα Εύα Μπρόζου για την πολύτιμη βοήθεια και την συμπαράστασή της κατά την διάρκεια της συνεργασίας μας αλλά και με το πέρας αυτής.

Επιπροσθέτως θα ήθελα να ευχαριστήσω τους αγρότες της περιοχής του Έβρου, χωρίς την συνεργασία των οποίων δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της διαδικασίας της συλλογής εδαφικών δειγμάτων από την περιοχή.

Ένα, ιδιαίτερα, μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μου Πέτρο και Βασιλεία, που μου έδειξαν αμέριστη συμπαράσταση και πολύτιμη βοήθεια κατά την εκπόνηση της εργασίας μου και που βρέθηκαν πλάι μου σε όλη την διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων. Ωστόσο δεν θα ήθελα να παραλείψω να ευχαριστήσω τους φίλους, εκείνους, που ήταν δίπλα μου κατά τη διάρκεια της φοιτητικής μου ζωής, που μοιραστήκαμε τις αγωνίες και τις χαρές μας.

Τέλος, ευχαριστώ περισσότερο από όλους τους γονείς μου, Θεόδωρο και Γενοβέφα, για την συμπαράσταση τους, την κατανόηση τους και την υπομονή τους σε όλη τη διάρκεια της ζωής μου και ιδιαίτερα στις δύσκολες στιγμές. Είμαι ιδιαίτερα ευγνώμων για όσα μου έχουν προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια και σίγουρα σε αυτούς χρωστάω τα πάντα. Θα ήθελα να τους ευχαριστήσω για όλες τις θυσίες που έχουν κάνει ώστε να μου δώσουν την δυνατότητα να σπουδάσω την γεωπονική επιστήμη.

Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1
1.1 Άζωτο	1
1.1.1. Ο κύκλος του αζώτου	1
1.1.2. Διαθέσιμες μορφές αζώτου	2
1.1.3. Ο ρόλος του αζώτου στη θρέψη των φυτών	3
1.2 Φώσφορος	4
1.2.1. Ο κύκλος του φωσφόρου	4
1.2.3. Ο ρόλος του φωσφόρου στη θρέψη των φυτών	5
1.3 Κάλιο	6
1.3.1. Ο κύκλος του καλίου	6
1.3.2. Δέσμευση καλίου	7
1.3.3. Διαθέσιμες μορφές καλίου	7
1.3.4. Ο ρόλος του καλίου στη θρέψη των φυτών	9
1.4 Λίπανση	10
1.4.1. Σημασία της λίπανσης	10
1.4.2. Αρχές λίπανσης	11
1.4.3. Ορθές λιπαντικές πρακτικές	13
1.4.3.1. Αποτελεσματικότητα λίπανσης	14
1.4.3.2. Εποχή λίπανσης	14
1.4.4. Η κατάσταση στην Ελλάδα	14
1.4.5. Σκοποί της εργασίας	15
Κεφάλαιο 2: Υλικά και μέθοδοι	16
2.1. Πρωτογενή δεδομένα	16
2.1.1. Συλλογή και κατεργασία δειγμάτων	16
2.1.2. pH	16
2.1.3. Οργανική ουσία	17
2.1.4. Μηχανική σύσταση	17
2.1.5. Ανταλλάξιμο κάλιο	18
2.1.6. Φώσφορος εκχυλισμένος κατά Olsen	19
2.1.7. Ανθρακικό ασβέστιο	20

2.2. Δευτερογενή δεδομένα	20
2.2.1. Περιγραφή του μοντέλου N-WHELM	20
2.2.2. Περιγραφή του μοντέλου Alberta	21
2.2.3. Περιγραφή του μοντέλου Dakota	21
2.2.4. Στατιστική ανάλυση δεδομένων	21
Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα και Συζήτηση	23
3.1. Ανάπτυξη του μοντέλου N-WHELM	23
3.1.1. Υπολογισμός αζώτου	23
3.1.2. Υπολογισμός φωσφόρου	26
3.1.3. Υπολογισμός καλίου	30
3.2. Σύγκριση μοντέλων	31
3.3. Συμπεράσματα	35
Βιβλιογραφία	68

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 1.	Συμβουλές λίπανσης αζώτου, φωσφόρου και καλίου για τα 73 εδάφη σύμφωνα με τα μοντέλα N-WHELM, Alberta και Dakota, στις καλλιέργειες καλαμποκιού και σιταριού	36
----------	--	----

Παράρτημα

Πίνακας 1	Στοιχεία προέλευσης των 73 εδαφικών δειγμάτων	37
Πίνακας 2	Ιδιότητες των 73 εδαφών για τις παραμέτρους που αναλύθηκαν	40
Πίνακας 3.	Η ελάχιστη και μέγιστη τιμή, η τυπική απόκλιση, ο μέσος όρος και ο γεωμετρικός μέσος των 10 παραμέτρων των 73 εδαφών	43
Πίνακας 4	Προτάσεις για την αζωτούχο λίπανση σε σχέση με τις παραμέτρους του μοντέλου N-WHELM	44
Πίνακας 5	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των εδαφών ως προς τον φώσφορο.	47
Πίνακας 6	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των εδαφών ως προς το κάλιο.	50
Πίνακας 7	Συμβουλή λίπανσης για την καλλιέργεια του καλαμποκιού για τα 73 εδάφη, για το N, P ₂ O ₅ και K ₂ O σύμφωνα με τα μοντέλα N-WHELM και τα άλλα μοντέλα (Alberta και Dakota).	53
Πίνακας 8	Συμβουλή λίπανσης για την καλλιέργεια του σιταριού για τα 73 εδάφη, για το N, P ₂ O ₅ και K ₂ O σύμφωνα με τα μοντέλα N-WHELM και Dakota.	56
Πίνακας 9	Απλή συσχέτιση όσον αφορά το N για την καλλιέργεια του καλαμποκιού, του σιταριού σύμφωνα με το μοντέλο N-WHELM και Alberta	59
Πίνακας 10	Πολλαπλές συσχετίσεις όσον αφορά το P για την καλλιέργεια του καλαμποκιού σύμφωνα με τα μοντέλα N-WHELM και Dakota.	61
Πίνακας 11	Πολλαπλές συσχετίσεις όσον αφορά το K για την καλλιέργεια του καλαμποκιού σύμφωνα με τα μοντέλα N-WHELM και Dakota.	63
Πίνακας 12	Απλή συσχέτιση μεταξύ των μοντέλων N-WHELM και Alberta ως προς τις συμβουλές λίπανσης του N.	65
Πίνακας 13	Απλή συσχέτιση μεταξύ των μοντέλων N-WHELM και Dakota ως προς τις συμβουλές λίπανσης του P.	66
Πίνακας 14	Απλή συσχέτιση μεταξύ των μοντέλων N-WHELM και Dakota ως προς τις συμβουλές λίπανσης του K.	67

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1. Αζωτο

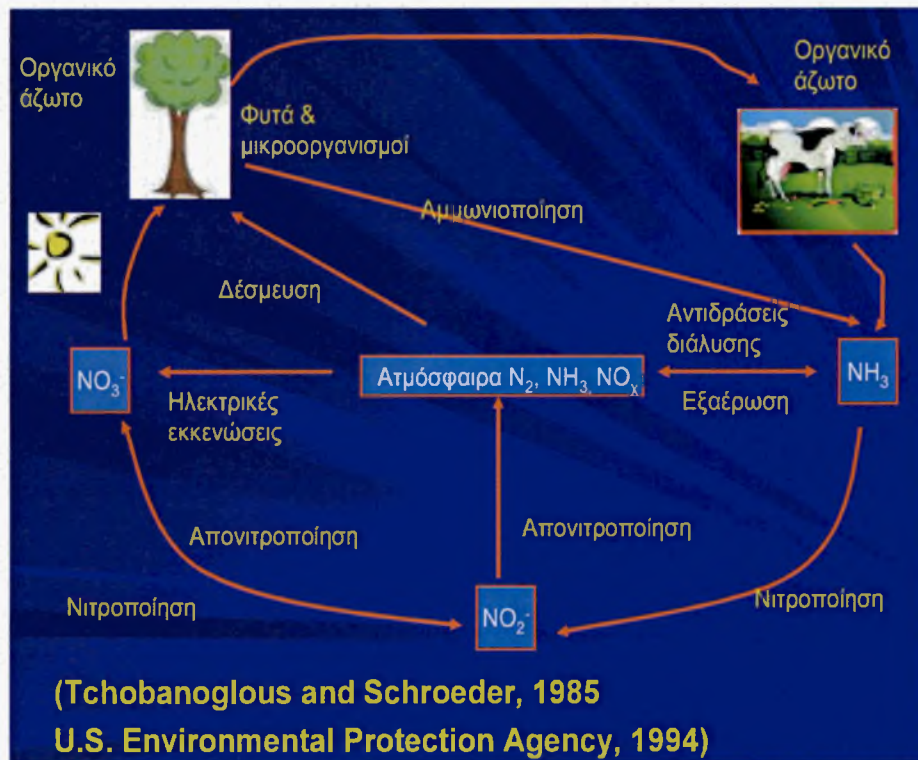
1.1.1. Ο κύκλος του αζώτου

Κύκλος του αζώτου ονομάζεται η κυκλική μεταφορά του αζώτου από την ατμόσφαιρα στους ιστούς των φυτών και των ζώων. Μέσω του κύκλου του αζώτου επιτυγχάνεται η διαδικασία μετατροπής του μοριακού αζώτου της ατμόσφαιρας σε ανόργανη μορφή, κυρίως αμμωνιακή και νιτρική, για να μπορέσει να δεσμευτεί και να χρησιμοποιηθεί στις βιολογικές διαδικασίες. Τα αποθέματα του αζώτου βρίσκονται σε μέγιστο ποσοστό στην ατμόσφαιρα, ωστόσο, η κύρια πηγή αζώτου για τους αυτότροφους οργανισμούς είναι οι ανόργανες μορφές του εδάφους και του νερού. Η βιολογική δέσμευση του αδρανούς ατμοσφαιρικού N (με μορφή N_2) γίνεται από οργανισμούς που είναι είτε συμβιωτικοί είτε μη συμβιωτικοί και περιέχουν τα ένζυμα νιτρογενάση και υδρογενάση. Τα φυτά δεσμεύουν με τη βοήθεια μικροοργανισμών N σε ανόργανη μορφή. Το προσλαμβανόμενο από τους οργανισμούς ανόργανο άζωτο, ενσωματώνεται στις οργανικές ενώσεις εντός των οργανισμών και συμμετέχει στις διεργασίες του μεταβολισμού. Επανέρχεται στο αβιοτικό περιβάλλον είτε ως παραπροϊόν του μεταβολισμού είτε ως οργανική ουσία νεκρών οργανισμών ή τμημάτων οργανισμών. Πολλοί ετερότροφοι οργανισμοί που βρίσκονται στο έδαφος ή στο νερό χρησιμοποιούν αυτό το πλούσιο σε άζωτο οργανικό υπόστρωμα και το μετατρέπουν στην ανόργανη αμμωνιακή μορφή. Η διεργασία αυτή ονομάζεται ανοργανοποίηση.

Στο έδαφος ή στο νερό η ανόργανη αμμωνιακή μορφή μετατρέπεται σε νιτρική. Η διαδικασία η οποία ονομάζεται νιτροποίηση, γίνεται από εξειδικευμένους οργανισμούς και συμβαίνει σε δύο φάσεις: τη μετατροπή της αμμωνιακής μορφής σε νιτρώδη $NH_4^+ \rightarrow NO_2^-$, με τη δράση του βακτηρίου *Nitrosomonas* και τη μετατροπή της νιτρώδους ρίζας σε νιτρική $NH_2^- \rightarrow NO_3^-$ με τη δράση του βακτηρίου *Nitrobacter*. Η συνολική αντίδραση νιτροποίησης αμμωνιακού N γράφεται:

$NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + H_2O$. Οι οργανισμοί οι οποίοι προκαλούν τη νιτροποίηση είναι χημειοσυνθετικοί αυτότροφοι και χρησιμοποιούν την ενέργεια της οξειδωσης. Τα νιτρικά ιόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από όλα τα φυτά αμέσως.

Για τα νιτρικά άλατα που παραμένουν στο έδαφος υπάρχει και η οδός της απονιτροποίησης σε οξειδία του αζώτου NO_x ($x=0,5, 1$ και 2) και τελικά σε N_2 . Η απονιτροποίηση πραγματοποιείται με τη βοήθεια βακτηρίων, π.χ. του γένους *Pseudomonas* κυρίως σε αναερόβιες συνθήκες.



Εικόνα 1. Απεικόνιση του κύκλου του αζώτου.

1.1.2. Διαθέσιμες μορφές αζώτου

Το άζωτο εμφανίζεται σε ανόργανη και οργανική μορφή στο έδαφος. Οι ανόργανες μορφές του αζώτου του εδάφους περιλαμβάνουν τα αέρια: μοριακό άζωτο (N_2), υποξείδιο αζώτου (N_2O), μονοξείδιο αζώτου (NO), διοξείδιο αζώτου (NO_2), αμμωνία (NH_3) και τα ιόντα: νιτρικό (NO_3^-), νιτρώδες (NO_2^-) και αμμώνιο (NH_4^+).

Τα τρία πρώτα οξείδια βρίσκονται σε πολύ μικρές ποσότητες στον εδαφικό αέρα. Το NH_4^+ ιόν βρίσκεται τόσο στο εδαφικό διάλυμα, όσο και ως ανταλλάξιμο ή δεσμευμένο ιόν στα εδαφικά κolloειδή. Τα νιτρικά και νιτρώδη ιόντα υπάρχουν στο εδαφικό διάλυμα, καθώς και στο σώμα των φυτών όπου ταχέως ανάγονται σε NH_4^+ .

Ως προς τη γονιμότητα του εδάφους, τα ιόντα NH_4^+ και NO_3^- είναι τα πιο σπουδαία. Παράγονται από την αποσύνθεση (ανοργανοποίηση) της οργανικής ουσίας του εδάφους) ή προστίθενται με αζωτούχα λιπάσματα. Οι δύο αυτές μορφές αζώτου αποτελούν συνήθως το 2-3% του ολικού αζώτου του εδάφους. Τα αέρια αποτελούν μορφές αζώτου που χάνονται με την απονιτροποίηση.

Ως προς την οργανική μορφή του αζώτου του εδάφους, το άζωτο υπάρχει με τη μορφή των πρωτεϊνών, αμινοξέων και άλλων πολύπλοκων αζωτούχων ενώσεων. Η αναλογία του ολικού εδαφικού αζώτου σε αυτά τα διάφορα κλάσματα είναι: αμινοξέα 20-40%, αμινοσάκχαρα 5-10% και παράγωγα πουρίνης και πυριμιδίνης 1% ή λιγότερο. Ελάχιστα είναι γνωστά για τη χημική φύση του υπόλοιπου 50% του οργανικού αζώτου, που δεν υπάρχει στα κλάσματα αυτά, καθώς δύσκολες ταυτοποιήσιμες χουμικές ενώσεις.

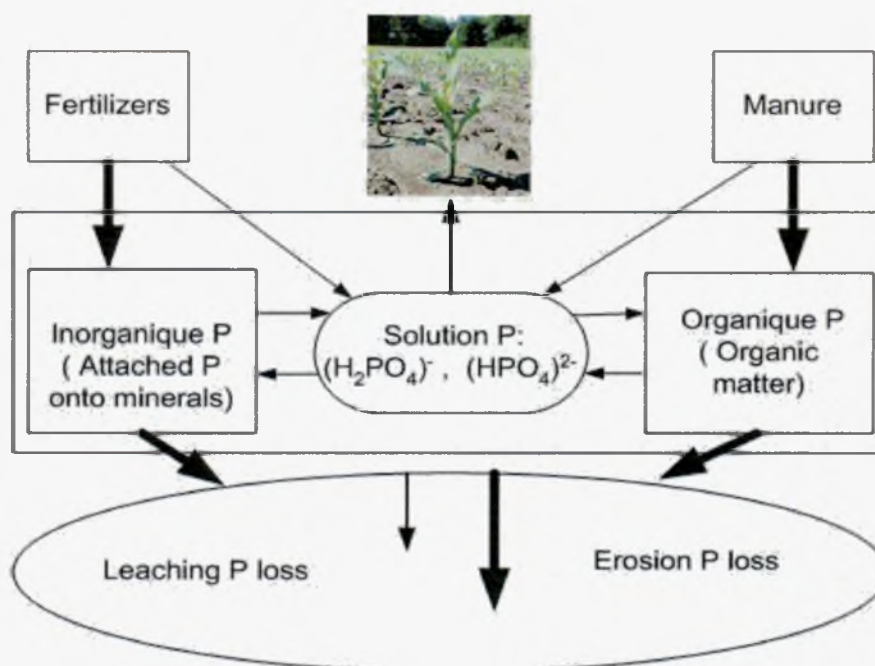
1.1.3. Ο ρόλος του αζώτου στη θρέψη των φυτών

Το άζωτο αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα στοιχεία για τους φυτικούς οργανισμούς και είναι το τέταρτο σε περιεκτικότητα στοιχείο στα φυτά μετά το C, H και O. Είναι απαραίτητο για τον σχηματισμό αμινοξέων, πρωτεϊνών και πολλών άλλων οργανικών ενώσεων που αποτελούν το 40-50% της ξηράς ουσίας του πρωτοπλάσματος. Το ίδιο το N αποτελεί το 0,5-4% των φυτών, συνεπώς το άζωτο είναι απαραίτητο για τη φυσιολογική λειτουργία του φυτού επειδή είναι: α) συστατικό της χλωροφύλλης β) συστατικό των αμινοξέων (δηλαδή των πρωτεϊνών), γ) απαραίτητο στο μεταβολισμό των υδατανθράκων (σάκχαρα), δ) συστατικό πολλών ενζύμων, ε) υποβοηθάει την πρόληψη άλλων θρεπτικών στοιχείων και στ) διεγείρει την ανάπτυξη και τη λειτουργία των ριζών των φυτών.

Οι αζωτούχες ενώσεις μεταφέρονται στα σημεία όπου τα φυτά παρουσιάζει έντονη κυτταροδιαίρεση και αυτός είναι και ο λόγος που τα συμπτώματα έλλειψης του αζώτου παρατηρούνται στα παλαιότερα φύλλα των φυτών και σχεδόν πάντα στις κορυφές των βλαστών. Συγκεκριμένα, η τροφοπενία αζώτου χαρακτηρίζεται από άτυπες χλωρώσεις και κιτρινίσματα, στα κατώτερα φύλλα. Χαρακτηριστικά επίσης συμπτώματα της τροφοπενίας αζώτου είναι τα κιτρινίσματα στις νευρώσεις των φύλλων και η καχεκτική ανάπτυξη των βλαστών. Οι μεγάλες ποσότητες αζώτου στο φυτό δεν είναι τοξικές, εκτός αν χορηγηθεί διαλυτό άλας του στοιχείου σε μεγάλη συγκέντρωση κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Τέλος η υπερβολική αζωτούχος λίπανση ενδέχεται να επιτείνει τα συμπτώματα άλλων τροφοπενιών, όπως για παράδειγμα της τροφοπενίας καλίου.

1.2. Φώσφορος

1.2.1. Ο κύκλος του φωσφόρου



Εικόνα 2. Σχηματική αναπαράσταση του κύκλου του φωσφόρου στο έδαφος.

Στο έδαφος ο φώσφορος συναντάται σε διάφορες μορφές. Μπορεί να είναι μέρος οργανικών ή ανόργανων ενώσεων. Επιπλέον, η σύσταση των χημικών ενώσεων που περιέχουν φώσφορο αλλάζει στο έδαφος. Η διαθεσιμότητα του εδαφικού φωσφόρου στα φυτά εξαρτάται από τις αντιδράσεις των διαφορετικών χημικών μορφών του φωσφόρου στο έδαφος. Η εισροή φωσφόρου στο έδαφος γίνεται κατά κύριο λόγο από την εφαρμογή φωσφορικών λιπασμάτων και οργανικών πηγών οι οποίες περιέχουν φώσφορο, όπως η κοπριά. Μικρότερες ποσότητες μπορούν να προστεθούν λόγω της απόθεσης από την ατμόσφαιρα και της διεργασίας της ιζηματογένεσης. Ο εδαφικός φώσφορος μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρεις μορφές: διαλυτός ασταθής και σταθερός φώσφορος. Σε γενικές γραμμές ο κύκλος του φωσφόρου μπορεί να απλοποιηθεί στην εξής σχέση: Διαλυτός φώσφορος, ασταθής φώσφορος και σταθερός φώσφορος.

Η κατηγορία του διαλυτού φωσφόρου καταλαμβάνει ένα πολύ μικρό ποσοστό του συνολικού φωσφόρου στο έδαφος, αλλά είναι το κλάσμα που μπορεί να απορροφηθεί από τα

φυτά. Ο βιολογικά δεσμευμένος φώσφορος στους ιστούς των φυτών και των ζώων, μετά την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου τους, επιστρέφει στο έδαφος μέσω της διαδικασίας της αποσύνθεσης από τους μικροοργανισμούς. Σε περίπτωση μεταφοράς του με την επιφανειακή απορροή των υδάτων, μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του πληθυσμού των υδρόβιων οργανισμών.

Ο ευκίνητος (**labile**) εδαφικός φώσφορος εμφανίζεται σε μεγαλύτερες ποσότητες σε σύγκριση με τον διαλυτό, αλλά εξακολουθεί να είναι μόνο ένα μικρό κλάσμα του συνόλου του εδαφικού φωσφόρου. Ο ασταθής φώσφορος δεν δεσμεύεται εύκολα από το έδαφος και μπορεί να μεταβεί στη διαλυτή φάση σχετικά γρήγορα ως αναπληρωτής του διαλυτού φωσφόρου. Ένα μέρος του όμως συγκρατείται ισχυρά από την άργιλο του εδάφους και έτσι ένα ποσοστό από το φώσφορο παραμένει και στο έδαφος.

Τέλος, ο **δυσκίνητος (non labile) φώσφορος** βρίσκεται σε μη διαθέσιμη μορφή για τα φυτά και αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του εδαφικού φωσφόρου. Όπως συμβαίνει με τα περισσότερα θρεπτικά στοιχεία, κατά την κυκλική αυτή διαδικασία λαμβάνει χώρα η έκπλυση, δηλαδή ο φώσφορος μεταφέρεται από την ξηρά στη θάλασσα και χάνεται από τα χερσαία οικοσυστήματα. Η βαθμιαία απώλεια του φωσφόρου από τα οικοσυστήματα αντισταθμίζεται πολύ αργά στη φύση με την απελευθέρωση του στοιχείου από τα φωσφορικά πετρώματα με χημικές αντιδράσεις που τον μετατρέπουν τελικά σε ασταθή και διαλυτό φώσφορο. Αυτό πραγματοποιείται, κατά κύριο λόγο, με τη διαδικασία της διάβρωσης και της αποσάθρωσης και αυξάνεται με την ηφαιστειακή δράση. Ο οργανικός φώσφορος μέσω των διεργασιών της ανοργανοποίησης και ακινητοποίησης που είναι παρόμοιες με αυτές του κύκλου του αζώτου μετατρέπεται στην ανόργανη μορφή $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} .

1.2.3. Ο ρόλος του φωσφόρου στη θρέψη των φυτών

Ο φώσφορος είναι από τα σημαντικότερα θρεπτικά στοιχεία στην γεωργία. Η χρήση του φωσφόρου έχει αυξηθεί δραματικά τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της απαίτησής του από τις καλλιέργειες. Είναι απαραίτητος σε σημαντικές λειτουργίες των φυτών, με σημαντικότερη την αποθήκευση και τη μεταφορά ενέργειας στο φυτό. Οι ενώσεις adenosine diphosphate (ADP) και adenosine triphosphate (ATP) είναι φωσφορικές ενώσεις και περιέχουν υψηλές ποσότητες ενέργειας, ενώ ελέγχουν και τις περισσότερες διεργασίες στα φυτά, συμπεριλαμβανομένου της φωτοσύνθεσης, της αναπνοής, της πρωτεϊνοσύνθεσης, της

σύνθεσης νουκλεϊκών οξέων και της μεταφοράς των θρεπτικών ουσιών μέσω των κυττάρων του φυτού. Επίσης ο φώσφορος συμβάλει στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος του φυτού και βοηθά στην ενδυνάμωση του μίσχου.

Ωστόσο παρά τα προφανή οφέλη που αποφέρει ο φώσφορος στα φυτά, μπορεί εύκολα να γίνει ρύπος. Η κυριότερη ανησυχία είναι μετακίνηση του από το έδαφος σε ποτάμια, λίμνες, ρέματα και τελικά στις θάλασσες και στους ωκεανούς. Συνέπεια της διαφυγής του σε υδάτινους πόρους είναι η όξυνση του φαινομένου του ευτροφισμού, δηλαδή του εμπλουτισμού του δέκτη που οδηγεί σε υπερμεγέθη αύξηση των άλγων και μείωση του διαλυμένου οξυγόνου, γεγονός που οδηγεί στον θάνατο της πανίδας του υδάτινου αποδέκτη.

1.3. Κάλιο

1.3.1. Ο κύκλος του καλίου

Το κάλιο αποτελεί το 2,4% του στερεού φλοιού της γης και βρίσκεται στα ορυκτά μοσχοβίτης, βιοτίτης και άλλα πρωτογενή ορυκτά όπως άστριοι. Η περιεκτικότητα σε κάλιο των παραπάνω ορυκτών ακολουθεί τη σειρά: Βιοτίτης > Μοσχοβίτης > Άστριοι. Τα παραπάνω αποτελούν πρωτογενή ορυκτά, στο έδαφος όμως το κάλιο υπάρχει και σε δευτερογενή ορυκτά της αργίλου, όπως βερμικουλίτης και χλωρίτης. Το κάλιο που απελευθερώνεται από τα ορυκτά α) χάνεται με έκπλυση, β) χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς, γ) συγκρατείται στην εναλλακτική φάση του εδάφους ή δ) μετατρέπεται σε διαθέσιμη μορφή.

Πίνακας 1. Ορυκτά που περιέχουν *K* και η % περιεκτικότητά τους σε K_2O και *K*.

Ορυκτό	$K_2O\%$	<i>K</i> %
Συλβίτης KCl	63,17	52,44
Καρναλίτης $KCl.Mg Cl_2$	16,95	14,07
Πολυαλίτης $K_2SO_4.MgSO_4.2CaSO_4.2H_2O$	-	-
Λεονίτης $K_2SO_4.MgSO_4.4H_2O$	23,39	19,42
Νιτρικό κάλιο KNO_3	46,5	38,6
Συλβινίτης $KCl + NaCl$	10-35	8-29

Το Κ στο έδαφος βρίσκεται ως α) ευκόλως διαθέσιμη (υδατοδιαλυτή και ανταλλάξιμη) μορφή (0,1-2%), β) λίγο διαθέσιμη (ενδοστοιβαδικό στα φυλλόμορφα ορυκτά) (1-10%) και γ) μη διαθέσιμη (90-98%). Το μη διαθέσιμο Κ αποτελεί μέρος της κρυσταλλικής δομής των πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών της αργίλου. Το βραδέως διαθέσιμο (όπως αυτό στον ιλλίτη) δεν εκχυλίζεται με διεργασίες που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του εναλλακτικού Κ.

1.3.2. Δέσμευση καλίου

Το K^+ δεσμεύεται στον ενδοστοιβαδικό χώρο στα 2:1 ορυκτά της αργίλου και κυρίως στον ιλλίτη. Στον ίδιο χώρο μπορεί να δεσμευτεί NH_4^+ . Η παρουσία του NH_4^+ επηρεάζει τη δέσμευση ή απελευθέρωση του Κ, καθώς η παρουσία Κ μπλοκάρει την απελευθέρωση του δεσμευμένου NH_4^+ . Τα 2:1 ορυκτά τύπου μπεντονίτη συστέλλονται όταν στεγνώσουν και διαστέλλονται (διογκώνονται) όταν υγραίνονται (όχι όμως συγχρόνως σε όλα τα στρώματα). Έτσι το δεσμευμένο Κ δεν απελευθερώνεται όλο μαζί μετά από ενυδάτωση.

Αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει τη συγκέντρωση του ανταλλάξιμου Κ. Επίσης η αύξηση του pH από την τιμή 4,5 σε 6,5 μειώνει την απώλεια Κ με έπλυση. Η δέσμευση Κ ασκεί και τις εξής ευνοϊκές επιδράσεις:

1) Μείωση των απωλειών Κ με έκπλυση σε αμμώδη εδάφη.

2) Το δεσμευμένο Κ γίνεται διαθέσιμο βραδέως, με την πάροδο του χρόνου. Συνεχής προσθήκη Κ μειώνει τη δεσμευτική ικανότητα του εδάφους και αυξάνει το Κ στο διάλυμα και την εναλλακτική φάση, με συνέπεια την αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών. Ο κύκλος του Κ είναι ανοιχτός και μεγάλα ποσά Κ χάνονται κάθε χρόνο στους ωκεανούς.

1.3.3. Διαθέσιμες μορφές καλίου

Στο έδαφος υπάρχουν αποθέματα καλίου σε μεγάλες ποσότητες στα ορυκτά της αργίλου, ιδιαίτερα στα βαριάς συστάσεως εδάφη (αργιλώδη εδάφη). Η ποσότητα του ανταλλαξιμού καλίου είναι μεταξύ 10 και 100 φορές μεγαλύτερη από τη ποσότητα του καλίου στο εδαφικό διάλυμα. Έτσι η ποσότητα του καλίου στο εδαφικό διάλυμα ρυθμίζεται από το ανταλλάξιμο κάλιο.

Τα ανταλλάξιμο κάλιο που αποδεσμεύεται με βραδείς ρυθμούς (συγκρατείται από τις ακμές του ιλλίτη) και έχει ιδιότητες μεταξύ του ανταλλαξιμου καλίου και του ενδοστοιβαδικού καλίου (μη ανταλλάξιμο κάλιο).

Η ποσότητα του καλίου που αποδεσμεύεται από τα ορυκτά και προσλαμβάνεται από τα φυτά εξαρτάται από το είδος των ορυκτών, από την αποσάθρωση των ορυκτών, το είδος των φυτών και από το στάδιο ανάπτυξης των φυτών.

Η διαθεσιμότητα του καλίου εκφράζει την ικανότητα του εδάφους να εφοδιάζει τα φυτά με K^+ κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Διαθέσιμο κάλιο είναι η ποσότητα του καλίου που προσλαμβάνεται από τις ρίζες των φυτών. Η ποσότητα αυτή εξαρτάται από την ποσότητα του καλίου στο εδαφικό διάλυμα, από την ποσότητα του ανταλλαξιμου καλίου, από την ποσότητα του ανταλλαξιμου καλίου που αποδεσμεύεται με αργούς ρυθμούς και από τη δεκτικότητα (πρόσληψη) του καλίου από τις ρίζες των φυτών.

Με τον όρο διαθέσιμο κάλιο εννοείται η ποσότητα του καλίου που εκχυλίζεται από το έδαφος με τη χρήση συνηθισμένων χημικών ενώσεων. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται. Όλες οι χημικές ενώσεις εκχυλίζουν ανταλλάξιμο κάλιο και υδατοδιαλυτό κάλιο μαζί με ποικίλες ποσότητες από ανταλλάξιμο κάλιο που αποδεσμεύεται με αργούς ρυθμούς.

Στον όρο δεκτικότητα του καλίου από τις ρίζες διακρίνονται δύο πλευρές:

- υπάρχουν φυσικά εμπόδια στην ανάπτυξη των ριζών όπως η ζώνη άρωσης και η περιοδική εμφάνιση πλημμυρικών συνθηκών στο έδαφος ή συνθηκών κορεσμού του εδάφους με νερό.
- η κανονική κατανομή του ριζικού συστήματος σημαίνει ότι το K^+ πρέπει να κινηθεί διαμέσου του εδάφους στην επιφάνεια των ριζών. Αυτό απαιτεί χρόνο και επομένως η δεκτικότητα αυτή εξαρτάται από την πυκνότητα του ριζικού συστήματος, από την ευκολία κίνησης του καλίου διαμέσου του εδάφους και από την περίοδο ανάπτυξης των φυτών. Η πρόσληψη του καλίου από τις ρίζες των φυτών περιορίζεται σημαντικά όταν το έδαφος είναι ξηρό, επειδή είναι απαραίτητη η ύπαρξη επαρκούς ποσότητας ύδατος για να κινηθεί το κάλιο με ευκολία. Σε πολύ συμπαγή εδάφη, οι ρίζες είναι μακριά από το έδαφος με αποτέλεσμα να εμποδίζεται σημαντικά η πρόσληψη του καλίου από τις ρίζες. Η πρόσληψη όμως του φωσφόρου από τις ρίζες αποτελεί ένα μεγάλο πρόβλημα διότι ο φώσφορος κινείται με αργούς ρυθμούς στο έδαφος.

1.3.4. Ο ρόλος του καλίου στη θρέψη των φυτών

Το κάλιο απορροφάται από τα φυτά σχεδόν περισσότερο από όλα τα θρεπτικά στοιχεία εκτός από το *N*. Η πρόσληψη της μεγαλύτερης ποσότητας *K* που θα χρειαστεί ένα φυτό, πραγματοποιείται κατά τον πρώτο μισό κύκλο ανάπτυξής του και σε συγκεκριμένες περιόδους, όπως η άνθηση ή η ανάπτυξη καρπών, η απορρόφηση καλίου είναι εντονότερη.

Η πρόσληψη *K* από το φυτό μέσω των ριζών πραγματοποιείται κυρίως μέσω διάχυσης του εδαφικού διαλύματος και εξαρτάται από τη στάθμη οξυγόνου στο έδαφος και από την παρουσία ιόντων που διευκολύνουν την είσοδό του στις ρίζες. Μετά την είσοδό του στο φυτό, το *K* κινείται μέσω του εσωτερικού των πλασματικών μεμβρανών προς τα ανώτερα μέρη. Οι κυτταρικές μεμβράνες είναι εύκολα διαπερατές για το κάλιο γι' αυτό και η κίνησή του στο φυτό είναι εύκολη. Η μετακίνηση του K^+ μέσα στους βλαστούς καθορίζεται από τη ροή νερού που αποβάλλεται κατά τη διαπνοή και από τη συγκέντρωση του K^+ , διότι ελαφρά έλλειψη του καλίου ενεργοποιεί τις διαδικασίες διάχυσής του στους φυτικούς ιστούς.

Τα ιόντα K^+ προσδένονται πάνω σε διάφορα ένζυμα, μεταβάλλουν το σχηματισμό τους και τα ενεργοποιούν. Το *K* είναι απαραίτητο σε όλες τις μεταβολικές διεργασίες του κυττάρου. Συγκεκριμένα, συμμετέχει στην ενεργοποίηση ενζύμων σε λειτουργίες όπως η αναπνοή, η σύνθεση πρωτεϊνών και η φωτοσύνθεση. Επίσης, είναι το πιο σημαντικό ιόν που συμμετέχει σε ωσμωτικές διεργασίες και μπορεί να σταθεροποιήσει τη στοματική κίνηση και τον φωτοτροπισμό των οργάνων. Το κάλιο δρα ουσιαστικά στη σταθεροποίηση και τη μεταφορά φορτίου στο κύτταρο και ακόμη επηρεάζει ιδιαίτερα τη μεταφορά H^+ στα διάφορα όργανα του κυττάρου κι έτσι λειτουργεί και ως σταθεροποιητής του pH του κυτοπλάσματος.

Σε συνθήκες έλλειψης *K* στο φυτό, η ανάπτυξη του φυτού επιβραδύνεται, η φυλλική επιφάνεια μειώνεται και περιορίζεται η φωτοσύνθεση, κάτι που οδηγεί σε μικρότερη παραγωγή βιομάζας, η οποία είναι εντονότερη στους καρπούς. Σε συνθήκες μεγαλύτερης έλλειψης, τα φυτά συσσωρεύουν βασικές αμίνες (π.χ. αργινίνη), οι οποίες υποκαθιστούν το *K* στη σταθεροποίηση φορτίου και οι βλαστοί αρχίζουν να κιτρινίζουν και σταδιακά μαραίνονται. Το *K* μετακινείται από τα παλαιότερα στα νεότερα φύλλα κι έτσι τα πρώτα εμφανίζουν συμπτώματα χλώρωσης και νέκρωσης. Επίσης, όταν η έλλειψη καλίου είναι εκτεταμένη, τα μιτοχόνδρια και οι χλωροπλάστες καταρρέουν, η ενεργειακή κατάσταση του φυτού υποβαθμίζεται και οι συνθετικές διεργασίες που απαιτούν ενέργεια υπολειπονται. Έτσι η ανάπτυξη του φυτού σταματά και το φυτό νεκρώνεται.

Οι περιπτώσεις υπεραφθονίας καλίου είναι σπάνιες, καθώς η πρόσληψη K^+ ελέγχεται από το φυτό. Παρόλα αυτά, αν υπάρχει αφθονία K στο φυτό, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την επιβράδυνση της ανάπτυξης. Κι αυτό, διότι το K^+ δρα ανταγωνιστικά προς κάποια άλλα κατιόντα, όπως το Na^+ , το Mg^{2+} και το Ca^{2+} , και περιορίζει την πρόσληψή τους από το φυτό.

Το κάλιο συσσωρεύεται κυρίως στο κυτταρόπλασμα και στα χυμοτόπια των κυττάρων αλλά η συγκέντρωσή του στο κυτταρόπλασμα τείνει να είναι σταθερή υπό οποιεσδήποτε συνθήκες. Έτσι, βρίσκεται σε όλα τα μέρη του φυτού αλλά κυρίως στα νεαρά φύλλα, τις νεαρές ρίζες ή τα φρέσκα φρούτα. Σε υγιή πλήρως ανεπτυγμένα φύλλα η συγκέντρωση του K κυμαίνεται από 1,5-4% επί βάσης ξηρού.

1.4. Λίπανση

1.4.1. Σημασία

Η πλούσια λίπανση του επιφανειακού εδάφους και οι καλλιεργητικές εργασίες παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, καθώς και του υπέργειου τμήματος. Η χορήγηση του λιπάσματος σε λωρίδες, σε φτωχά εδάφη, προάγει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος στη ζώνη που λιπάνθηκε. Η αύξηση της συγκέντρωσης P και N προάγει την κυτταροδιαίρεση, την τάνυση και τη διακλάδωση του ριζικού συστήματος. Τα φυτά απορροφούν θρεπτικά στοιχεία μόνο από περιοχές όπου το ριζικό σύστημα είναι ενεργό και όχι από ξηρές. Έτσι ριζικό σύστημα που είναι αβαθές, λόγω επιφανειακής χορήγησης λιπασμάτων, είναι ευπαθές σε περιόδους ξηρασίας. Τα λιγότερο ευκίνητα στοιχεία συγκεντρώνονται στο αροτριάιο στρώμα του εδάφους. Επειδή η απορρόφηση των περισσότερων θρεπτικών στοιχείων είναι ενεργητική, η ταχεία απορρόφηση τους (αερόβιος αναπνοή) μπορεί προσωρινά να μειώσει τη συγκέντρωση O_2 στο έδαφος. Έτσι κατά τη λίπανση είναι απαραίτητη η γνώση της φυσιολογίας των φυτών, και της χημείας των λιπασμάτων και του εδάφους.

Ο πιο σημαντικός παράγοντας για προσδιορισμό της ποσότητας λιπάσματος και του τρόπου λίπανσης, είναι το ποσό των θρεπτικών στοιχείων που αφαιρούνται από μια καλλιέργεια. Η ανάλυση εδάφους και φυτών και η εμφάνιση των φυτών μπορεί να καθορίσουν την ικανότητα του εδάφους να εφοδιάζει με θρεπτικά στοιχεία. Επίσης η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους, μερικές φυσικές ιδιότητες, που επηρεάζουν

την κίνηση του νερού στο έδαφος και κλιματικοί παράγοντες, επηρεάζουν τη θέση τοποθέτησης του λιπάσματος.

Η αποτελεσματικότητα της λίπανσης επηρεάζεται από τη θέση όπου τοποθετείται το λίπασμα, σε σχέση με το φυτό. Η θέση και ο τρόπος τοποθέτησης του λιπάσματος έχει μεγάλη σημασία για τους παρακάτω λόγους:

1. Εξασφάλιση αποτελεσματικής απορρόφησης των θρεπτικών στοιχείων από τη φύτευση του φυτού ως την ωρίμανση. Η χορήγηση του λιπάσματος δεν προϋποθέτει ότι οπωσδήποτε θα απορροφηθεί από τα φυτά. Έτσι, πρέπει μικρό μέρος του λιπάσματος να τοποθετηθεί πλησίον των ριζών και η μεγαλύτερη ποσότητα του βαθύτερα στο έδαφος, όπου υπάρχει υγρασία το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου.

2. Αποφυγή τοξικότητας από υψηλή συγκέντρωση λιπασμάτων. Τα στοιχεία *N*, *P*, *K* σε μεγάλη συγκέντρωση κοντά στο φυτό μπορεί να δράσουν τοξικά.

3. Τα λιπάσματα πρέπει να χορηγούνται κατά τρόπο που εξασφαλίζει οικονομία εργατικών και ταχύτητα εφαρμογής. Χορήγηση μεγάλων ποσοτήτων λιπάσματος μπορεί να μην εξασφαλίσει μέγιστη απόδοση αν αυτό τοποθετείται κοντά στα φυτά, λόγω των τοξικών επιδράσεων.

1.4.2. Αρχές λίπανσης

Σκοπός της ορθολογιστικής λίπανσης είναι ο εφοδιασμός των απαραίτητων ποσοτήτων θρεπτικών στοιχείων που δίνουν την άριστη απόδοση, η οποία αποτελεί και την αποτελεσματική χρησιμοποίηση των λιπασμάτων.

Η ποσότητα του λιπάσματος που αφαιρείται από το έδαφος εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

α. Μέγεθος παραγωγής: όσο μεγαλύτερη είναι η παραγωγή τόσο μεγαλύτερη ποσότητα λιπάσματος χορηγείται στο έδαφος.

β. Ποικιλία: Οι ποικιλίες χαρακτηρίζονται από διαφορετική ικανότητα πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων.

γ. Μορφολογία ρίζας: Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η ταχύτητα και η έκταση ανάπτυξης του ριζικού συστήματος.

δ. Γονιμότητα εδάφους: Αυτή καθορίζει την ποσότητα των διαθέσιμων θρεπτικών στοιχείων.

ε. Ιδιότητες του εδάφους: Το pH του εδάφους επηρεάζει τη διαλυτοποίηση των ορυκτών και αυξάνει ή μειώνει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων. Επίσης σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η μηχανική σύσταση του εδάφους.

στ. Βροχόπτωση και θερμοκρασία: Επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων.

ζ. Αρδευση: Ρυθμίζει το οξειδοαναγωγικό δυναμικό και τη θερμοκρασία του εδάφους.

η. Οργάνωση γεωργικής επιχείρησης: Η άριστη οργάνωση της επιχείρησης συνεπάγεται μεγαλύτερη απόδοση για την ίδια ποσότητα λιπάσματος.

Επίσης, όταν όλοι οι παράγοντες είναι στο άριστο επίπεδο, επιτυγχάνεται μεγάλη απόδοση με περιορισμένη λίπανση. Ο τρόπος συγκομιδής καθορίζει τα ποσά των θρεπτικών στοιχείων που αφαιρούνται από το χωράφι. Σε καλλιέργειες από τις οποίες συγκομίζεται μόνο ο καρπός πολύ λιγότερες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων αφαιρούνται, σε σύγκριση με την περίπτωση όπου γίνεται συγκομιδή όλου του υπέργειου τμήματος. Έτσι, σε καλλιέργειες χορτοδοτικών ψυχανθών, όπως η μηδική, αφαιρείται 6 φορές περισσότερο *K* και *P*.

Οι ανάγκες σε θρεπτικά στοιχεία κυμαίνονται στα διάφορα στάδια αύξησης και ανάπτυξης των καλλιεργειών. Η αύξηση και η εμφάνιση του υπέργειου τμήματος των φυτών ποικίλλει από το ένα φυτικό είδος στο άλλο, ακόμη ανάλογα και με το περιβάλλον. Επίσης το ριζικό σύστημα ποικίλλει στην ταχύτητα και στην έκταση ανάπτυξης. Η γνώση της μορφολογίας και του τρόπου ανάπτυξης του ριζικού συστήματος βοηθά στον καθορισμό της πιο αποτελεσματικής μεθόδου τοποθέτησης του λιπάσματος. Έτσι αν αναπτύσσεται γρήγορα το πλάγιο ριζικό σύστημα, τότε η πλευρική τοποθέτηση του λιπάσματος είναι η ενδεδειγμένη.

Η σχετική απορρόφηση κατιόντων ή ανιόντων από τη ρίζα καθορίζει αν η ρίζα θα απελευθερώσει ιόντα H^+ ή HCO_3^- . Αν π.χ. το φυτό απορροφά περισσότερα mol NH_4^+ από ότι NO_3^- , η ρίζα αποβάλλει H^+ που κάνει το έδαφος πιο όξινο. Αντίθετα, με απορρόφηση περισσότερων mol NO_3^- από ότι NH_4^+ , η ρίζα αποβάλλει HCO_3^- και το έδαφος γίνεται πιο αλκαλικό. Οι μεταβολές αυτές του pH στη ριζόσφαιρα επηρεάζουν τη διαλυτότητα στοιχείων όπως *P*, *B*, *Zn* και *Mn*. Επίσης το ριζικό σύστημα μερικών φυτών φέρει μυκόρριζες που αυξάνουν τη διαθεσιμότητα μερικών στοιχείων, όπως *P* και *Zn*. Δυσμενή χαρακτηριστικά του εδάφους όπως η παρουσία σκληρών στρωμάτων, περιορίζουν την ανάπτυξη του ριζικού

συστήματος. Επίσης άλλοι παράγοντες όπως η οργανική ουσία, η οξύτητα του εδάφους, και η περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία, ρυθμίζουν την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος.

1.4.3. Ορθές λιπαντικές πρακτικές

Τα προβλήματα της υπερλίπανσης μπορούν να αποφευχθούν με ορθολογιστική λίπανση, η οποία είναι συνάρτηση του είδους της καλλιέργειας και μπορεί να εξασφαλιστεί με τους εξής τρόπους:

1. Καθορισμός των λιπαντικών αναγκών των καλλιεργειών με τη βοήθεια της φυλλοδιαγνωστικής και εδαφικής ανάλυσης.

2. Επιλογή της εποχής λίπανσης, με χορήγηση της μέγιστης ποσότητας την περίοδο που παρατηρείται μέγιστη ανάγκη της καλλιέργειας.

3. Επιλογή του είδους του λιπάσματος.

4. Θέση τοποθέτησης του λιπάσματος, σε σχέση με την περιοχή ανάπτυξης του ριζικού συστήματος.

5. Μείωση της διαθέσιμης ποσότητας λιπάσματος στο εδαφικό διάλυμα με χρήση:

α. Αναστολέων νιτροποίησης, που διατηρούν το NH_4^+ μεγαλύτερο χρόνο στα κολλοειδή του εδάφους και μειώνουν τις απώλειες νιτροποίησης.

β. Λιπάσματα βραδείας απελευθέρωσης των θρεπτικών στοιχείων και χρήση λιπασμάτων για ειδικές απαιτήσεις των καλλιεργειών. Τα λιπάσματα βραδείας απελευθέρωσης παρέχουν ένα νέο μέσο ρύθμισης της διαθεσιμότητας των ανόργανων στοιχείων και εξασφάλισης επαρκούς θρέψης, για μακρά σχετικά περίοδο. Επίσης με τα λιπάσματα αυτά η συχνότητα εφαρμογής μπορεί να μειωθεί στο 50% σε σχέση με τα υδατοδιαλυτά λιπάσματα, χωρίς να ελαττωθεί η αύξηση και χωρίς να επηρεαστεί η ποιότητα παραγωγής.

6. Χρήση αποτελεσματικών γενοτύπων, έχει μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης και χρήσης των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων. Ως αποτελεσματικότητα χρήσης μπορεί να θεωρηθεί η μεγαλύτερη παραγωγή ξηράς ουσίας ανά μονάδα λιπάσματος. Γενότυποι με υψηλή αποτελεσματικότητα χρήσης N έχουν μεγάλη σημασία για μείωση του κόστους παραγωγής, λόγω των υψηλών τιμών των λιπασμάτων σήμερα και της ανάγκης για οικονομία ενέργειας.

1.4.3.1. Αποτελεσματικότητα λίπανσης

Η αποτελεσματικότητα λίπανσης μπορεί να οριστεί ως η παραγόμενη ποσότητα προϊόντων ανά μονάδα λιπάσματος. Η λίπανση θεωρείται αποτελεσματική, όταν εξασφαλίζει το μέγιστο της απόδοσης με την ελάχιστη λίπανση. Η αποτελεσματικότητα λίπανσης εξαρτάται από:

1. Το είδος του λιπάσματος, την εποχή λίπανσης και την θέση τοποθέτησης του λιπάσματος.
2. Χρήση λιπασμάτων βραδείας απελευθέρωσης ή αναστολέων νιτροποίησης.
3. Πολλές λιπάνσεις με μικρή ποσότητα λιπάσματος, κάθε φορά.

1.4.3.2. Εποχή λίπανσης

Η εποχή καθορίζεται από τους εξής παράγοντες:

- 1) Εποχή που το φυτό έχει τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σε λίπασμα.
- 2) Μέγιστο βροχομετρικό ύψος μεταξύ της εποχής χορήγησης και της εποχής χρησιμοποίησης του λιπάσματος.
- 3) Τύπος εδάφους: Ο τύπος εδάφους καθορίζει την ταχύτητα κίνησης του νερού και του λιπάσματος και τη δέσμευση των θρεπτικών στοιχείων.

Η λίπανση συνήθως γίνεται το φθινόπωρο ή την άνοιξη. Για βαριά εδάφη προτιμάται η φθινοπωρινή λίπανση, ενώ για αμμώδη γίνονται περισσότερες λιπάνσεις με μικρές δόσεις.

Τα καλιούχα και φωσφορικά λιπάσματα δίνονται σε μία δόση το φθινόπωρο- χειμώνα ετησίως (*K*) ή κάθε 2-3 χρόνια (*P*) σε σιτηρά και πολυετείς καλλιέργειες.

Η λίπανση διακρίνεται όσο αφορά το *N* σε βασική (αμμωνιακή, ουρία) που χορηγείται είτε το φθινόπωρο, ενώ η επιφανειακή (NO_3^-) την άνοιξη.

1.4.4. Η κατάσταση στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα η λίπανση πραγματοποιείται σε μεγάλη κλίμακα σύμφωνα με γενικές κατευθυντήριες γραμμές οι οποίες βασίζονται σε ασαφείς και ακαθόριστες εμπειρικές πρακτικές, με αποτέλεσμα να γίνεται εφαρμογή μια ενιαίας λιπαντικής τακτικής σχεδόν σε ολόκληρη τη χώρα, παραλείποντας τον παράγοντα της «εξατομίκευσης» της λίπανσης, ο οποίος είναι απαραίτητος λόγω της μεγάλης παραλλακτικότητας της γονιμότητας του

εδάφους. Ακόμη η μη ορθολογική χρήση των λιπασμάτων δημιουργεί πολλά, μικρού ή μεγάλου βαθμού προβλήματα, όπως η εναλάτωση των εδαφών, η ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση της παραγωγής, ο ευτροφισμός των επιφανειακών νερών και η υποβάθμιση της ποιότητας ζωής.

Και ενώ, αυτή τη στιγμή στη χώρα υπάρχουν αρκετά εδαφολογικά εργαστήρια που προσφέρουν τις αναλυτικές τους υπηρεσίες για τη σωστή χρήση και εφαρμογή των λιπασμάτων, επικρατεί η άποψη στους περισσότερους γεωργούς ότι η λίπανση είναι μια στατική γεωργική πρακτική που επαναλαμβάνεται από χρόνο σε χρόνο, με τον ίδιο τρόπο. Ωστόσο στην πραγματικότητα, η λίπανση αποτελεί μια γεωργική πρακτική που εξελίσσεται ποσοτικά και ποιοτικά ανάλογα με τις μεταβολές του επιπέδου της γονιμότητας του εδάφους.

1.4.5. Σκοποί της εργασίας

Σκοποί αυτής της εργασίας είναι καταρχήν να μελετηθούν τα 73 δείγματα εδάφους, που συλλέχθηκαν από την περιοχή του Έβρου, μέσω της ανάλυσης που προηγήθηκε στο εργαστήριο μετέπειτα να γίνει σύγκριση ως προς τις προτεινόμενες συμβουλές λίπανσης μεταξύ του μοντέλου N-WHELM και των μοντέλων Alberta και Dakota σχετικά με τα στοιχεία N , P , K και να τονιστεί η συμφωνία ή ασυμφωνία αυτών ως προς τις συνιστώμενες ποσότητες που εμφανίζει το καθένα. Ακόμη η εργασία αποσκοπεί και στην μελέτη της ύπαρξης συσχέτισης των συμβουλών λίπανσης του μοντέλου N-WHELM με τις εδαφικές ιδιότητες.

Παράλληλα διαλέξαμε οι συμβουλές να αφορούν δύο καλλιέργειες ευρέως διαδεδομένες στη χώρα (σιτάρι και καλαμπόκι), οι οποίες να είναι κοινές και στα τρία μοντέλα που δοκιμάζονται και συζητούνται στην παρούσα εργασία. Τελικός στόχος αποτελεί να διαπιστωθεί αν υπάρχει ωφελιμότητα και χρησιμότητα από την εφαρμογή του εδαφολογικού προγράμματος N-WHELM στον ελληνικό χώρο από περιβαλλοντικής και οικονομικής άποψης.

Κεφάλαιο 2: Υλικά και μέθοδοι

2.1. Πρωτογενή δεδομένα

2.1.1. Συλλογή και κατεργασία δειγμάτων

Η συλλογή εδαφών ήταν το πρώτο και βασικό βήμα που έγινε, προκειμένου να μελετηθούν και να αναλυθούν μετέπειτα τα εδάφη. Τόσο η ανάλυση των εδαφών, όσο και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων των αναλύσεων βασίζονται στη δειγματοληψία. Επομένως τα δείγματα ήταν όσο το δυνατό περισσότερο αντιπροσωπευτικά.

Η αντιπροσωπευτικότητα των τελικών δειγμάτων εξασφαλίστηκε με τη λήψη πολλών μικρών δειγμάτων, με το ίδιο βάρος το καθένα και από το ίδιο βάθος. Τα δείγματα λήφθηκαν κατά τυχαίο τρόπο και τα τεμάχια αγρών από τα οποία έγινε η δειγματοληψία ήταν ομοιογενή.

Αρχικά χωρίστηκε το κάθε χωράφι σε ομοιόμορφα τμήματα εδάφους και συλλέχθηκαν δείγματα σε πλαστικό κουβά με τυχαία σειρά. Στο μικτό δείγμα λήφθηκε δείγμα από δέκα σημεία. Η συλλογή του δείγματος έγινε με ειδικό δειγματολήπτη σε βάθος 0-30 cm. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν έχουν αναμιχθεί δείγματα από διαφορετικά αγροτεμάχια ούτε από διαφορετικά βάθη. Μετά τη συλλογή τους τα δείγματα ανακατεύθηκαν πολύ καλά ώστε να γίνουν ομοιόμορφα. Τέλος το τελικό δείγμα βάρους 500 g συσκευάστηκε σε καθαρή σακούλα και τοποθετήθηκε μέσα σε αυτή η καρτέλα με τα στοιχεία του δείγματος.

2.1.2. pH

Για τον υπολογισμό του pH, από κάθε δείγμα ζυγίστηκαν 10 g εδάφους, σε ζυγό με τη χρήση πλαστικού κουταλιού. Έπειτα τα ζυγισμένα εδάφη τοποθετήθηκαν σε μπουκαλάκια τύπου falcon, όπου προστέθηκαν 25 mL απιονισμένου νερού και τοποθετήθηκαν στον αναδευτήρα, ώστε να αναδευτούν για 15 λεπτά. Μετά την ανάδευση τα μπουκαλάκια τοποθετήθηκαν σε κάθετη θέση, στον εργαστηριακό πάγκο για 30 λεπτά, ώστε να καθιζάνει το έδαφος και μετέπειτα έγινε η μέτρηση με τη χρήση του πεχαμέτρου.

2.1.3. Οργανική ουσία

Αρχικά ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας από κάθε δείγμα περίπου 0,5 g και τοποθετήθηκαν σε ποτήρια ζέσεως. Έπειτα προστέθηκαν 10 mL $K_2Cr_2O_7$ 0,166 M και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν τα ποτήρια ζέσεως σε πάγκο όπου υπήρχε απορροφητήρας και προστέθηκαν προσεκτικά 10 mL H_2SO_4 . Αφού τα δείγματα αφέθηκαν για 30 περίπου λεπτά σε ηρεμία, μεταφέρθηκαν με χωνιά σε κωνικές φιάλες όπου προστέθηκαν 200 mL H_2O και 10 mL πυκνού H_3PO_4 . Κατόπιν προστέθηκαν πέντε σταγόνες δείκτη διφαινυλαμίνης και έγινε ογκομέτρηση με 0,5 M $FeSO_4$. Η ίδια διαδικασία έγινε και σε «λευκό» δείγμα (χωρίς έδαφος). Ο υπολογισμός της οργανικής ουσίας έγινε με τον τύπο $OC\% = 0,195 (A-B)/\Gamma$, $OM\% = OC\% / 0,58$. Όπου A = ογκομέτρηση λευκού δείγματος, B = ογκομέτρηση άγνωστου δείγματος, και Γ = βάρος δείγματος σε γραμμάρια.

2.1.4. Μηχανική σύσταση

Αρχικά ζυγίστηκαν 50 g από το κάθε δείγμα σε ποτήρια ζέσεως των 600 mL και προστέθηκαν στο καθένα 50 mL 5% διασπορικού διαλύματος του έξα-μεταφωσφορικού νατρίου. Μετά από δύο ώρες προστέθηκε νερό βρύσης μέχρι τα 500 mL. Έπειτα το δείγμα αναδεύτηκε με μια ράβδο και παρέμεινε για 24 ώρες σε σταθερές συνθήκες για να ολοκληρωθεί η χημική διασπορά. Στη συνέχεια το δείγμα μεταφέρθηκε στον μηχανικό αναδευτήρα για μηχανική διασπορά, η ανάδευση διήρκησε 10 λεπτά της ώρας. Το δείγμα μεταφέρθηκε από τον μηχανικό αναδευτήρα στο γυάλινο κυλινδρικό Βουγιούκου και συμπληρώθηκε με νερό βρύσης μέχρι τη χαραγή του 1 L (μέχρι τη χαραγή 1130 mL). Έπειτα ακολούθησε ανάδευση με χειροκίνητο αναδευτήρα 20 φορές, με δυνατές παλινδρομικές κατά τον άξονα του κυλίνδρου κινήσεις, μέχρι να ομοιογενοποιηθεί το αιώρημα.

Αμέσως μετά από 40 δευτερόλεπτα, χρόνος κατά τον οποίο θεωρούμε ότι η άμμος έχει ήδη καθιζάνει, καταγράφηκε η μέτρηση A. Η θερμοκρασία μετρήθηκε με θερμόμετρο και η πυκνότητα με πυκνόμετρο. Έπειτα από 2 ώρες μετρήθηκαν εκ νέου η πυκνότητα του αιωρήματος (μέτρηση B), χρονική στιγμή κατά την οποία και η ιλύς του δείγματος έχει καθιζάνει. Επίσης γίνονταν καταγραφή της θερμοκρασίας του αιωρήματος για να διορθώσουμε τις τιμές A και B στην τιμή θερμοκρασίας αναφοράς και αυτό επειδή το ιξώδες του αιωρήματος, και άρα και η ταχύτητα καθίζησης των εδαφικών κλασμάτων, εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Η διόρθωση γίνεται με τον τύπο:

$$A' = A + \Sigma\Theta \text{ και}$$

$$B' = B + \Sigma\Theta$$

όπου A και B είναι οι αντίστοιχες τιμές που παίρνονται ως ανάγνωση από το πυκνόμετρο Βουγιούκου, $\Sigma\Theta$ ο συντελεστής διόρθωσης της θερμοκρασίας και A' και B' οι διορθωμένες τιμές. Ο $\Sigma\Theta$ δίνεται από τον τύπο:

$$\Sigma\Theta = (\text{Θερμοκρασία} - 20) / 2,5.$$

Κατόπιν έγιναν οι υπολογισμοί του ποσοστού άμμου, ιλύος και αργίλου με τους παρακάτω τύπους:

$$\text{Άργιλος\%} = 100 \times B' / \Gamma$$

$$\text{Ιλύς\%} = 100 \times (A' - B') / \Gamma$$

$$\text{Άμμος\%} = 100 - (\text{Άργιλος\%} + \text{Ιλύς\%})$$

όπου Γ είναι το βάρος εδάφους που χρησιμοποιήθηκε στη ανάλυση (εδώ, 50 g).

2.1.5. Ανταλλάξιμο κάλιο

Αρχικά ζυγίστηκαν από τα δείγματα, σε ζυγό ακριβείας περίπου 3 g εδάφους από το καθένα και έπειτα τοποθετήθηκαν σε μπουκαλάκια των 30 mL τύπου Falcon και προστέθηκε 20 mL, 1 M CH_3COONH_4 pH 7. Τα μπουκαλάκια τοποθετήθηκαν στον αναδευτήρα για 1 ώρα και αφού έγινε η ανακίνηση τοποθετήθηκαν στη φυγόκεντρο για 10 λεπτά. Τέλος πραγματοποιήθηκε διήθηση. Από τη διήθηση κρατήθηκαν 10 mL εκχυλίσματος χρησιμοποιώντας σιφώνιο μέτρησης 10 mL. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε ογκομετρικές φιάλες των 100 mL όπου και συμπληρώθηκαν μέχρι την χαραγή με απιονισμένο νερό (H_2O), έτσι έγινε αραιώση κατά 10 φορές. Τέλος τοποθετήθηκαν στο φλογοφωτόμετρο και καταγράφηκαν οι ενδείξεις.

2.1.6. Φώσφορος εκχυλισμένος κατά Olsen

Από κάθε έδαφος ζυγίστηκε σε ζυγό ακριβείας περίπου 1 g σε πλαστικά μπουκαλάκια τύπου falcon των 30 mL. Έπειτα προστέθηκαν 20 mL 0,5 M $NaHCO_3$ και έγινε ανακίνηση για 30 λεπτά. Τέλος ακολούθησε διήθηση με τη χρήση διηθητικού χαρτιού.

Αντιδραστήρια

Παρασκευή Αντιδραστηρίου A

1. Μολυβδαινικό αμμώνιο, $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 2H_2O$: Διαλύονται 12 g μολυβδαινικού αμμωνίου σε περίπου 250 mL αποσταγμένου νερού.
2. Τρυγικό κάλιο-αντιμονύλιο, $KSbO \cdot C_4H_4O$: Διαλύονται 0,2908 g σε περίπου 100 mL αποσταγμένο νερό.
3. Θειικό οξύ, H_2SO_4 : Σε ογκομετρική φιάλη του 1 L προστίθενται 140 mL πυκνό θειικό οξύ και συμπληρώνεται μέχρι τη χαραγή με αποσταγμένο νερό.

Κατόπιν σε ογκομετρική φιάλη των 2 L μεταφέρονται τα αντιδραστήρια 1, 2 και 3, συμπληρώνεται η φιάλη μέχρι την χαραγή με αποσταγμένο νερό, ανακινείται καλά και αποθηκεύεται σε πλαστική φιάλη σε δροσερό και σκοτεινό μέρος. Το μείγμα αυτό είναι το **Αντιδραστήριο A**.

Παρασκευή Αντιδραστηρίου B

Σε 200 mL του Αντιδραστηρίου A διαλύονται 1,056 g ασκορβικού οξέος. Αυτό είναι το **Αντιδραστήριο B**, το οποίο έχει κίτρινο χρώμα.

Ανάπτυξη χρώματος στα δείγματα: Αναπτύχθηκε κυανό χρώμα στα δείγματα με των παρακάτω τρόπο:

Σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL τοποθετήθηκαν 5 mL εκχυλίσματος και αντίστοιχα σε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL τοποθετήθηκαν 2,5 mL εκχυλίσματος. Στη συνέχεια προστέθηκε περίπου 1 mL αραιό HCl σε κάθε φιάλη και αναδεύτηκαν ελαφριά μέχρι την παύση του αφρισμού. Έπειτα προστέθηκαν αντίστοιχα 8 mL αντιδραστηρίου B στις ογκομετρικές των 50 mL ή 4 mL αντιδραστηρίου B στις ογκομετρικές των 25 mL και συμπληρώθηκαν οι φιάλες προσεκτικά με απιονισμένο νερό μέχρι την χαραγή. Ακολούθησε αναμονή μισής ώρας, προκειμένου να αναπτυχθεί το χρώμα. Επίσης σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL αναπτύχθηκε χρώμα σε διάλυμα γνωστής συγκέντρωσης 1 mg L^{-1} , με σκοπό τη

χάραξη της καμπύλης βαθμολόγησης. Για την παρασκευή του διαλύματος γνωστής συγκέντρωσης 1 mg L^{-1} , προστέθηκαν 10 mL από διάλυμα 5 mg L^{-1} φωσφόρου και ύστερα προστέθηκαν 5 mL NaHCO_3 , 1 mL αραιό H_2SO_4 και 8 mL αντιδραστηρίου Β και αναδεύτηκαν ελαφρά μέχρι την παύση του αφρισμού. Τέλος συμπληρώθηκε η φιάλη με απιονισμένο νερό μέχρι την χαραγή και έγινε αναμονή 30 λεπτών μέχρι να αναπτυχθεί το χρώμα. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο φασματοφωτόμετρο και έγινε μέτρηση στα 882 nm.

2.1.7. Ανθρακικό ασβέστιο

Η μέτρηση του ισοδύναμου ανθρακικού ασβεστίου γίνεται σε ασβεστόμετρο Bernard, και η εκτίμησή του βασίζεται στη μέτρηση του όγκου του CO_2 που παράγεται από την αντίδραση του ανθρακικού ασβεστίου με οξύ (2 M HCl), σύμφωνα με την αντίδραση:



Το ισοδύναμο ανθρακικού ασβεστίου υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\% \text{CaCO}_3 = 0,045 \text{ A/B}$$

όπου Α είναι ο όγκος του CO_2 που εκλύεται και Β το βάρος του εδάφους σε γραμμάρια.

Συγκεκριμένα, ζυγίστηκαν από κάθε δείγμα 1 έως 5 g εδάφους και μεταφέρθηκαν σε κωνική φιάλη των 250 mL, όπου και προστέθηκε HCl 2 M σε ειδικό δοχείο μέσα στην κωνική.

2.2. Δευτερογενή δεδομένα

2.2.1. Περιγραφή μοντέλου N-WHELM

Το μοντέλο N-WHELM αποτελεί μια απλοποιημένη μορφή του ήδη υπάρχοντος μοντέλου του Δρ. Κουκουλάκη (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2001). Εκτενέστερες λεπτομέρειες αυτού, όπως και η φιλοσοφία βάσει της οποίας αναπτύχθηκαν οι παράμετροί του, θα συζητηθούν παρακάτω, στα Αποτελέσματα και Συζήτηση.

2.2.2. Περιγραφή μοντέλου Alberta

Το μοντέλο αυτό δημιουργήθηκε και εφαρμόστηκε στο τοπικό Πανεπιστήμιο της Alberta του δυτικού Καναδά. Η εφαρμογή του είναι απλή αφού ουσιαστικά ο χρήστης επιλέγει μόνο το βάθος εδάφους του δείγματος, τα νιτρικά, το pH, την οργανική ουσία και την καλλιέργεια. Με την εισαγωγή των δεδομένων δίνονται και τα αποτελέσματα για τη συμβουλή λίπανσης της εκάστοτε καλλιέργειας. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο της Alberta, κατά την διεξαγωγή της πτυχιακής εργασίας, μπορέσαμε να αξιολογήσουμε και να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που έχουμε υπολογίσει με το N-WHELM σχετικά με το άζωτο. Ωστόσο, επειδή το μοντέλο Alberta απευθύνεται κυρίως σε χρήστες της περιοχής εκεί και επειδή οι εδαφολογικές συνθήκες της περιοχής είναι τέτοιες ώστε να υπάρχει σχετική επάρκεια σε φώσφορο και κάλιο, διαπιστώσαμε ότι οι συμβουλές που έδινε το μοντέλο για αυτά τα δύο στοιχεία ήταν ιδιαίτερα χαμηλές, και βρίσκονταν εκτός ελληνικής πραγματικότητας. Για αυτό το λόγο αναλύσαμε το φώσφορο και το κάλιο με το μοντέλο Dakota.

2.2.3. Περιγραφή μοντέλου Dakota

Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο της North Dakota και είναι το πιο απλοποιημένο στη χρήση του μοντέλο από τα τρία. Αναφέρεται σε μια σειρά από απλές εξισώσεις πρώτου βαθμού ($y=ax+b$), όπου y είναι η συμβουλή λίπανσης σε φώσφορο και κάλιο, x είναι οι τιμές του εκχυλιζόμενου φωσφόρου κατά Olsen ή του ανταλλάξιμου καλίου και a και b συντελεστές οι οποίοι δίνονται για καθεμιά από τις καλλιέργειες που αναφέρονται.

2.2.4. Στατιστική ανάλυση δεδομένων

Για την αρχική εκτίμηση της ορθότητας των πρωτογενών δεδομένων (αυτών που προέρχονται από τις εδαφολογικές αναλύσεις στο εργαστήριο) χρησιμοποιήσαμε απλές συσχετίσεις, οι οποίες συνέδεαν τις εδαφικές ιδιότητες μεταξύ τους. Κατόπιν, για την σύγκριση των δευτερογενών αποτελεσμάτων (αυτών που προέρχονται από τα τρία μοντέλα και αφορούν τις συμβουλές λίπανσης), έγιναν απλές και πολλαπλές συσχετίσεις μεταξύ τους και με σχετικές εδαφικές παραμέτρους. Όλες οι συσχετίσεις (απλές και πολλαπλές) έγιναν με

το στατιστικό πακέτο STATGRAPHICS. Τα Σχήματα χαράχθηκαν στο MS Excel, και οι ράβδοι λάθους (error bars), που εκφράζουν το τυπικό σφάλμα (standard error) υπολογίστηκαν από τη σχέση Τυπικό σφάλμα = Τυπική απόκλιση / $N^{0,75}$ όπου N είναι ο αριθμός των μετρήσεων (εδώ, $N=73$).

Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα και Συζήτηση

3.1. Ανάπτυξη του μοντέλου N-WHELM

Αποτελεί ένα απλοποιημένο και ανεπτυγμένο μοντέλο του ήδη υπάρχοντος μοντέλου του Δρ. Κουκουλάκη. Οι πράξεις που αναφέρονται παρακάτω μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα και γρήγορα, κάνοντας χρήση μόνο του πίνακα απομάκρυνσης N , P , K από τις καλλιέργειες (όπως αυτός παρατίθεται στους Κουκουλάκη και Παπαδόπουλος, 2001), το τρίγωνο μηχανικής σύστασης του εδάφους και τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν κατά την διεξαγωγή των εδαφολογικών αναλύσεων. Το μοντέλο έχει αναπτυχθεί σε μορφή εύχρηστη για το περιβάλλον των Windows (εύχρηστη γιατί δεν απαιτείται εγκατάσταση κάποιου λογισμικού και γιατί ζητούνται ως inputs μόνο τα εντελώς απαραίτητα εργαστηριακά δεδομένα). Η ανάπτυξη του software που βασίζεται το μοντέλο πραγματοποιήθηκε από τον Δρ. Θεοδώρου, επίκουρο καθηγητή Πανεπιστημίου Αιγαίου.

3.1.1. Υπολογισμός αζώτου

Τα πρωτογενή δεδομένα που χρειάζονται για τον υπολογισμό του αζώτου, είναι η κοκκομετρική σύσταση, η οργανική ουσία, NO_3-N (σε περίπτωση μη εργαστηριακού υπολογισμού σημειώνεται ίσο με το μηδέν), pH, $CaCO_3$ (σε περίπτωση όπου το $pH < 7$ τότε καταγράφεται μηδέν) και κοκκομετρική σύσταση του εδάφους. Τέλος απαιτείται η γνώση των αναγκών μιας δοσμένης καλλιέργειας σε άζωτο (ή της απομάκρυνσης N από την καλλιέργεια) (δίνονται από τους Κουκουλάκη και Παπαδόπουλος, 2001).

Αφού πρώτα εκτιμήθηκε η εδαφική σύσταση ως προς το αν το έδαφος είναι ελαφρύ, μέσο ή βαρύ από το τρίγωνο της κοκκομετρικής σύστασης υπολογίζονται οι δύο παράμετροι από τις οποίες εξαρτώνται οι εδαφικές συνθήκες, οι εισροές N στο έδαφος και η αποδοτικότητα του λιπάσματος. Η συμβουλή λίπανσης σε άζωτο (Σ.Λ.Α.) ακολουθεί τη σχέση:

$$\text{Σ.Λ.Α.} = (\text{Ανάγκες καλλιέργειας} - \text{Εισροές } N) / \text{Αποδοτικότητα λιπάσματος},$$

όπου «Ανάγκες καλλιέργειας», όπως αναφέρθηκε παραπάνω, δίνονται από σχετικούς Πίνακες και υπολογίζονται αυτόματα με την επιλογή της καλλιέργειας στο software του N-WHELM, και «Εισροές N » και «Αποδοτικότητα λιπάσματος» υπολογίζονται από το μοντέλο μας με βάση τα απαιτούμενα πρωτογενή εδαφολογικά δεδομένα.

Όσον αφορά τις εισροές N , αυτές λαμβάνουν υπόψη την οργανική ουσία και το NO_3-N , που αποτελούν τους κυριότερους παράγοντες εισροής διαθέσιμου αζώτου στο έδαφος εκτός των λιπασμάτων, και άρα πρέπει να αφαιρούνται για να αποφεύγεται η σπατάλη πόρων. Πρώτα ο υπολογισμός της οργανικής ουσίας (Ο.Ο.):

Αν το ποσοστό που εκτιμήθηκε στο εργαστήριο είναι $A\%$, τότε έχουμε

- A g Ο.Ο. ανά 100 g εδάφους =
- $10 \times A$ g Ο.Ο. kg^{-1} εδάφους =
- $0,58 \times 10 \times A$ g OC kg^{-1} εδάφους, γιατί ο οργανικός C αποτελεί το 58% της οργανικής ουσίας =
- $0,58 \times 10 \times A \times \Phi EB$ (σε $g\ cm^{-3}$) \times βάθος (σε m) $\times 10^6$ g OC ανά στρέμμα, γιατί το βάρος του εδάφους σε ένα στρέμμα υπολογίζεται ως ΦEB (σε $g\ cm^{-3}$) \times βάθος (σε m) $\times 10^6$, όπου ΦEB είναι το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους, και βάθος είναι το ισοδύναμο βάθος του εδάφους, που υπολογίζεται συνήθως ίσο με 15 cm =
- $0,1 \times 0,58 \times 10 \times A \times \Phi EB$ (σε $g\ cm^{-3}$) \times βάθος (σε m) $\times 10^6$ g ON ανά στρέμμα, γιατί στην καλά χουμοποιημένη οργανική ουσία του εδάφους, ο λόγος $C/N = 10$
=
- $0,87 \times A \times \Phi EB \times \text{Ανοργανοποίηση } \%$ kg διαθέσιμου N ανά στρέμμα («ανοργανοποίηση %» είναι το ποσοστό του οργανικού N που ανοργανοποιείται, και άρα καθίσταται διαθέσιμο στα φυτά, κατά τη διάρκεια ενός έτους ή μιας καλλιεργητικής περιόδου) (τα διάφορα ποσοστά, όπως και ο λόγος C/N λαμβάνονται σύμφωνα με τους Myers, 1983)

Στα ελαφριά εδάφη θεωρούμε μία μέση τιμή $\Phi EB = 1,50\ g\ cm^{-3}$ και ποσοστό ανοργανοποίησης ίσο με 3%. Στα μέσης σύστασης εδάφη θεωρούμε $\Phi EB = 1,30\ g\ cm^{-3}$ και ποσοστό ανοργανοποίησης ίσο με 2,5%. Στα βαριά εδάφη θεωρούμε $\Phi EB = 1,10\ g\ cm^{-3}$ και ποσοστό ανοργανοποίησης ίσο με 2% (τα ποσοστά ανοργανοποίησης, όπως και οι τυπικές τιμές ΦEB , λαμβάνονται σύμφωνα με τους Osmond *et al.*, 1992). Έτσι έχουμε, όσο αφορά τις εισροές N από την οργανική ουσία:

- Ελαφρύ έδαφος: Εισροή $N = 3,91 \times A$
- Μέσο έδαφος: Εισροή $N = 3,83 \times A$
- Βαρύ έδαφος: Εισροή $N = 1,91 \times A$

Όσον αφορά τον υπολογισμό των εισροών N από τα NO_3-N , αν στο εργαστήριο έχουμε εκτιμήσει συγκέντρωση ίση με $B \text{ mg } N \text{ kg}^{-1}$ εδάφους, έχουμε τα εξής:

- $B \text{ mg } N$ ανά kg εδάφους =
- $B \times (10^{-6} \text{ kg } \text{mg}^{-1}) \times \text{ΦΕΒ} \times \text{βάθος} \times 10^6 \text{ kg } N$ ανά στρέμμα =
- $0,15 \times B \times \text{ΦΕΒ}$

Άρα για τις τρεις κλάσεις εδαφών έχουμε:

- Ελαφρύ έδαφος (τυπικό $\text{ΦΕΒ}=1,50 \text{ g cm}^{-3}$): Εισροή $N = 0,225 \times B$
- Μέσο έδαφος (τυπικό $\text{ΦΕΒ}=1,30 \text{ g cm}^{-3}$): Εισροή $N = 0,195 \times B$
- Βαρύ έδαφος (τυπικό $\text{ΦΕΒ}=1,10 \text{ g cm}^{-3}$): Εισροή $N = 0,165 \times B$

Άρα τελικά οι εισροές N (μονάδες σε $\text{kg } N/\text{στρ}$) υπολογίζονται ως εξής:

- Ελαφρύ έδαφος: Εισροή $N = (3,91 \times A) + (0,225 \times B)$
- Μέσο έδαφος: Εισροή $N = (3,83 \times A) + (0,195 \times B)$
- Βαρύ έδαφος: Εισροή $N = (1,91 \times A) + (0,165 \times B)$

όπου $A = \%$ της οργανικής ουσίας και $B = \text{ppm}$ ($\text{mg } N \text{ kg}^{-1}$ εδάφους) NO_3-N . Επειδή η μέτρηση νιτρικών στο εργαστήριο δεν συμπεριλαμβάνεται στις συνήθεις εδαφολογικές αναλύσεις (και για το λόγο ότι είναι ιδιαίτερα ευμετάβλητα με το χρόνο), αν δεν υπάρχουν τα δεδομένα αυτά, η συγκέντρωση του NO_3-N λαμβάνεται ίση με 0.

Σχετικά με την αποδοτικότητα του λιπάσματος, αυτή εξαρτάται από το εδαφικό pH, την κοκκομετρική κλάση του εδάφους και το $CaCO_3$. Τονίζουμε ότι στον υπολογισμό της αποδοτικότητας του λιπάσματος δεν υπεισέρχεται ο παράγοντας της κακής χρήσης του από τον παραγωγό, γιατί κάτι τέτοιο είναι αδύνατο να προβλεφθεί, παρά μόνο εδαφολογικές (δηλαδή ενδογενείς) παράμετροι. Επίσης τονίζεται ότι τα ποσοστά στους παρακάτω υπολογισμούς είναι εμπειρικά, και βασίστηκαν στη θεωρία που αφορά τις εδαφικές ιδιότητες που επηρεάζουν τη δέσμευση του N (π.χ. απώλεια αέριας αμμωνίας σε υψηλό pH, δέσμευση NH_4-N παρουσία $CaCO_3$, έκπλυση NO_3-N σε έδαφος ελαφρύ). Ο υπολογισμός γίνεται ως εξής:

Θεωρούμε ότι το λίπασμα σε μία μέση κατάσταση του εδάφους (τέτοιο θεωρούμε ένα έδαφος μέσης σύστασης, με ουδέτερο pH και χωρίς $CaCO_3$) έχει αποδοτικότητα 80%. Αυτό γιατί σε pH 7, για τυπικές εδαφοκλιματικές συνθήκες του ελληνικού χώρου, όπου έχουμε

άνομβρο καλοκαίρι (το οποίο συμπίπτει συνήθως με την καλλιεργητική περίοδο) και χαμηλά ποσοστά οργανικής ουσίας στο έδαφος, παράγοντες επιβαρυντικούς για την απώλεια εδαφικού N , θεωρούμε ότι το 10% του διαθέσιμου εδαφικού NH_4-N χάνεται με τη μορφή της αέριας αμμωνίας (Ahmed *et al.*, 2008). Επίσης στα μέσης σύστασης εδάφη, ένα ικανό ποσοστό NO_3-N χάνεται με την έκπλυση (Hartl *et al.*, 2003). Έτσι το σύνολο της απώλειας του N σε pH 7 και σε έδαφος μέσης σύστασης (και εφόσον δεν υπάρχουν επιπλέον επιβαρυντικοί παράγοντες, όπως η παρουσία $CaCO_3$) εκτιμάται στο 80%. Από αυτό το ποσοστό:

- αφαιρούμε 10% από την αποδοτικότητα για κάθε μία μονάδα αύξησης του pH και προσθέτουμε 10% στην αποδοτικότητα για κάθε μία μονάδα μείωσης του pH (αυτό γίνεται για να υπολογίσουμε την απώλεια της αέριας NH_3 που επιτείνεται σε αλκαλικά pH, και μειώνεται με τη μείωση του pH)
- αφαιρούμε 10% για τα ελαφρά εδάφη (για να υπολογίσουμε την επιπλέον απώλεια NO_3-N με την έκπλυση) και προσθέτουμε 10% στην αποδοτικότητα για τα βαριά (γιατί σε βαριά εδάφη η έκπλυση του NO_3-N ουσιαστικά μηδενίζεται)
- αφαιρούμε 1% από την αποδοτικότητα για κάθε μονάδα ανθρακικού ασβεστίου (για να υπολογίσουμε τη δέσμευση του NH_4-N στις επιφάνειες του $CaCO_3$ του εδάφους).

Έχοντας αυτά τα δεδομένα, μπορούμε να υπολογίσουμε τη συμβουλή λίπανσης. Για παράδειγμα σε ένα έδαφος με άμμο 30%, άργιλο 20% (μέσης σύστασης, σύμφωνα με το τρίγωνο μηχανικής σύστασης του εδάφους), $CaCO_3$ 0%, $NO_3-N=10$ ppm ($mg N kg^{-1}$), οργανική ουσία=3%, και καλλιέργεια καλαμπόκι, έχουμε: Ανάγκες καλλιέργειας = 23 kg $N/στρ$ (από Πίνακες), Εισροές N (για μέσο έδαφος) = $(3,83 \times A) + (0,195 \times B) = (3,83 \times 3) + (0,195 \times 10) = 12,68$ kg $N/στρ$, και αποδοτικότητα λιπάσματος = 80% + 10% (για το pH) = 90% = 0,9. Άρα τελικά η συμβουλή λίπανσης σε άζωτο σύμφωνα με το μοντέλο μας θα είναι: $\Sigma.Λ.Α. = (23 - 12,68) / 0,9 = 11,5$ kg $N/στρ$.

3.1.2. Υπολογισμός του φωσφόρου

Αν και στηρίζεται στο ίδιο σκεπτικό σε σχέση με το άζωτο (δηλαδή ότι $\Sigma.Λ.Φ. = (\text{Ανάγκες καλλιέργειας} - \text{Εισροές } P) / \text{Αποδοτικότητα λιπάσματος}$, με τις «εισροές P » και την «αποδοτικότητα λιπάσματος» να υπολογίζονται με τρόπους, που θα αναφερθούν παρακάτω), ο υπολογισμός του φωσφόρου απαιτεί την εκτίμηση μιας ακόμα παραμέτρου,

της κρίσιμης τιμής (KT). Αυτή μάς είναι χρήσιμη για την εκτίμηση των αναγκών της καλλιέργειας σε φώσφορο (στην περίπτωση του αζώτου οι ανάγκες της καλλιέργειας λαμβάνονται κατευθείαν από Πίνακα, ενώ στην περίπτωση του φωσφόρου απαιτείται πρώτα η διερεύνηση μέσω της KT). Κρίσιμη τιμή φωσφόρου είναι η τιμή της συγκέντρωσης του εκχυλιζόμενου εδαφικού φωσφόρου (στην Ελλάδα η πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι αυτή κατά Olsen) που συμπίπτει με το 90% της σχετικής απόδοσης μιας καλλιέργειας. Δηλαδή KT είναι η τιμή του εδαφικού P κατά Olsen πέραν της οποίας η καλλιέργεια δεν ανταποκρίνεται περαιτέρω, και άρα δεν απαιτείται χορήγηση λιπάσματος, δηλαδή η KT επισημαίνει τα όρια επάρκειας του εδάφους σε φώσφορο. Γίνεται αντιληπτό ότι η κρίσιμη τιμή εκτιμάται κατόπιν πειραματισμού, όπου P προστίθεται στο έδαφος σε κλιμακούμενες δόσεις, και μόνο για συγκεκριμένο έδαφος και συγκεκριμένη καλλιέργεια (Κεραμίδας, 1990). Ωστόσο στα πλαίσια της ανάπτυξης του μοντέλου μας, κάναμε μια εμπειρική προσέγγιση εκτίμησης της KT με βάση τρεις διαφορετικές κατηγορίες καλλιεργειών (δηλαδή εκτιμήσαμε μία KT για καθεμιά από τις τρεις κατηγορίες καλλιεργειών, αντί για την εκτίμηση μίας KT για κάθε καλλιέργεια) και με βάση τρεις κατηγορίες εδαφών. Οι κατηγορίες καλλιεργειών είναι ίδιες με αυτές που προτείνει το μοντέλο Κουκουλάκη:

- Κατηγορία I: Καλλιέργειες που απομακρύνουν από το έδαφος έως 5,9 kg P_2O_5 (λιπαντικές μονάδες φωσφόρου) ανά στρέμμα,
- Κατηγορία II: Καλλιέργειες που απομακρύνουν από το έδαφος από 6 έως 11,9 kg P_2O_5 ανά στρέμμα και
- Κατηγορία III: Καλλιέργειες που απομακρύνουν από το έδαφος περισσότερες από 12 kg P_2O_5 ανά στρέμμα.

Οι τιμές απομάκρυνσης φωσφόρου από το έδαφος για καθεμιά από τις ελληνικού ενδιαφέροντος καλλιέργειες, όπως και στην περίπτωση του αζώτου, δίνονται από τον Κουκουλάκη (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2001). Όσο αφορά τις τρεις κατηγορίες εδαφών, αυτές είναι οι γνωστές, δηλαδή ελαφρά, μέσης σύστασης και βαριά εδάφη, η εκτίμηση των οποίων γίνεται με βάση τα ποσοστά κάθε εδάφους σε άμμο, ιλύ και άργιλο από το τρίγωνο της μηχανικής σύστασης του εδάφους. Ξέροντας, λοιπόν, την κατηγορία της καλλιέργειας και την κοκκομετρία του εδάφους μπορούμε να εκτιμήσουμε εμπειρικά την KT και τις μονάδες πρόσληψης του P_2O_5 από την καλλιέργεια με βάση τον πίνακα 2:

Πίνακας 2. Εμπειρική εκτίμηση της ΚΤ και των μονάδων πρόσληψης του P_2O_5 .

	Ελαφρύ έδαφος	Μέσο έδαφος	Βαρύ έδαφος
Καλλιέργεια I	10	15	20
Καλλιέργεια II	17,5	20	22,5
Καλλιέργεια III	20	22,5	25

Αυτές οι τιμές της ΚΤ που δίνονται στον πίνακα (οι οποίες, όπως ειπώθηκε παραπάνω, είναι εμπειρικές) βασίζονται στο γεγονός ότι η συνηθισμένη ΚΤ κατά Olsen για ένα μέσο έδαφος και μία μέσης απαίτησης καλλιέργεια (που εδώ παρουσιάζεται ως καλλιέργεια κατηγορίας II) είναι 20 mg P kg^{-1} εδάφους (Havlin *et al.*, 2004; Τσαντήλας, προσωπική επικοινωνία). Επίσης βασίζονται στην κοινώς αποδεκτή αντίληψη ότι τα όρια επάρκειας του P (και άρα και η ΚΤ) πρέπει να είναι μεγαλύτερα όσο πιο απαιτητική η καλλιέργεια και όσο πιο βαρύ το έδαφος (γιατί τότε τα εδάφη έχουν μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα ως προς φώσφορο, δηλαδή χορηγούν λιγότερο φώσφορο στο εδαφικό διάλυμα για μια δοσμένη ποσότητα εδαφικού P), και αντίστοιχα μικρότερα όσο λιγότερο απαιτητική η καλλιέργεια και όσο πιο αμμώδες το έδαφος. Τονίζεται ότι καταλήξαμε στις τιμές του παραπάνω Πίνακα μετά από πολλούς κύκλους δοκιμών και συγκρίσεων.

Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός των αναγκών της καλλιέργειας, το οποίο βασίζεται στον Κεραμίδα (1990), και παρουσιάζεται κωδικοποιημένα παρακάτω:

Χορηγούμε όλο το προβλεπόμενο λίπασμα (σύμφωνα με τον Πίνακα απομάκρυνσης P από την δοσμένη καλλιέργεια) αν	$P \text{ κατά Olsen} < \text{KT}-5$
Χορηγούμε το μισό από το προβλεπόμενο λίπασμα αν	$\text{KT}-5 < P \text{ κατά Olsen} < \text{KT}$
Δεν χορηγούμε λίπασμα αν	$P \text{ κατά Olsen} > \text{KT}$

Τώρα, όπως και με το άζωτο, εκτιμούμε τις εισροές του φωσφόρου στο έδαφος. Αυτές πρέπει να υπολείπονται των αναγκών της καλλιέργειας τουλάχιστον κατά 1 λιπαντική μονάδα φωσφόρου. Η μοναδική αξιόλογη εισροή φωσφόρου στο έδαφος προκύπτει από την οργανική ουσία, και εκτιμάται (για $A\%$ οργανικής ουσίας) ως εξής:

- Για ελαφρύ έδαφος: Εισροή $P = 1,30 \times A \text{ kg } P_2O_5/\sigma\tau\rho$
- Για μέσο έδαφος: Εισροή $P = 1,27 \times A \text{ kg } P_2O_5/\sigma\tau\rho$
- Για βαρύ έδαφος: Εισροή $P = 0,64 \times A \text{ kg } P_2O_5/\sigma\tau\rho$

Οι υπολογισμοί γίνονται όπως και στην περίπτωση του αζώτου (π.χ. ίδια ποσοστά ανοργανοποίησης, ίδια ΦΕΒ κτλ), με μόνη διαφορά την εκτίμηση ότι ο οργανικός φώσφορος είναι π. το 1/3 του οργανικού αζώτου στην οργανική ουσία (Eghball and Power, 1999), για αυτό δεν παρατίθενται αναλυτικά.

Έχοντας υπολογίσει τις ανάγκες της καλλιέργειας σε P (μέσω της ΚΤ) και τις εισροές P στο έδαφος, συνέχεια έχει η εκτίμηση της απόδοσης της φωσφορικής λίπανσης. Αυτή, όπως και στην περίπτωση του αζώτου, γίνεται με βάση τη θεωρία σχετικά με τη δέσμευση του P στα εδαφικά κολλοειδή, με συντελεστές εμπειρικούς. Θεωρούμε ότι το φωσφορικό λίπασμα δεν μπορεί να έχει απόδοση μεγαλύτερη από 70% (καθώς είναι ιδιαίτερα δυσδιάλυτο στο εδαφικό διάλυμα) και όχι μικρότερη από 20%. Από το 70% της απόδοσης αφαιρούμε 2,5% για κάθε 1% $CaCO_3$ όταν το ανθρακικό ασβέστιο είναι μεταξύ 1-7,5% (εκεί ανήκουν τα περισσότερα ασβεστούχα εδάφη) και αφαιρούμε 1% από την απόδοση του λιπάσματος για κάθε 1% $CaCO_3$ όταν το ανθρακικό ασβέστιο είναι μεγαλύτερο από το 7,6%. Αυτό γίνεται γιατί σε ασβεστούχα εδάφη ο P δεσμεύεται σημαντικά από τις επιφάνειες του $CaCO_3$ και απομακρύνεται από το εδαφικό διάλυμα. Όμως αυτή η απομάκρυνση δεν είναι γραμμική με την αύξηση του ποσοστού $CaCO_3$ στο έδαφος (Leytem *et al.*, 2005). Επίσης αφαιρούμε 5% από την απόδοση του λιπάσματος για κάθε 1 μονάδα pH μικρότερη του 7. Αυτό γίνεται γιατί σε όξινα εδάφη διαλυτότητα του Al και Fe αυξάνεται δραματικά, και τα όξινα αυτά κατιόντα έχουν την τάση να δεσμεύουν έντονα το P , άρα όσο πιο όξινο το pH τόσο μεγαλύτερη η δέσμευση του P από τις επιφάνειες των ελεύθερων οξειδίων Fe και Al , όπως και από τα κατιόντα αυτά είτε ως ανταλλάξιμα, είτε ως διαλυμένα στο εδαφικό διάλυμα (Uygun, 2009). Δηλαδή από την απόδοση του λιπάσματος στην περίπτωση του φωσφόρου μόνο αφαιρούμε, και μάλιστα από το 70%, μέχρι της τελικής κατώτατης τιμής που είναι το 20%. Τέλος αν η τελευταία χρονιά λίπανσης φωσφόρου ήταν πριν από 4 χρόνια ή παλιότερη, τότε διπλασιάζουμε την ποσότητα λίπανσης που βρήκαμε από το μοντέλο, γιατί ο P έχει την τάση να δεσμεύεται από το έδαφος περισσότερο με την πάροδο του χρόνου (Siddique and Robinson, 2003).

Για παράδειγμα, αν ένα έδαφος έχει άμμο 50% και άργιλο 45% (μέσω του τριγώνου μηχανικής σύστασης βρίσκεται ότι είναι βαρύ), ανθρακικό ασβέστιο 4%, οργανική ουσία

3%, pH 7,7 και Olsen-P = 6 mg kg⁻¹, η συμβουλή λίπανσης για καλλιέργεια σιταριού (η οποία απομακρύνει 7 kg P₂O₅/στρ) υπολογίζεται ως εξής:

- Η ΚΤ είναι (σύμφωνα με το σχετικό Πίνακα, για έδαφος βαρύ και κατηγορία καλλιέργειας II) 22,5 mg kg⁻¹. Ο Olsen-P είναι 6 mg kg⁻¹, μικρότερος από την τιμή «ΚΤ-5» (η οποία είναι 22,5-5=17,5), και άρα χορηγούμε όλη την απαιτούμενη δόση λιπάσματος, 7 kg P₂O₅/στρ, δηλαδή οι ανάγκες της καλλιέργειας σε P εκτιμώνται ίσες με 7 kg P₂O₅/στρ.
- Οι εισροές P από την οργανική ουσία είναι: Εισροές P = 0,64 x A = 0,64 x 3 = 1,92 kg P₂O₅/στρ.
- Η αποδοτικότητα του λιπάσματος είναι η εξής: 70% - (2,5 x 4) [4% είναι το ποσοστό του CaCO₃, και επειδή είναι μεταξύ 1-7,5%, αφαιρούμε 2,5% για κάθε ποσοστό του] = 60% = 0,6.
- Τελικά η συμβουλή λίπανσης σε φώσφορο είναι: Σ.Λ.Φ. = (7-1,92)/0,6 = 8,5 kg P₂O₅/στρ.

3.1.3. Υπολογισμός καλίου

Ο υπολογισμός του K βασίζεται στις ανάγκες της καλλιέργειας σε κάλιο (τις οποίες, όπως και στα άλλα θρεπτικά, τις βρίσκουμε στο σχετικό Πίνακα απομάκρυνσης θρεπτικών από τις καλλιέργειες, στους Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2001), το ανταλλάξιμο κάλιο του εδάφους, καθώς και την άργιλο. Τα δύο τελευταία δίνονται από εδαφολογικές αναλύσεις. Για να γίνει η συμβουλή λίπανσης σε κάλιο απαιτείται η εκτίμηση του καλίου επάρκειας (K_{επ}), μιας παραμέτρου που μοιάζει με την ΚΤ του φωσφόρου, και εκφράζει τη συγκέντρωση του K στο έδαφος πάνω από την οποία δεν χρειάζεται λίπανση γιατί η καλλιέργεια δεν ανταποκρίνεται, και δίνεται από τη σχέση (Κεραμίδα, 1990):

$K_{επ} = (110 + 2 \times \text{Άργιλος})/390$, μονάδες σε cmol_c kg⁻¹ εδάφους. (Αν το K_{επ} εκτιμάται σε mg kg⁻¹ εδάφους, τότε η σχέση είναι $K_{επ} = 110 + 2 \times \text{Άργιλος}$.) Αυτή η σχέση βασίζεται στο γεγονός ότι όσο πιο βαρύ ένα έδαφος (όση περισσότερη άργιλο περιέχει) τόσο λιγότερο K διαθέτει στα φυτά για συγκεκριμένη ποσότητα ανταλλάξιμου K (Sparks and Liebhardt, 1981). Δηλαδή ένα αμμώδες έδαφος χρειάζεται λιγότερο ανταλλάξιμο K από ένα αργιλώδες για να δώσει στο φυτό ίδια ποσότητα K με το αργιλώδες. Άρα όσο πιο λίγο το ανταλλάξιμο K του εδάφους σε σχέση με το K_{επ}, τόσο περισσότερο λίπασμα χρειάζεται, ενώ η απαιτούμενη λίπανση μειώνεται όσο πλησιάζει το ανταλλάξιμο κάλιο στο K_{επ}, και μηδενίζεται όταν είναι

ίσο ή μεγαλύτερο από αυτό. Για να εκφραστεί αυτό ποσοτικά για τον υπολογισμό της συμβουλής λίπανσης σε κάλιο (Σ.Λ.Κ.), γίνονται οι παρακάτω πράξεις:

- Συντελεστής $K = 1 - (\text{ανταλλάξιμο κάλιο} / K_{\text{επ}})$, με το κάλιο επάρκειας να ισούται με $(110 + 2 \times \text{Άργιλος})/390$.
- Σ.Λ.Κ. = (Συντελεστής K) \times (Ανάγκες καλλιέργειας σε κάλιο).

Φαίνεται από τις σχέσεις αυτές ότι όταν το ανταλλάξιμο K είναι ίσο με το $K_{\text{επ}}$, τότε ο συντελεστής K γίνεται ίσος με 0, και όταν το ανταλλάξιμο K είναι μεγαλύτερο από το $K_{\text{επ}}$, τότε η συντελεστής K γίνεται αρνητικός, άρα χωρίς φυσικό νόημα. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις η συμβουλή λίπανσης σε κάλιο είναι μηδενική.

Για παράδειγμα, αν ένα έδαφος έχει άργιλο 31%, ανταλλάξιμο $K = 0,31 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (ή 120 mg kg^{-1}), η συμβουλή λίπανσης σε κάλιο για καλλιέργεια τομάτας (με ανάγκες ίσες με $20 \text{ kg K}_2\text{O/στρ}$) είναι ως εξής:

- $K_{\text{επ}} = (110 + 2 \times \text{Άργιλος})/390 = 0,44 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (ή 172 mg kg^{-1})
- Συντελεστής $K = 1 - (\text{ανταλλάξιμο κάλιο} / K_{\text{επ}}) = 1 - (0,31/0,44) = 1 - 0,705 = 0,296$. (Το ίδιο θα βγει αν το εκτιμήσουμε σε mg kg^{-1} , δηλαδή $1 - (120/172) = 0,296$.)
- Σ.Λ.Κ. = (Συντελεστής K) \times (Ανάγκες καλλιέργειας σε κάλιο) = $0,296 \times 20 \text{ kg K}_2\text{O/στρ} = 5,9 \text{ kg K}_2\text{O/στρ}$.

3.2. Σύγκριση μοντέλων

Το μοντέλο N-WHELM αφορά καλλιέργειες του ελληνικού χώρου, αλλά για λόγους πρακτικούς (ευχερέστερη σύγκριση με τα άλλα δύο μοντέλα και με καλλιέργειες κοινές και στα τρία μοντέλα) επιλέξαμε δύο καλλιέργειες, οι οποίες είναι μεγάλου οικονομικού ενδιαφέροντος για την χώρα: Καλαμπόκι και σιτάρι. Τα εδάφη συλλέχθηκαν από την περιοχή του Έβρου και η ακριβής τους προέλευση (πόλη/χωριό, περιοχή, παραγωγός) φαίνεται στον Πίνακα 1, του παραρτήματος. Τα πρωτογενή εδαφολογικά δεδομένα της εργασίας (αυτά που παρήχθησαν στο εργαστήριο), σε αντίθεση με άλλες παρόμοιες εργασίες (π.χ. Goodlass *et al.*, 2002), αποφασίστηκε να μην ληφθούν έτοιμα από άλλες πηγές, αλλά να αναλυθούν στο εργαστήριο. Αυτές οι εργαστηριακές αναλύσεις αποτέλεσαν την πρώτη φάση της εργασίας και φαίνονται στον Πίνακα 2, του παραρτήματος.

Εκτιμήθηκαν όλες οι εδαφολογικές παράμετροι που ήταν απαραίτητες για το μοντέλο N-WHELM, δηλαδή άμμος, ιλύς, άργιλος (για την εκτίμηση της κοκκομετρικής σύστασης

του εδάφους), $CaCO_3$, ανταλλάξιμο K , pH , P κατά Olsen και οργανική ουσία. Τα εδάφη κάλυπταν ένα ευρύ φάσμα ιδιοτήτων, κάτι που φαίνεται χαρακτηριστικά στον Πίνακα 3, του παραρτήματος. Η κοκκομετρική τους σύσταση ποίκιλε από αμμώδη εδάφη (με άμμο 95,60%) έως πολύ βαριά αργιλώδη (με άργιλο 70,20%). Το ίδιο συνέβη με το pH (από έντονα όξινα εδάφη με pH 4,32 έως αλκαλικά με pH 8,40), το $CaCO_3$ (τα όξινα εδάφη δεν περιείχαν καθόλου $CaCO_3$, ενώ κάποια ήταν ασβεστούχα (με $CaCO_3$ π. 16,19%), ενώ και τα θρεπτικά, φώσφορος (εκχύλιση κατά Olsen) και K (ανταλλάξιμο K) είχαν μεγάλο εύρος τιμών.

Τέλος είναι χαρακτηριστικό ότι η τιμή της οργανικής ουσίας ποίκιλε από σχεδόν καθόλου έως 13,39%, με το γεωμετρικό μέσο όρο, πάντως, να είναι πιο πάνω (2,38) από τα φυσιολογικά για την ελληνική επικράτεια επίπεδα (<2%). Στις περισσότερες αντίστοιχες εργασίες η σύγκριση «μάρτυρας» που γίνεται είναι με πειράματα αγρού που επιβεβαιώνουν ή διαψεύδουν το μοντέλο που παρουσιάζεται (π.χ. Osmond *et al.*, 1992). Στην περίπτωση μας αυτό ήταν πρακτικά αδύνατο, καθώς κάτι τέτοιο αποτελεί το τρίτο στάδιο ανάπτυξης τέτοιων μοντέλων (το πρώτο είναι η σύγκριση με άλλα μοντέλα με πολλά εδάφη, το δεύτερο είναι η δοκιμή του σε πείραμα θερμοκηπίου σε γλάστρες με λιγότερα εδάφη, και το τρίτο η δοκιμή του σε ανοιχτό χώρο, σε πολύ λιγότερους όμως αγρούς). Έτσι στην προσπάθειά μας να συγκρίνουμε τα μοντέλα μεταξύ τους τοποθετήσαμε όλα τα πρωτογενή δεδομένα, και για τα 73 εδάφη που αντιπροσωπεύουν ισάριθμα σετ δεδομένων, στα μοντέλα και παράγαμε τα δευτερογενή δεδομένα (τις συμβουλές λίπανσης σε N , P και K) για τις δυο καλλιέργειες.

Το μοντέλο N-WHELM, ως προς την καλλιέργεια του σιταριού πρόβλεψε ικανοποιητικά τις δόσεις N και P , καθώς δεν είχε καμία σημαντική διαφορά σε σχέση με το μοντέλο της Alberta και της Dakota. Ωστόσο παρατηρήθηκε διαφορά ανάμεσα στα μοντέλα ως προς τη συμβουλή λίπανσης του K . (Σχήμα 1, και αναλυτικά δεδομένα για τα 73 εδάφη στον Πίνακα 8, του παραρτήματος). Επιπρόσθετα σχετικά με την καλλιέργεια του καλαμποκιού σημειώθηκαν διαφορές ως προς τις συμβουλές λίπανσης N και K , ενώ ο P δεν είχε διαφορές (Σχήμα 1, και αναλυτικά δεδομένα για τα 73 εδάφη). Στην περίπτωση του αζώτου (πρώτο γράφημα) οι τιμές «βάσης» (18 kg N/στρ για το σιτάρι και 23 kg N/στρ για το καλαμπόκι) δεν διαφέρουν σημαντικά από τις προτεινόμενες από το N-WHELM, αλλά στην περίπτωση του P και του K (δεύτερο και τρίτο γράφημα, αντίστοιχα) οι διαφορές είναι μεγάλες, με τις προτεινόμενες συμβουλές λίπανσης να είναι πολύ χαμηλότερες από τις τιμές «βάσης» (για το P , σιτάρι = 7 και καλαμπόκι = 8 kg P_2O_5 /στρ, ενώ για το K , σιτάρι = 11 και καλαμπόκι = 14 kg K_2O /στρ). Είναι γνωστό ότι το N είναι το πλέον ευκίνητο θρεπτικό του

εδάφους, με πολύ μικρή υπολειμματική δράση. Δηλαδή ακόμα και αν ο παραγωγός υπερλιπώνει την καλλιέργειά του, το περίσσιο N θα χαθεί από τη ζώνη του ριζοστρώματος, είτε με έκπλυση με τη μορφή NO_3-N είτε με απώλεια πτητικών οξειδίων του N (NO_x), είτε με απώλεια ως αέρια αμμωνία (NH_3). Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι στην αρχή της επόμενης καλλιεργητικής περιόδου τα επίπεδα του διαθέσιμου N είναι σχεδόν μηδενικά (Havlin *et al.*, 2004). Σε αντίθεση με το N , ο P και το K έχουν υπολειμματική δράση (ιδίως ο P , O'Connor *et al.*, 2004), και άρα χρόνο με το χρόνο, ως αποτέλεσμα της συχνής λίπανσης έστω και με «φυσιολογικές» δόσεις, συσσωρεύονται στο έδαφος, και άρα οι συμβουλές λίπανσης που δίνονται από οργανωμένα μοντέλα είναι πολύ χαμηλές. Αυτό φαίνεται ιδίως στην περίπτωση του K , όπου η μέση συμβουλή των μοντέλων είναι μικρότερη από 1 kg K_2O /στρ για το καλαμπόκι και το σιτάρι. Αυτό φαίνεται και στους Πίνακες 7-8, του παραρτήματος, όπου οι περισσότερες συμβουλές των δύο μοντέλων σχετικά με το κάλιο είναι μηδενικές.

Αν και υπήρξε συμφωνία στα μοντέλα Alberta και N-WHELM, το Σχήμα 1 δείχνει ότι το μοντέλο Alberta έδωσε κατά μέσο όρο πολύ μικρότερες συμβουλές λίπανσης για το N . Μια πιθανή εξήγηση για αυτό είναι ότι τα εδάφη της Alberta έχουν μεγαλύτερη επάρκεια σε N , άρα οι συμβουλές που δίνονται είναι για μικρότερες εισροές N από ό,τι στα ελληνικά εδάφη. Επίσης, είναι πιθανό οι αναμενόμενες σοδειές να είναι χαμηλότερες από τις ελληνικές, και άρα οι τιμές απομάκρυνσης N από την καλλιέργεια μικρότερες. Το ίδιο συνέβη και με το φώσφορο στις δύο καλλιέργειες, όπου φάνηκε ότι η Dakota διαφέρει σημαντικά σε σχέση με το N-WHELM, πιθανό για αιτίες ανάλογες με αυτές που αναφέρθηκαν για την Alberta (αναλυτικά δεδομένα των μοντέλων Alberta και Dakota για όλα τα 73 εδάφη για τις δύο υπό μελέτη καλλιέργειες φαίνονται στους Πίνακες 7-8, του παραρτήματος).

Για την περαιτέρω σύγκριση των μοντέλων έγινε και απλή συσχέτιση μεταξύ των συμβουλών λίπανσης που προέκυψαν από τα μοντέλα N-WHELM, Alberta και Dakota (Πίνακας 12 για το N , 13 για το P και 14 για το K). Οι συσχετίσεις για το N (Πίνακας 12) επιβεβαίωσαν την εξαιρετική συμφωνία των δύο μοντέλων, καθώς είχαμε σημαντικές σχέσεις στο επίπεδο του 99,9% ($p < 0,001$), με $R^2 = 0,228$ για το καλαμπόκι και $R^2 = 0,175$ για το σιτάρι. Στη σύγκριση των δύο μοντέλων έχει σημασία όχι μόνο η σημαντικότητα της συμμεταβολής (κάτι που ποσοτικοποιείται με το συντελεστή R^2), αλλά και η εγγύτητα των δύο προβλέψεων, δηλαδή πόσο κοντά αυτές βρίσκονται στη γραμμή 1:1 του συστήματος αξόνων $x-y$, και άρα ο βαθμός συνταύτισης των δύο μοντέλων. Στις γραμμικές σχέσεις που προέκυψαν (της μορφής $y = ax + b$), ο συντελεστής a είναι αυτός που δείχνει την τυχόν ταύτιση

των δύο παραμέτρων, καθώς όσο πιο κοντά βρίσκεται στη μονάδα, τόσο περισσότερο ταυτίζονται οι συμβουλές λίπανσης των δύο μοντέλων. Στην περίπτωση μας, $a = 3,254$ για το καλαμπόκι και $a = 5,254$ για το σιτάρι, κάτι που επιβεβαιώνει ότι το μοντέλο Alberta δίνει συμβουλές λίπανσης περίπου 5 φορές χαμηλότερα για το σιτάρι και περίπου 3 φορές χαμηλότερα για το καλαμπόκι σε σχέση με το N-WHELM.

Όσο αφορά το φώσφορο (Πίνακας 13), οι συσχετίσεις μεταξύ των μοντέλων ήταν σημαντικές για το καλαμπόκι (με σχέσεις που είχαν $R^2=0,814^{***}$), και για το σιτάρι (με σχέσεις που είχαν $R^2=0,756^{***}$). Ο συντελεστής a ήταν χαμηλότερος από ό,τι στην περίπτωση του N για το καλαμπόκι ($a=0,663$), και για το σιτάρι ($a=0,369$). Αυτό σημαίνει ότι για τις δύο καλλιέργειες το N-WHELM έδωσε χαμηλότερες εκτιμήσεις συμβουλών λίπανσης από ότι το Dakota.

Όσο αφορά το κάλιο (Πίνακας 14), οι συσχετίσεις για τις δύο καλλιέργειες ήταν πολύ καλές και στατιστικά σημαντικές ($R^2=0,616^{***}$ για το καλαμπόκι και $R^2=0,712^{***}$ για το σιτάρι) και η εγγύτητα των συμβουλών ήταν πολύ καλή (όπως καταγράφηκαν με τους συντελεστές a για την κάθε καλλιέργεια ξεχωριστά ($a=0,316$ για το καλαμπόκι και $a=0,296$ για το σιτάρι)).

Σε μια προσπάθεια να βρούμε τη σχέση που συνδέει τις συμβουλές λίπανσης των μοντέλων (για N , P και K) με τις εδαφικές ιδιότητες αυτών, συσχετίσαμε αυτούς του δύο παράγοντες μεταξύ τους. Εφαρμόσαμε απλή συσχέτιση όσον αφορά το N για την καλλιέργεια του καλαμποκιού και του σιταριού σύμφωνα με το μοντέλο N-WHELM και Alberta και παρατηρήσαμε πως και στα δύο μοντέλα υπάρχει συμφωνία καθώς είχαμε σημαντικές σχέσεις στο επίπεδο του 99,9% ($p<0,001$), με $R^2=0,799$ για το καλαμπόκι στο N-WHELM και επίπεδο σημαντικότητας 99% ($p<0,01$), με $R^2=0,140$ στο μοντέλο της Alberta. Ακόμη, ως προς το σιτάρι, καταγράφηκε εξίσου συμφωνία των δυο μοντέλων με σημαντικότητα σχέσης στο επίπεδο του 99,9% ($p<0,001$), με $R^2=0,863$ για το σιτάρι στο N-WHELM και επίπεδο σημαντικότητας 99% ($p<0,01$), με $R^2=0,132$ στο μοντέλο της Alberta.

Σχετικά με το P πραγματοποιήσαμε πολλαπλές συσχετίσεις για τις δύο καλλιέργειες σύμφωνα με τα μοντέλα N-WHELM και Dakota, όπου εξαρτημένη μεταβλητή Y ήταν οι συμβουλές λίπανσης και εξαρτημένες μεταβλητές X ήταν η άργιλος, το CaCO_3 , ο P κατά Olsen και η οργανική ουσία. Παρατηρήσαμε πως και στα δύο μοντέλα υπάρχει πλήρης συμφωνία και ταύτιση καθώς είχαμε σημαντικές σχέσεις στο επίπεδο του 99,9% ($p<0,001$), με $R^2=0,262$ για το καλαμπόκι και $R^2=0,193^{**}$ στο μοντέλο της Dakota. Επιπρόσθετα, ως προς το σιτάρι, καταγράφηκε συμφωνία των δυο μοντέλων με σημαντικότητα σχέσης στο

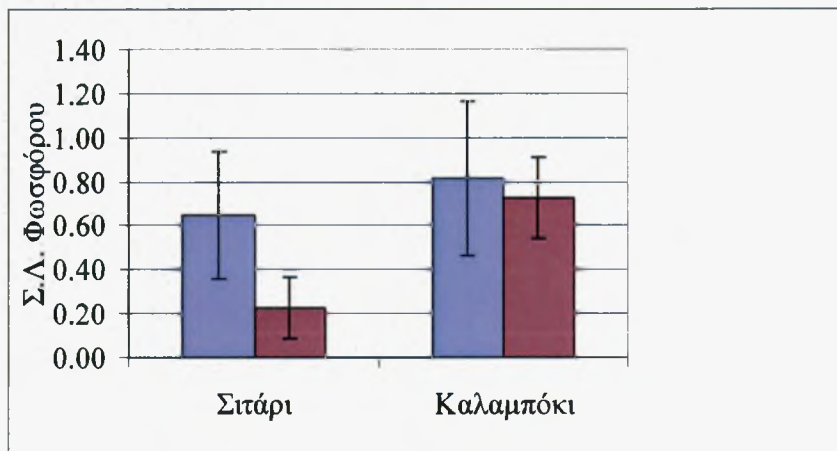
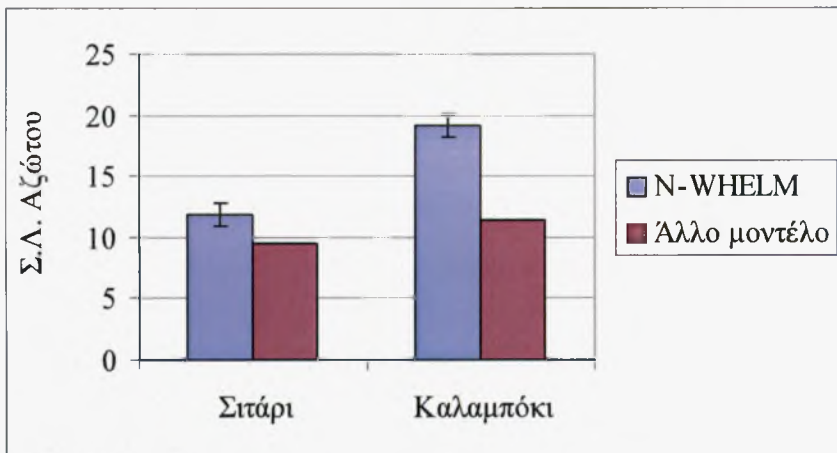
επίπεδο του 99,9% ($p < 0,001$), με $R^2 = 0,262$ για το σιτάρι στο N-WHELM και $R^2 = 0,189$ στο μοντέλο της Dakota.

Τέλος στο *K* εφαρμόσαμε πολλαπλές συσχετίσεις για τις δύο καλλιέργειες για να βρούμε τη συμμεταβολή των μοντέλων N-WHELM και Dakota με τις εδαφικές ιδιότητες άργιλος, CaCO_3 , ανταλλάξιμο K και οργανική ουσία. Κατά την εφαρμογή των συσχετίσεων παρουσιάστηκε πως δεν υπάρχει σημαντικότητα ως προς το μοντέλο N-WHELM για το καλαμπόκι, με $R^2 = 0,026$, ενώ ως προς το Dakota εμφανίστηκε συσχέτιση στο επίπεδο του 95% ($p < 0,05$), με $R^2 = 0,133$.

Εξίσου ως προς την καλλιέργεια του σιταριού δεν εμφανίστηκε σημαντικότητα ως προς το μοντέλο N-WHELM για το σιτάρι, με $R^2 = 0,026$, ενώ ως προς το Dakota εμφανίστηκε συσχέτιση στο επίπεδο του 95% ($p < 0,05$), με $R^2 = 0,1405$.

3.3. Συμπεράσματα

- Το μοντέλο N-WHELM έδωσε περισσότερες λιπαντικές μονάδες στη συμβουλή λίπανσης *N* σε σχέση με τα άλλα δύο μοντέλα, πιθανότατα λόγω υπερεπάρκειας *N* στις περιοχές προέλευσης εκείνων των μοντέλων.
- Οι συμβουλές λίπανσης του N-WHELM ήταν κατά μέσο όρο κατά πολύ χαμηλότερες από τις «τιμές βάσης» για το *N*, γεγονός που οδηγεί στην εξοικονόμηση πόρων.
- Στις συμβουλές λίπανσης του *P* και *K* εμφανίστηκαν πολλά μηδενικά αποτελέσματα, γεγονός που οφείλετε στην υπολειμματικότητα των στοιχείων και οδηγεί στο συμπέρασμα της κατάστασης της υπερλίπανσης των καλλιεργούμενων εδαφών του Β. Έβρου.
- Κατά την απλή συσχέτιση του N-WHELM με τις εδαφικές ιδιότητες παρατηρήθηκε ότι οι συμβουλές λίπανσης του *N* συσχετίζονται καλά με την οργανική ουσία, ενώ οι συμβουλές λίπανσης του *P* συσχετίζονται καλά με την άργιλο και οι συμβουλές λίπανσης του *K* συσχετίζονται καλά με άργιλο, CaCO_3 , ανταλλάξιμο K και οργανική ουσία. Επίσης φάνηκε ότι οι ανάγκες μια καλλιέργειας εξαρτώνται άμεσα από τις εδαφικές ιδιότητες και ότι η συμβουλή λίπανσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.



Σχήμα 1. Συμβουλές λίπανσης αζώτου, φωσφόρου και καλίου για τα 73 εδάφη σύμφωνα με τα μοντέλα N-WHELM, Alberta και Dakota, στις καλλιέργειες καλαμποκιού και σιταριού.

Παράρτημα

Πίνακας 1α. Στοιχεία προέλευσης των 73 εδαφικών δειγμάτων.			
A/A	Πόλη/χωριό	Περιοχή	Παραγωγός
1	Πλάτη	Άνω διώρυγα	Δρακούδης Στέργιος
2	Ρίζια	Βύσσα Έβρου	Γκαρελίδης Σταύρος Παύλου
3	Ποιμενικό διδ/χου	Μικρός κάμπος-ποιμενικού Έβρου	Μοσγούλης Ζήσης Ευαγγέλου
4	Μαράσια	Μαράσια-Δίκαια Έβρου	Αραμπατζίδης Βασίλειος Δημητρίου
5	Χανδράς	Αγγιστρο-Χανδρά Έβρου	Γκαρετζίδης Ζήσης
6	Ξάνθη		Νικολαΐδης Γεώργιος
7	Καναδάς	Καναδάς-Δίκαια Έβρου	Τσακμακλής Δημήτριος Χρήστου
8	Νεοχώρι ορεστιάδας	Λεκάνη-Νεοχώρι Έβρου	Τριανταφυλλίδης Ζήσης Χρήστου
9	Ρίζια	Ρίζια-Βύσσα Έβρου	Λογαρούδης Δημήτριος Γεωργίου
10	Δίλοφος	Παρατηρητήριο	Κυριαλάνης Σκαρλάτος
11	Κέραμος	Φυλάκιο κυπρίνου Έβρου	Μπεχτζουδής Νικόλαος Ζαφείριου
12	Ποιμενικό διδ/χου	Καναδάς-Δίκαια Έβρου	Μοσγούδης Ζήσης Ευαγγέλου
13	Ξάνθη		Νικολαΐδης Γεώργιος
14	Βάλτος	Χάλικας	Καραμανίδου Δημητρά
15	Πλάτη	Κάτω διώρυγα	Δημητρίου Απόστολος
16	Πλάτη	Άνω διώρυγα	Δρακούδης Αθανάσιος
17	Πάλλη	Άκρη χωρίου	Σωτηρούδης Γιάννης
18	Καναδάς	Καναδάς-Δίκαια Έβρου	Τσακμακλής Δημήτριος Χρήστου
19	Μάνη διδ/χου	Βοσκόρεμα-Μάνης Έβρου	Κουτσιμητούδης Γεώργιος
20	Ξάνθη		Νικολαΐδης Γεώργιος
21	Χανδράς	Αγκιστρο-Χανδρά Έβρου	Γκαρετζίδης Ζήσης
22	Πτελέα	Βρύσες	Εχιάδης Δημοσθένης
23	Μάνη διδ/χου	Κάμπος-Μάνης Έβρου	Κουτσιμητούδης Γεώργιος
24	Τυχερό		Τσερκεζής Χαράλαμπος

Πίνακας Ιβ. Στοιχεία προέλευσης των 73 εδαφικών δειγμάτων.			
A/A	Πόλη/χωριό	Περιοχή	Παραγωγός
25	Πτελέα	Μαλτέπε	Εχιάδης Δημοσθένης
26	Τυχερό		Τσερκέζης Χαράλαμπος
27	Ποιμενικό Διδ/χου	Καλαμιά-Ποιμενικού Έβρου	Μοσχούδης Ζήσης Ευαγγέλου
28	Πτελέα	Μαλτέπε	Εχιάδης Δημοσθένης
29	Ρίζια	Βύσσα-Ρίζια Έβρου	Λογαρούδης Δημήτριος Γεωργίου
30	Πάλλη	Βρυσούδες	Σωτηρούδης Γιάννης
31	Πτελέα	Κώστογλου	Γκινίκης Τριαντάφυλλος
32	Καβύλη		Βασιλειάδης Κων/νος
33	Χανδράς	Αγγιστρο-Χανδρά Έβρου	Γκανετζίδης Ζήσης
34	Μανή Διδ/χου	Αναδασμός Ευγενικού-Μανη Έβρου	Κουτσιμητούδης Γεώργιος
35	Καβύλη		Ζαμπουνίδης Αντώνιος
36	Δίλοφος	Κριθαρότοπος	Κυριαλάνης Σκαρλάτος
37	Πτελέα	Κώστογλου	Αργυριάδου Μηλιά
38	Πλάτη	Άνω διάφυρα	Δημητρίου Απόστολος
39	Τυχερό	Δεϊγμα 3	Εχιάδης Δημοσθένης
40	Πτελέα	Σκουπιδότοπος	Εχιάδης Δημοσθένης
41	Ξάνθη		Νικολαΐδης Γεώργιος
42	Πάλλη	Σωληνόρεμα	Σωτηρούδης Γιάννης
43	Πτελέα		Εχιάδης Δημοσθένης
44	Πτελέα		Εχιάδης Δημοσθένης
45	Πτελέα		Εχιάδης Δημοσθένης
46	Πτελέα		Εχιάδης Δημοσθένης
47	Πτελέα		Εχιάδης Δημοσθένης
48	Πτελέα		Εχιάδης Δημοσθένης
49	Κομοτηνή		Δουκίδης Νικόλαος

Πίνακας 1γ. Στοιχεία προέλευσης των 73 εδαφικών δειγμάτων.			
A/A	Πόλη/χωριό	Περιοχή	Παραγωγός
50	Αλεξ/πολη	Ζούρος φάρμα	Αναστασιάδης Δημήτρης
51	Τυχερό	Πανάχωμα	Μαλτεπιώτης Αθανάσιος
52	Τυχερό	Πανάχωμα	Μαλτεπιώτης Αθανάσιος
53	Αλεξ/πολη	Μοναστηράκι	Αναστασιάδης Δημήτρης
54	Αλεξ/πολη	Εγνατία δεξιά	Αναστασιάδης Δημήτρης
55	Αλεξ/πολη	Εγνατία αριστερά	Αναστασιάδης Δημήτρης
56	Αρσάκιο		Γολγάκης κων/ντινος
57	Αλεξ/πολη		Ευφραμίδης Χαράλαμπος
58	Τυχερό	Πανάχωμα	Μαλτεπιώτης Αθανάσιος
59	Τυχερό	Βάλτος	Μαλτεπιώτης Αθανάσιος
60	Αλεξ/πολη		Ευφραμίδης Χαράλαμπος
61	Αλεξ/πολη	Νοτια agrifert	Ευφραμίδης Χαράλαμπος
62	Τυχερό	Π. Ανάχωμα	Μαλτεπιώτης Αθανάσιος
63	Αλεξ/πολη		Ευφραμίδης Χαράλαμπος
64	Αλεξ/πολη		Ευφραμίδης Χαράλαμπος
65	Κομοτηνή		Δουκίδης Νικόλαος
66	Αλεξ/πολη	Μαράκ βορεινό	Ευφραμίδης Χαράλαμπος
67	Αλεξ/πολη		Ευφραμίδης Χαράλαμπος
68	Αλεξ/πολη		Ευφραμίδης Χαράλαμπος
69	Κομοτηνή		Δουκίδης Νικόλαος
70	Αρσάκιο		Γολγάκης κων/ντινος
71	Αλεξ/πολη		Ευφραμίδης Χαράλαμπος
72	Αρσάκιο		Γολγάκης κων/ντινος
73	Αλεξ/πολη	Μαράκ	Ευφραμίδης Χαράλαμπος

Πίνακας 2α. Ιδιότητες των 73 εδαφών για τις παραμέτρους που αναλύθηκαν.

A/A	pH	Οργ. ουσία %	Άμμος %	Γλύς %	Αργίλος %	Αντ. Κάλιο cmol _c /kg	Olsen-P mg/kg	CaCO ₃ %
1	8,4	1,18	90	5	6	0,178	89,6	0,51
2	7,62	2,00	73	11	16	0,300	74,8	0,77
3	8,27	3,50	25	35	40	0,650	216	1,26
4	8,09	3,41	73	7	20	0,482	12,8	0,71
5	4,56	3,40	85	5	10	0,308	84,8	0,00
6	6,14	1,99	79	10	11	0,457	83,2	0,00
7	7,18	2,32	74	5	21	0,713	178	0,13
8	6,73	2,92	69	7	24	0,508	20,8	0,00
9	7,38	3,11	76	12	12	0,311	25,6	0,76
10	8,12	3,15	74	6	20	0,869	83,6	2,30
11	5,68	1,07	67	10	23	0,281	97,2	0,00
12	8,19	2,92	72	14	14	0,307	80,8	1,80
13	6,3	2,52	79	9	12	0,383	52,4	0,00
14	7,68	1,51	78	9	12	0,342	166	0,48
15	6,34	3,33	74	12	14	0,314	186	0,00
16	8,38	2,35	78	10	12	0,247	138,8	1,12
17	5,61	3,45	84	5	10	0,378	82,4	0,00
18	5,42	1,73	74	6	20	0,406	116	0,00
19	7,66	4,20	71	7	22	0,707	82	3,11
20	8,29	1,61	76	11	14	0,330	78,4	0,70
21	8,23	4,44	81	8	11	0,293	135,2	3,72
22	5,02	1,98	76	6	18	0,403	54	0,00
23	7,71	2,54	75	2	23	0,229	324	0,60
24	7,61	3,55	68	14	18	0,872	211,6	1,02

Πίνακας 2β. Ιδιότητες των 73 εδαφών για τις παραμέτρους που αναλύθηκαν.

A/A	pH	Οργ. ουσία %	Άμμος %	Ιλύς %	Αργίλος %	Αντ. Κάλιο cmol _c /kg	Olsen-P mg/kg	CaCO ₃ %
25	6,89	2,76	67	7	26	0,346	64,4	0,00
26	7,76	2,86	72	14	14	0,698	84	0,37
27	5,93	0,53	70	8	22	0,372	169,6	0,00
28	5,95	2,03	74	10	16	0,316	55,2	0,00
29	6,9	3,24	76	4	20	0,445	234,4	0,00
30	6,33	2,50	67	11	22	0,471	225,6	0,00
31	6,2	2,81	73	6	21	0,523	71,2	0,00
32	6,95	1,14	77	13	10	0,272	62,4	0,00
33	8,03	2,84	75	7	18	0,231	87,2	1,22
34	6,63	2,13	78	10	12	0,719	204	0,00
35	7,7	2,46	74	8	18	0,351	18	0,92
36	8,29	2,07	76	8	16	0,538	98,4	5,95
37	5,16	3,78	73	5	22	0,629	164	0,00
38	7,67	1,65	86	6	8	0,175	164	0,77
39	8,19	1,66	62	12	26	0,876	79,2	1,03
40	8,01	2,64	82	6	12	0,227	20	1,86
41	7,7	2,92	84	7	8	0,157	83,2	0,79
42	7,72	2,51	78	8	14	0,367	85,6	0,45
43	4,36	3,16	78	14	8	0,340	88,8	0,00
44	4,75	3,68	39	25	36	0,387	85,6	0,00
45	4,38	1,54	42	26	32	0,361	212,8	0,00
46	4,32	13,39	77	11	12	0,282	50,4	0,00
47	4,8	3,99	30	32	38	0,348	92,8	0,00
48	5,61	4,13	82	10	8	0,288	200,8	0,00
49	7,63	3,97	78	10	12	0,394	171,6	0,81

Πίνακας 2γ. Ιδιότητες των 73 εδαφών για τις παραμέτρους που αναλύθηκαν.

A/A	pH	Οργ. ουσία %	Άμμος %	Ιλύς %	Αργίλος %	Αντ. Κάλιο cmol _c /kg	Olsen-P mg/kg	CaCO ₃ %
50	7,85	1,29	30	24	46	0,562	3,6	2,34
51	7,68	3,13	26	38	36	0,687	96,8	0,66
52	7,79	3,70	70	13	16	0,799	102,8	0,71
53	6,94	3,00	96	1	3	0,140	40	0,00
54	7,95	3,61	74	14	12	0,579	53,6	3,06
55	7,89	3,21	74	14	12	0,548	30	4,37
56	8,01	3,28	6	24	70	0,621	57,2	16,19
57	7,71	1,74	83	5	12	0,685	40,4	3,81
58	7,92	3,34	70	16	14	0,595	228	1,29
59	8,02	4,53	70	16	14	0,524	103,6	1,26
60	5,73	1,41	77	9	14	0,606	54,4	0,00
61	7,99	1,61	76	12	12	0,322	96	2,88
62	7,9	1,68	76	16	8	0,566	79,2	0,71
63	6,9	2,17	82	7	10	0,641	53,2	1,75
64	7,6	1,72	80	9	10	0,407	64,8	0,86
65	7,98	0,80	84	6	10	0,758	72	4,73
66	6,74	1,21	76	8	16	0,487	78,8	0,00
67	5,16	1,44	85	9	6	0,310	72	0,00
68	7,45	1,93	76	12	12	0,394	60,8	1,75
69	7,85	1,66	80	6	14	0,466	54,4	0,64
70	7,91	2,14	73	3	24	0,345	8	1,71
71	7,47	1,65	78	13	8	0,299	8,4	1,74
72	7,93	1,96	79	13	8	0,336	40,4	2,50
73	5,29	1,61	80	6	14	0,336	69,2	0,00

Πίνακας 3. Η ελάχιστη και μέγιστη τιμή, η τυπική απόκλιση, ο μέσος όρος και ο γεωμετρικός μέσος των 10 παραμέτρων των 73 εδαφών.

	Αριθμός	Ιλύς	Άμμος	CaCO ₃	Αντ. Κ	pH	Olsen-P	Οργ.ουσία
Ελάχιστο	3,20	1,20	5,86	0,00	54,90	4,32	3,60	0,53
Μέγιστο	70,20	37,91	95,60	16,19	342,01	8,40	324,00	13,39
Τυπική απόκλιση	10,46	7,01	15,68	2,20	71,03	1,19	65,24	1,58
Μέσος όρος	17,39	10,94	71,67	1,18	174,59	7,02	97,46	2,66
Γεωμετρικός μέσος	15,19	9,25	68,27	-	160,58	6,90	75,00	2,38

Πίνακας 4α. Προτάσεις για την αζωτούχο λίπανση σε σχέση με τις παραμέτρους του μοντέλου N-WHELM.

A/A	Εδαφική υφή	Εδαφική σύσταση	Εισροή N από	OM	Υφή	Μεταβολή απόδοσης λιπάσματος από το 80% λόγω	pH	CaCO ₃	Σ
1	Αμώδης	E		4,64	-10		-14	0,51	55,49
2	Αμμοπηλώδης	E		7,83	-10		-6,2	0,77	63,03
3	Αργιλώδης	B		6,70	10		-12,7	1,26	76,04
4	Αμμοαργιλοπηλώδης	E		13,33	-10		-10,9	0,71	58,39
5	Αργιλοαμώδης	E		13,25	-10		24,4	0,00	90,00
6	Αμμοπηλώδης	E		7,80	-10		8,6	0,00	78,60
7	Αμμοαργιλοπηλώδης	M		8,90	0		-1,8	0,13	78,07
8	Αμμοαργιλοπηλώδης	M		11,18	0		2,7	0,00	82,70
9	Αμμοπηλώδης	E		12,15	-10		-3,8	0,76	65,44
10	Αμμοαργιλοπηλώδης	E		12,33	-10		-11,2	2,30	56,50
11	Αμμοαργιλοπηλώδης	M		4,10	0		13,2	0,00	90,00
12	Αμμοπηλώδης	E		11,42	-10		-11,9	1,80	56,30
13	Αμμοπηλώδης	E		9,84	-10		7	0,00	77,00
14	Αμμοπηλώδης	E		5,90	-10		-6,8	0,49	62,71
15	Αμμοπηλώδης	E		13,05	-10		6,6	0,00	76,60
16	Αμμοπηλώδης	E		9,18	-10		-13,8	1,12	55,08
17	Αργιλοαμώδης	E		13,50	-10		13,9	0,00	83,90
18	Αμμοαργιλοπηλώδης	E		6,76	-10		15,8	0,00	85,80
19	Αμμοαργιλοπηλώδης	M		16,09	0		-6,6	3,11	70,29
20	Αμμοπηλώδης	E		6,29	-10		-12,9	0,70	56,40
21	Αμμοπηλώδης	E		17,38	-10		-12,3	3,72	53,98
22	Αμμοπηλώδης	E		7,77	-10		19,8	0,00	89,80
23	Αμμοαργιλοπηλώδης	M		9,73	0		-7,1	0,60	72,30
24	Αμμοπηλώδης	E		13,88	-10		-6,1	1,02	62,88
25	Αμμοαργιλοπηλώδης	M		10,59	0		1,1	0,00	81,10
26	Αμμοπηλώδης	E		11,19	-10		-7,6	0,37	62,03

Πίνακας 4β. Προτάσεις για την αζωτούχο λίπανση σε σχέση με τις παραμέτρους του N-WHELM μοντέλου.

A/A	Εδαφική υφή	Εισροή N από		Μεταβολή απόδοσης λιπάσματος από το 80% λόγω			Σ
		Εδαφική σύσταση	OM	Υφή	pH	CaCO ₃	
27	Αμμοπηλώδης	M	11,19	-10	10.7	0,37	90.00
28	Αμμοπηλώδης	E	2,05	0	10.5	0,00	80.50
29	Αμμοαργιλοπηλώδης	E	7,95	-10	1	0,00	71.00
30	Αμμοαργιλοπηλώδης	M	12,67	-10	6.7	0,00	86.70
31	Αμμοαργιλοπηλώδης	M	9,58	0	8	0,00	88.00
32	Αμμοπηλώδης	E	10,78	0	0.5	0,00	70.50
33	Αμμοπηλώδης	E	4,46	-10	-10.3	0,00	58.48
34	Αμμοπηλώδης	E	11,11	-10	3.7	1,22	73.70
35	Αμμοπηλώδης	E	8,33	-10	-7	0,00	62.08
36	Αμμοπηλώδης	E	9,61	-10	-12.9	0,92	51.15
37	Αμμοπηλώδης	M	8,08	-10	18.4	5,95	90.00
38	Αργιλοαμμώδης	E	14,48	0	-6.7	0,00	62.53
39	Αμμοαργιλοπηλώδης	E	6,45	-10	-11.9	0,77	57.07
40	Αμμοπηλώδης	E	6,49	-10	-10.1	1,03	58.04
41	Αργιλοαμμώδης	E	10,32	-10	-7	1,86	62.20
42	Αμμοπηλώδης	E	11,44	-10	-7.2	0,80	62.36
43	Αμμοπηλώδης	E	9,81	-10	26.4	0,44	90.00
44	Αργιλοαμμώδης	B	12,36	-10	22.5	0,00	90.00
45	Αργιλοαμμώδης	B	7,03	10	26.2	0,00	90.00
46	Αμμοπηλώδης	E	2,95	10	26.8	0,00	90.00
47	Αργιλοαμμώδης	B	52,37	-10	22	0,00	90.00
48	Αργιλοαμμώδης	E	7,62	10	13.9	0,00	83.90
49	Αμμοπηλώδης	E	16,13	-10	-6.3	0,00	62.89
50	Αργιλώδης	B	15,51	-10	-8.5	0,81	79.16
51	Αργιλοαμμώδης	B	2,46	10	-6.8	2,34	82.54
52	Αμμοπηλώδης	E	5,98	10	-7.9	0,66	61.39

Πίνακας 4γ. Προτάσεις για την αζωτούχο λίπανση σε σχέση με τις παραμέτρους του N-WHELM μοντέλου.

A/A	Εδαφική υφή	Εισροή N από		Μεταβολή απόδοσης λιπάσματος από το 80% λόγω			Σ
		Εδαφική σύσταση	OM	Υφή	pH	CaCO ₃	
53	Αμώδης	E	11,74	-10	0,6	0,00	70,60
54	Αμμοπηλώδης	E	14,13	-10	-9,5	3,06	57,44
55	Αμμοπηλώδης	E	12,57	-10	-8,9	4,37	56,73
56	Αργιλώδης	B	6,28	10	-10,1	16,19	63,71
57	Αργλοαμμώδης	E	6,82	-10	-7,1	3,81	59,09
58	Αμμοπηλώδης	E	13,05	-10	-9,2	1,29	59,51
59	Αμμοπηλώδης	E	17,72	-10	-10,2	1,26	58,54
60	Αμμοπηλώδης	E	5,51	-10	12,7	0,00	82,70
61	Αμμοπηλώδης	E	6,29	-10	-9,9	2,88	57,22
62	Αμμοπηλώδης	E	6,56	-10	-9	0,72	60,28
63	Αργλοαμμώδης	E	8,47	-10	1	1,76	69,24
64	Αμμοπηλώδης	E	6,72	-10	-6	0,86	63,14
65	Αργλοαμμώδης	E	3,15	-10	-9,8	4,73	55,47
66	Αμμοπηλώδης	E	4,72	-10	2,6	0,00	72,60
67	Αργλοαμμώδης	E	5,63	-10	18,4	0,00	88,40
68	Αργλοαμμώδης	E	7,55	-10	-4,5	1,75	63,75
69	Αμμοπηλώδης	E	6,51	-10	-8,5	0,64	60,86
70	Αμμοαργιλοπηλώδης	E	8,38	-10	-9,1	1,71	59,19
71	Αμμοπηλώδης	E	6,44	-10	-4,7	1,74	63,56
72	Αργλοαμμώδης	E	7,68	-10	-9,3	2,51	58,19
73	Αμμοπηλώδης	E	6,29	-10	17,1	0,00	87,10

Πίνακας 5α. Συγκενρωτικά αποτελέσματα των εδαφών ως προς το φώσφορο.

A/A	Εδαφική σύσταση	Εισροές P	Μεταβολή λόγω CaCO ₃	Μεταβολή λόγω pH	Αποδοτικότητα P
1	E	1,54	1.271	0,00	68,73
2	E	2,60	1.919	0,00	68,08
3	B	2,24	3.150	0,00	66,85
4	E	4,43	1.776	0,00	68,22
5	E	4,41	0.000	12,20	57,80
6	E	2,59	0.000	4,30	65,70
7	M	2,95	0.320	0,00	69,68
8	M	3,71	0.000	1,35	68,65
9	E	4,04	1.901	0,00	68,10
10	E	4,10	5.752	0,00	64,25
11	M	1,36	0.000	6,60	63,40
12	E	3,80	4.509	0,00	65,49
13	E	3,27	0.000	3,50	66,50
14	E	1,96	1.217	0,00	68,78
15	E	4,34	0.000	3,30	66,70
16	E	3,05	2.808	0,00	67,19
17	E	4,49	0.000	6,95	63,05
18	E	2,25	0.000	7,90	62,10
19	M	5,33	7.771	0,00	62,23
20	E	2,09	1.751	0,00	68,25
21	E	5,78	9.299	0,00	60,70
22	E	2,58	0.000	9,90	60,10
23	M	3,23	1.493	0,00	68,51
24	E	4,61	2.543	0,00	67,46
25	M	3,51	0.000	0,55	69,45

Πίνακας 5β. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των εδαφών ως προς το φώσφορο.

A/A	Εδαφική σύσταση	Εισροές P	Μεταβολή λόγω CaCO ₃	Μεταβολή λόγω pH	Αποδοτικότητα P
26	E	3,72	0.924	0.00	69,08
27	M	0,68	0.000	5.35	64,65
28	E	2,64	0.000	5.25	64,75
29	E	4,21	0.000	0.50	69,50
30	M	3,18	0.000	3.35	66,65
31	M	3,58	0.000	4.00	66,00
32	E	1,48	0.000	0.25	69,75
33	E	3,69	3.051	0.00	66,95
34	E	2,77	0.000	1.85	68,15
35	E	3,19	2.304	0.00	67,70
36	E	2,69	14.871	0.00	55,13
37	M	4,80	0.000	9.20	60,80
38	E	2,15	1.922	0.00	68,08
39	E	2,16	2.576	0.00	67,42
40	E	3,43	4.639	0.00	65,36
41	E	3,80	1.989	0.00	68,01
42	E	3,26	1.113	0.00	68,89
43	E	4,11	0.000	13.20	56,80
44	B	2,36	0.000	11.25	58,75
45	B	0,99	0.000	13.10	56,90
46	E	17,41	0.000	13.40	56,60
47	B	2,55	0.000	11.00	59,00
48	E	5,36	0.000	6.95	63,05
49	E	5,16	2.014	0.00	67,99
50	B	0,83	5.856	0.00	64,14

Πίνακας 5γ. Συγκριτικά αποτελέσματα των εδαφών ως προς το φώσφορο.

A/A	Εδαφική σύσταση	Εισροές P	Μεταβολή λόγω CaCO ₃	Μεταβολή λόγω pH	Αποδοτικότητα P
51	B	2,00	1.657	0.00	68,34
52	E	4,82	1.776	0.00	68,22
53	E	3,90	0.000	0.30	69,70
54	E	4,70	7.640	0.00	62,36
55	E	4,18	10.923	0.00	59,08
56	B	2,10	16.191	0.00	53,81
57	E	2,27	9.529	0.00	60,47
58	E	4,34	3.227	0.00	66,77
59	E	5,89	3.138	0.00	66,86
60	E	1,83	0.000	6.35	63,65
61	E	2,09	7.206	0.00	62,79
62	E	2,18	1.796	0.00	68,20
63	E	2,82	4.394	0.50	65,11
64	E	2,23	2.150	0.00	67,85
65	E	1,05	11.827	0.00	58,17
66	E	1,57	0.000	1.30	68,70
67	E	1,87	0.000	9.20	60,80
68	E	2,51	4.369	0.00	65,63
69	E	2,16	1.597	0.00	68,40
70	E	2,79	4.276	0.00	65,72
71	E	2,14	4.353	0.00	65,65
72	E	2,55	6.275	0.00	63,73
73	E	2,09	0.000	8.55	61,45

Πίνακας 6α. Συγκριτικά αποτελέσματα των εδαφών ως προς το κάλιο.

A/A	Ανταλλάξιμο κάλιο	Επάρκεια καλίου	Συντελεστής καλίου
1	0,178	0,310769	0,43
2	0,301	0,364103	0,17
3	0,650	0,488735	0,00
4	0,483	0,386667	0,00
5	0,308	0,333333	0,08
6	0,457	0,339487	0,00
7	0,713	0,388718	0,00
8	0,509	0,405128	0,00
9	0,312	0,345641	0,10
10	0,870	0,386667	0,00
11	0,281	0,401026	0,30
12	0,307	0,351795	0,13
13	0,383	0,345641	0,00
14	0,343	0,345641	0,01
15	0,314	0,355897	0,12
16	0,247	0,345641	0,28
17	0,378	0,335385	0,00
18	0,406	0,386667	0,00
19	0,708	0,394872	0,00
20	0,330	0,351795	0,06
21	0,294	0,337436	0,13
22	0,404	0,37641	0,00
23	0,230	0,401026	0,43
24	0,873	0,37641	0,00
25	0,346	0,415385	0,17

Πίνακας 6β. Συγκενρωτικά αποτελέσματα των εδαφών ως προς το κάλιο.

A/A	Ανταλλάξιμο κάλιο	Επάρκεια καλίου	Συντελεστής καλίου
26	0,698	0,355897	0,00
27	0,372	0,396923	0,06
28	0,316	0,366154	0,14
29	0,445	0,386667	0,00
30	0,471	0,394872	0,00
31	0,524	0,390769	0,00
32	0,273	0,335385	0,19
33	0,232	0,374359	0,38
34	0,720	0,345641	0,00
35	0,352	0,37641	0,07
36	0,539	0,362051	0,00
37	0,629	0,396923	0,00
38	0,175	0,321026	0,45
39	0,877	0,417436	0,00
40	0,228	0,341538	0,33
41	0,157	0,325128	0,52
42	0,367	0,355897	0,00
43	0,341	0,325128	0,00
44	0,388	0,46871	0,17
45	0,362	0,447873	0,19
46	0,283	0,345641	0,18
47	0,348	0,477878	0,27
48	0,288	0,325128	0,11
49	0,395	0,345641	0,00
50	0,562	0,518299	0,00

Πίνακας 6γ. Συγκενρωτικά αποτελέσματα των εδαφών ως προς το κάλιο.

A/A	Ανταλλάξιμο κάλιο	Επάρκεια καλίου	Συντελεστής καλίου
51	0,687	0,468271	0,00
52	0,800	0,366154	0,00
53	0,141	0,298462	0,53
54	0,580	0,345641	0,00
55	0,548	0,345641	0,00
56	0,622	0,642069	0,03
57	0,685	0,34359	0,00
58	0,596	0,355897	0,00
59	0,524	0,355897	0,00
60	0,607	0,353846	0,00
61	0,323	0,34359	0,06
62	0,566	0,325128	0,00
63	0,641	0,335385	0,00
64	0,408	0,335385	0,00
65	0,758	0,333333	0,00
66	0,487	0,364103	0,00
67	0,310	0,314872	0,02
68	0,394	0,34359	0,00
69	0,466	0,353846	0,00
70	0,346	0,405128	0,15
71	0,300	0,325128	0,08
72	0,336	0,323077	0,00
73	0,336	0,353846	0,05

Πίνακας 7α. Συμβουλή λίπανσης για την καλλιέργεια του καλαμποκιού για τα 73 εδάφη, για το N, P₂O₅ και K₂O σύμφωνα με τα μοντέλα N-WHELM και τα άλλα μοντέλα (Alberta και Dakota).

A/A	N-WHELM			Άλλο μοντέλο		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	33,08	0	5,96	11,81	0,00	16,4250
2	24,07	0	2,44	11,81	0,00	9,7875
3	21,44	0	0,00	12,38	0,00	0,0000
4	16,56	5,23	0,00	11,81	0,00	0,0000
5	10,32	0	1,06	7,31	0,00	9,7875
6	19,34	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
7	18,06	0	0,00	12,38	0,00	0,0000
8	14,29	6,25	0,00	12,38	0,00	0,0000
9	16,59	5,82	1,37	11,81	0,00	6,7500
10	18,89	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
11	20,28	0	4,19	12,38	0,00	9,7875
12	20,57	0	1,77	11,81	0,00	9,7875
13	17,08	0	0,00	11,81	0,00	6,7500
14	27,27	0	0,12	11,81	0,00	6,7500
15	12,99	0	1,64	11,81	0,00	6,7500
16	25,09	0	3,99	11,81	0,00	9,7875
17	11,32	0	0,00	11,25	0,00	6,7500
18	18,93	0	0,00	10,69	0,00	6,7500
19	9,84	0	0,00	12,38	0,00	0,0000
20	29,62	0	0,86	11,81	0,00	6,7500
21	10,41	0	1,82	11,81	0,00	9,7875
22	16,96	0	0,00	9,00	0,00	6,7500
23	18,35	0	5,99	12,38	0,00	9,7875
24	14,50	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
25	15,31	0	2,33	12,38	0,00	6,7500

Πίνακας 7β. Συμβουλή λίπανσης για την καλλιέργεια του καλαμποκιού για τα 73 εδάφη, για το N, P₂O₅ και K₂O σύμφωνα με τα μοντέλα N-WHELM και Dakota.

A/A	N-WHELM			Άλλο μοντέλο		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
26	19,04	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
27	23,10	0	0,87	12,38	0,00	6,7500
28	18,69	0	1,92	11,81	0,00	6,7500
29	14,55	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
30	15,48	0	0,00	12,38	0,00	0,0000
31	13,88	0	0,00	12,38	0,00	0,0000
32	26,30	0	2,61	11,81	0,00	9,7875
33	20,33	0	5,33	11,81	0,00	9,7875
34	19,91	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
35	21,57	7,10	0,92	11,81	0,00	6,7500
36	29,18	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
37	8,66	0	0,00	10,69	0,00	0,0000
38	26,46	0	6,37	11,81	0,00	16,4250
39	28,92	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
40	21,85	6,99	4,66	11,81	0,00	9,7875
41	18,59	0	7,23	11,81	0,00	16,4250
42	21,16	0	0,00	11,81	0,00	6,7500
43	11,03	0	0,00	7,31	0,00	6,7500
44	14,20	0	2,42	8,44	0,00	6,7500
45	17,26	0	2,69	7,88	0,00	6,7500
46	-30,34	0	2,55	7,31	0,00	9,7875
47	13,73	0	3,80	8,44	0,00	6,7500
48	8,19	0	1,58	11,25	0,00	9,7875
49	11,91	0	0,00	11,81	0,00	6,7500
50	25,94	11,18	0,00	12,38	10,35	0,0000

Πίνακας 7γ. Συμβουλή λίπανσης για την καλλιέργεια του καλαμποκιού για τα 73 εδάφη, για το N, P₂O₅ και K₂O σύμφωνα με τα μοντέλα N-WHELM και Dakota.

A/A	N-WHELM			Άλλο μοντέλο		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
51	20,63	0	0,00	12,38	0,00	0,0000
52	13,87	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
53	15,95	0	7,40	11,81	0,00	16,4250
54	15,44	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
55	18,38	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
56	26,25	0	0,44	12,38	0,00	0,0000
57	27,39	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
58	16,72	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
59	9,02	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
60	21,15	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
61	29,20	0	0,86	11,81	0,00	6,7500
62	27,28	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
63	20,98	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
64	25,78	0	0,00	11,81	0,00	6,7500
65	35,79	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
66	25,18	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
67	19,64	0	0,21	9,56	0,00	9,7875
68	24,24	0	0,00	11,81	0,00	6,7500
69	27,10	0	0,00	11,81	0,00	0,0000
70	24,71	7,93	2,06	11,81	6,30	6,7500
71	26,06	8,93	1,09	11,81	6,30	9,7875
72	26,33	0	0,00	11,81	0,00	6,7500
73	19,18	0	0,70	10,13	0,00	6,7500

Πίνακας 8α. Συμβουλή λίπανσης για την καλλιέργεια του σιταριού για τα 73 εδάφη, για το N, P₂O₅ και K₂O σύμφωνα με τα μοντέλα N-WHELM και Dakota.

A/A	N-WHELM			Άλλο μοντέλο		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	24,07	0	4,69	9,56	0,00	15,187
2	16,14	0	1,92	9,56	0,00	9,113
3	14,86	0	0,00	10,13	0,00	0,000
4	7,99	3,76	0,00	9,56	0,00	0,000
5	5,03	0	0,83	7,31	0,00	9,113
6	12,98	0	0,00	9,56	0,00	0,000
7	11,65	0	0,00	10,13	0,00	0,000
8	8,25	4,80	0,00	10,13	0,00	0,000
9	8,95	4,35	1,07	9,56	0,00	2,925
10	10,04	0	0,00	9,56	0,00	0,000
11	14,91	0	3,29	10,13	0,00	9,113
12	11,69	0	1,39	9,56	0,00	9,113
13	10,59	0	0,00	9,56	0,00	2,925
14	19,30	0	0,09	9,56	0,00	2,925
15	6,47	0	1,28	9,56	0,00	2,925
16	16,01	0	3,13	9,56	0,00	9,112
17	5,36	0	0,00	9,00	0,00	2,925
18	13,10	0	0,00	9,00	0,00	2,925
19	2,72	0	0,00	10,13	0,00	0,000
20	20,76	0	0,67	9,56	0,00	2,925
21	1,14	0	1,43	9,56	0,00	9,112
22	11,39	0	0,00	7,88	0,00	2,925
23	11,43	0	4,70	10,13	0,00	9,112
24	6,55	0	0,00	9,56	0,00	0,000
25	9,14	0	1,83	10,13	0,00	2,925

Πίνακας 8β. Συμβουλή λίπανσης για την καλλιέργεια του σιταριού για τα 73 εδάφη, για το N, P₂O₅ και K₂O σύμφωνα με τα μοντέλα N-WHELM και Dakota.

A/A	N-WHELM			Άλλο μοντέλο		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
26	10,98	0	0,00	9,56	0,00	0,000
27	17,59	0	0,68	10,13	0,00	2,925
28	12,48	0	1,51	9,56	0,00	2,925
29	7,50	0	0,00	9,56	0,00	0,000
30	9,71	0	0,00	10,13	0,00	0,000
31	8,20	0	0,00	10,13	0,00	0,000
32	19,21	0	2,05	9,56	0,00	9,112
33	11,78	0	4,19	9,56	0,00	9,112
34	13,13	0	0,00	9,56	0,00	0,000
35	13,52	5,62	0,73	9,56	0,00	2,925
36	19,40	0	0,00	9,56	0,00	0,000
37	3,57	0	0,00	9,00	0,00	0,000
38	18,47	0	5,00	9,56	0,00	15,188
39	20,16	0	0,00	9,56	0,00	0,000
40	13,23	5,46	3,66	9,56	0,00	9,112
41	10,55	0	5,68	9,56	0,00	15,187
42	13,14	0	0,00	9,56	0,00	2,925
43	5,85	0	0,00	7,31	0,00	2,925
44	9,75	0	1,90	8,44	0,00	2,925
45	12,95	0	2,11	8,44	0,00	2,925
46	-35,50	0	2,01	7,31	0,00	9,112
47	9,27	0	2,99	8,44	0,00	2,925
48	2,23	0	1,24	9,00	0,00	9,112
49	3,96	0	0,00	9,56	0,00	2,925
50	19,63	9,63	0,00	10,13	8,78	0,000

Πίνακας 8γ. Συμβουλή λίπανσης για την καλλιέργεια του σιταριού για τα 73 εδάφη, για το N, P₂O₅ και K₂O σύμφωνα με τα μοντέλα N-WHELM και Dakota.

A/A	N-WHELM			Άλλο μοντέλο		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
51	14,57	0	0,00	10,13	0,00	0,000
52	5,73	0	0,00	9,56	0,00	0,000
53	8,87	0	5,81	9,56	0,00	15,187
54	6,74	0	0,00	9,56	0,00	0,000
55	9,57	0	0,00	9,56	0,00	0,000
56	18,40	0	0,35	10,13	0,00	0,000
57	18,92	0	0,00	9,56	0,00	0,000
58	8,32	0	0,00	9,56	0,00	0,000
59	0,48	0	0,00	9,56	0,00	0,000
60	15,11	0	0,00	9,00	0,00	0,000
61	20,46	0	0,67	9,56	0,00	2,925
62	18,98	0	0,00	9,56	0,00	0,000
63	13,76	0	0,00	9,56	0,00	0,000
64	17,86	0	0,00	9,56	0,00	2,925
65	26,78	0	0,00	9,56	0,00	0,000
66	18,29	0	0,00	9,56	0,00	0,000
67	13,99	0	0,17	8,44	0,00	9,112
68	16,40	0	0,00	9,56	0,00	2,925
69	18,89	0	0,00	9,56	0,00	0,000
70	16,26	6,41	1,62	9,56	3,94	2,925
71	18,19	7,40	0,86	9,56	3,94	9,112
72	17,74	0	0,00	9,56	0,00	2,925
73	13,44	0	0,55	8,44	0,00	2,925

Πίνακας 9α. Απλή συσχέτιση όσον αφορά το N για την καλλιέργεια του καλαμποκιού, του σιταριού σύμφωνα με το μοντέλο N-WHELM και Alberta.

Καλαμπόκι

N-WHELM

Y	Συντελεστής	Συντελεστής του παράγοντα «Οργανική ουσία»	R ²	P-value
Συμβουλές λίπανσης N από N-WHELM	31,91	-4,80	0,799	0,0000 ***

Alberta

Y	Συντελεστής	Συντελεστής του παράγοντα «Οργανική ουσία»	R ²	P-value
Συμβουλές λίπανσης N από Alberta	12,22	-0,30	0,140	0,0011 **

Πίνακας 9β. Απλή συσχέτιση όσον αφορά το N για την καλλιέργεια, του σιταριού σύμφωνα με το μοντέλο N-WHELM και Alberta.

Σιτάρι

N-WHELM

Y	X	Συντελεστής χωρίς x	Συντελεστής του x	R ²	P-value
Συμβουλές λίπανσης N από N-WHELM	Οργανική ουσία	24,32	-4,663	0,863	0,0000***

Alberta

Y	X	Συντελεστής χωρίς x	Συντελεστής του x	R ²	P-value
Συμβουλές λίπανσης N από Alberta	Οργανική ουσία	9,81	-0,145	0,132	0,0016**

Πίνακας 10 α. Πολλαπλές συσχετίσεις όσον αφορά το P για την καλιέργεια του καλαμποκιού σύμφωνα με τα μοντέλα N-WHELM και Dakota.

Καλαμπόκι

N-WHELM

Y	Συντελεστής χωρίς x	Συντελεστής Αργίλου	Συντελεστής CaCO ₃	Συντελεστής Olsen	Συντελεστής οργ. ουσίας	R ²	P-value
Συμβουλές λίπανσης P από N-WHELM	2,000	0,064	-0,198	-0,018	-0,111	0,262	0,0003***

Dakota

Y	Συντελεστής χωρίς x	Συντελεστής Αργίλου	Συντελεστής CaCO ₃	Συντελεστής Olsen	Συντελεστής οργ. ουσίας	R ²	P-value
Συμβουλές λίπανσης P από Dakota	1,733	0,084	-0,198	-0,017	0,203	0,193	0,005**

Πίνακας 10 β. Πολλαπλές συσχετίσεις όσον αφορά το P για την καλλιέργεια του σιταριού σύμφωνα με τα μοντέλα N-WHELM και Dakota.

Σιτάρι

N-WHELM

Y	Συντελεστής χωρίς x	Συντελεστής Αργίλου	Συντελεστής CaCO ₃	Συντελεστής Olsen	Συντελεστής οργ. ουσίας	R ²	P-value
Συμβουλές λίπανσης P από N-WHELM	1.589	0.054	-0.159	-0.015	-0.099	0.262	0.0003***

Dakota

Y	Συντελεστής χωρίς x	Συντελεστής Αργίλου	Συντελεστής CaCO ₃	Συντελεστής Olsen	Συντελεστής οργ. ουσίας	R ²	P-value
Συμβουλές λίπανσης P από Dakota	0.445	0.041	-0.076	-0.006	-0.103	0.189	0.0059**

Πίνακας 11α. Πολλαπλές συσχετίσεις όσον αφορά το Κ για την καλλιέργεια του καλαμποκιού σύμφωνα με τα μοντέλα N-WHELM και Dakota.

Καλαμπόκι

N-WHELM

Y	Συντελεστής χωρίς x	Συντελεστής Αργίλου	Συντελεστής CaCO ₃	Συντελεστής Olsen	Συντελεστής οργ. ουσίας	R ²	P-value
Συμβουλές λίπανσης Κ από N-WHELM	1,275	-0,0170	-0,066	0,0020	0,050	0,026	0,763

Dakota

Y	Συντελεστής χωρίς x	Συντελεστής Αργίλου	Συντελεστής CaCO ₃	Συντελεστής Olsen	Συντελεστής οργ. ουσίας	R ²	P-value
Συμβουλές λίπανσης Κ από Dakota	7,753	-0,1423	-0,226	-0,0023	0,081	0,133	0,042*

Πίνακας 11β. Πολλαπλές συσχετίσεις όσον αφορά το Κ για την καλλιέργεια του σιταριού σύμφωνα με τα μοντέλα N-WHELM και Dakota

Σιτάρι

N-WHELM

Y	Συντελεστής χωρίς x	Συντελεστής Αργίλου	Συντελεστής CaCO ₃	Συντελεστής Olsen	Συντελεστής οργ. ουσίας	R ²	P-value
Συμβουλές λίπανσης Κ από N-WHELM	1,001	-0,0132	-0,051	0,0015	0,037	0,026	0,7651

Dakota

Y	Συντελεστής χωρίς x	Συντελεστής Αργίλου	Συντελεστής CaCO ₃	Συντελεστής Olsen	Συντελεστής οργ. ουσίας	R ²	P-value
Συμβουλές λίπανσης Κ από Dakota	5,551	-0,1548	-0,0036	0,0013	0,208	0,1405	0,0336*

Πίνακας 12. Απλή συσχέτιση μεταξύ των μοντέλων N-WHELM και Alberta ως προς τις συμβουλές λίπανσης του N.

Σιτάρι

Συντελεστής χωρίς x	Συντελεστής του x	R ²	P-value
-37,648	5,254	0,175	0,0002***

Καλαμπόκι

Συντελεστής χωρίς x	Συντελεστής του x	R ²	P-value
-18,1018	3,254	0,228	0,0000***

Πίνακας 13. Απλή συσχέτιση μεταξύ των μοντέλων N-WHELM και Dakota ως προς τις συμβουλές λίπανσης του P.

Σιτάρι

Συντελεστής χωρίς x	Συντελεστής του x	R^2	P-value
1.229	0.369	0.756	0.0000***

Καλαμπόκι

Συντελεστής χωρίς x	Συντελεστής του x	R^2	P-value
0.334	0.663	0.814	0.0000***

Πίνακας 14. Απλή συσχέτιση μεταξύ των μοντέλων N-WHELM και Dakota ως προς τις συμβουλές λίπανσης του Κ.

Σιτάρι

Συντελεστής χωρίς x	Συντελεστής του x	R ²	P-value
-0,086	0,2956	0,712	0,0000***

Καλαμπόκι

Συντελεστής χωρίς x	Συντελεστής του x	R ²	P-value
-0,3539	0,3155	0,616	0,0000***

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Ahmed, O.H., A. Husin and A.H.M. Hanif. 2008. Ammonia volatilization and ammonium accumulation from urea mixed with zeolite and triple superphosphate. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science* 58, 182-186.
- Catt, J.A., K.R. Howse, R. Farina, D. Brockie, A. Todd, J. Chambers, R. Hodgkinson, G.L. Harris and J.N. Quinton. 1998. Phosphorus losses from arable land in England. *Soil Use and Management* 14, 157-167.
- Eghball, B. and J.F. Power. 1999. Phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications: Corn production and soil phosphorus. *Soil Science Society of America Journal* 63, 805-901.
- Goodlass, G., R.S. Bradley and C. Dyer. 2002. Estimation of the nitrogen requirement of winter wheat in the UK: a multiple regression approach. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82, 720-727.
- Hartl, W., B. Putz and E. Erhart. 2003. Influence of rates and timing of biowaste compost application on rye yield and soil nitrate levels. *European Journal of Soil Biology* 39, 129-139.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Netson. 2004. *Soil Fertility and Fertilizers*. Prentice Hall, USA.
- Jeuffroy, M.H. and S. Recous. 1999. Azodyn: a simple model simulating the date of nitrogen deficiency for decision support in wheat fertilization. *European Journal of Agronomy* 10, 129-144.
- Leytem, A.B., B.L. Tunner, V. Raboy and K.L. Peterson. 2005. Linking manure properties to phosphorus solubility in calcareous soils: Importance of the manure carbon to phosphorus ratio. *Soil Science Society of America Journal* 69, 1516-1524.
- Myers, R.J.K. 1983. A simple model for estimating the nitrogen fertilizer requirement of cereal crop. *Fertilizer Research* 5, 95-108.
- Nkoa, R., Y. Desjardins, N. Tremblay, L. Querrec, M. Baana and B. Nkoa. 2003. A mathematical model for nitrogen demand quantification and a link to broccoli (*Brassica oleracea var. italica*) glutamine synthetase activity. *Plant Science* 165, 483-496.
- O'Connor, G.A., D. Sarkar, S.R. Brinton, H.A. Elliott and F.G. Martin. 2004.

- Phytoavailability of biosolids phosphorus. *Journal of Environmental Quality* 33, 703-712.
- Osmond, D.L., D.J. Lathwell and S.J. Riha. 1992. Prediction of long-term fertilizer nitrogen requirements of maize in the tropics using a nitrogen balance model. *Plant and Soil* 143, 61-70.
- Peoples, M.B., D.F. Herridge and J.K. Ladha. 1995. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. *Plant and Soil* 174, 3-28.
- Ritchie, G.S.P. and D.M. Weaver. 1993. Phosphorus retention and release from sandy soils of the Peel-Harvey catchment. *Fertilizer Research* 36, 115-122.
- Shepherd, M.A., R. Harrison and J. Webb. 2006. Managing soil organic matter- Implications for soil structure on organic farms. *Soil Use and Management* 18, 284-292.
- Siddique, M.T. and J.S. Robinson. 2003. Phosphorus sorption and availability in soils amended with animal manures and sewage sludge. *Journal of Environmental Quality* 32, 1114-1121.
- Sparks, D.L. and W.C. Liebhardt. 1981. Effect of long-term lime and potassium applications on quantity-intensity (Q/I) relationships in sandy soil. *Soil Science Society of America Journal* 45, 786-790.
- Tunney, H., O.T. Carton, T. O'Donnell and A. Fanning. 1997. Phosphorus loss from soil to water. Project Report, Agriculture and Food Development Authority, UK. (Διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://www.teagasc.ie/research/reports/environment/4022/eopr-4022.asp>. Τελευταία επίσκεψη στις 21-6-2010)
- Uygur, V. 2009. Phosphorus sorption in calcareous soils: The role of iron oxide and carbonates. *Asian Journal of Chemistry* 21, 3001-3009.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Διαμαντίδης, Γ.Χ. 2007. *Εισαγωγή στη Βιοχημεία*. Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών, Θεσσαλονίκη, σ. 416.
- Κεραμίδας, Β. 1990. *Γονιμότητα Εδαφών*. Θεσσαλονίκη, σ. 94.
- Κουκουλάκης, Π.Χ. 1995. Βασικές αρχές της ορθολογικής λίπανσης των καλλιεργειών. *Γεωργία και Κτηνοτροφία* 9, 43-61.
- Κουκουλάκης Π.Χ. και Α.Η. Παπαδόπουλος. 2001. *Η Ερμηνεία της Ανάλυσης του Εδάφους*. Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα, σ. 372.
- Κουκουλάκης Π.Χ., Α.Δ. Σιμώνης και Α.Η. Παπαδόπουλος. 1999. Ανάλυση εδάφους, φυτού-συμβουλευτική λίπανση. Επιστημονική διημερίδα *Θρέψη-Λίπανση-Περιβάλλον*, 18-19 Νοεμβρίου 1999, Λάρισα, Γεωπονικός Σύλλογος Λαρίσης, σ. 49-58.
- Μήτσιος, Ι.Κ. 2004. *Γονιμότητα Εδαφών*. Εκδόσεις Ζυμεί, Αθήνα, σ. 574.
- Παπακώστα-Γασοπούλου, Δ. 2005. *Ειδική γεωργία (Τεύχος Β'): Ψυχανθή (Καρποδοτικά-Χορτοδοτικά)*. Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία, Θεσσαλονίκη, σ. 358.

Αναφορές από το διαδίκτυο

1. www.grais.co.uk/new.htm (τελευταία επίσκεψη στις 21 Ιουνίου 2010).
2. [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/crop1273](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/crop1273) (τελευταία επίσκεψη στις 21 Ιουνίου 2010).
3. <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/soilfert/sf713w.htm> (τελευταία επίσκεψη στις 21 Ιουνίου 2010).



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000115002