ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (Τ.Ε.Ι.) ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ

ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΓΛΥΚΟΥ ΣΟΡΓΟΥ (Sorghum bicolor (L.) Moench) ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σπουδάστρια:
Λαμπροπούλου Παναγιώτα

Εισηγητής:
Σαλάχας Γεώργιος

ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2006

Στον Μανώλη,
την Εύη και το Γιώργο

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια πτυχιακής εργασίας στο Πανεπιστήμιο Πατρών. Τα πειράματα πεδίου πραγματοποιήθηκαν σε αγρόκτημα στο χώρο του Πανεπιστημίου Πατρών, και οι χημικές αναλύσεις στο Εργαστήριο Φυσιολογίας Φυτών του Τμήματος Βιολογίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον εισηγητή μου κ. Σαλάχα Γεώργιο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Θερμοκηπιακών καλλιεργειών και Ανθοκομίας του ΤΕΙ Μεσολογγίου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την τιμή που μου έκανε να μου αναθέσει τη συγκεκριμένη μελέτη, καθώς και για τη βοήθειά του σε όλα τα στάδια διεκπεραίωσης αυτής. Επίσης, τον κ. Αγγελόπουλο Κώστα, Επίκουρο Καθηγητή Τμήματος Βιολογίας Πανεπιστημίου Πατρών για την συνεργασία που είχαμε και τις γνώσεις που μου προσέφερε κατά την εξέλιξη της μελέτης.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους συναδέλφους μου στην ερευνητική ομάδα: την Θεοδωράκη Θεοδώρα για τις ατέλειωτες ώρες που μοιραστήκαμε σε εργαστηριακές αναλύσεις και επιστημονικές συζητήσεις και για τις πολύτιμες συμβουλές της, τους Υποψήφιους Διδάκτορες Τάσο Καπράνη και Αντώνη Κούβελα και την συνάδελφο Γεωργιλά Βασιλική, για τη μεγάλη τους βοήθεια στις εργασίες υπαίθρου, στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων και στην προετοιμασία των δειγμάτων.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένειά μου, που με στήριξε ψυχολογικά και οικονομικά και στον Μανώλη, που ήταν δίπλα μου σ` αυτή την προσπάθεια.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γενικά μετά την ενεργειακή κρίση του 1973, η βιομάζα άρχισε να παίζει όλο και σημαντικότερο ρόλο στην κάλυψη των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών. Σήμερα θεωρείται ότι είναι μία σπουδαία πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλει στην ενεργειακή επάρκεια μετά την εξάντληση των αποθεμάτων του αργού πετρελαίου, του ορυκτού άνθρακα και του φυσικού αερίου (http.//ape.chania.teicrete).

1.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΑΠΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Βιομάζα είναι ένα σύνολο υλικών φυτικής ή ζωικής προελεύσεως και περιέχει μέσα της ενέργεια, που μπορεί να αποσπαστεί και να χρησιμοποιηθεί ποικιλοτρόπως συμμετέχοντας αέναος στον παγκόσμιο ζωικό κύκλο (users.att.sch.gr/xtsamis).

Σήμερα υπάρχουν αξιόλογες ποσότητες αδιάθετων γεωργικών και δασικών υποπροϊόντων που, μαζί με τα οικιακά απορρίμματα και την κτηνοτροφική κοπριά, καθώς και τις ενεργειακές καλλιέργειες επαρκούν για να καλύψουν το σύνολο των θερμικών και ενεργειακών μας αναγκών, εάν βέβαια ήταν δυνατή η αξιοποίηση τους σε όλες τις ενεργειακές απαιτήσεις.

Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, πρόκειται να οδηγήσει σε αύξηση των αποδόσεων σε καλλιέργειες όπως η σόγια, το βαμβάκι, το σόργο και τα πορτοκάλια. Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη που οφείλεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αναμένεται να προκαλέσει αύξηση των αποδόσεων από 1-9% για το σόργο. Η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, εκτός από αύξηση των αποδόσεων, θα μειώσει τις απώλειες νερού, λόγω εξάτμισης, με αποτέλεσμα οι καλλιέργειες να έχουν μικρότερες απαιτήσεις άρδευσης (http://www.agrotypos.gr).

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι παραδοσιακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων από φυτά που δεν καλλιεργούνται, προς το παρόν, εμπορικά όπως ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα και το καλάμι που το τελικό προϊόν τους προορίζεται για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων. Οι ενεργειακές καλλιέργειες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι:

- ***Ετήσιες:*** σακχαρούχο ή γλυκό σόργο (***Sorghum bicolor*** L . Moench), ινώδες σόργο (***Sorghum bicolor*** L . Moench), κενάφ (***Hibiscus cannabinus*** L .), ελαιοκράμβη (***Brassica napus*** L .), βρασσική η αιθιόπια (***Brassica carinata*** L . Brau).
- ***Πολυετείς:***

I . Γεωργικές : Αγριαγκινάρα (***Cynara cardunculus***), καλάμι (***Arundo donax*** L.), μίσχανθος (***Miscanthus x g*** iganteus), switchgrass (***Panicum virgatum***)

II . Δασικές : Ευκάλυπτος (***Eucalyptus camaldulensis*** Dehnh. & ***E. globulus*** Labill.), ψευδακακία (***Robinia pseudoacacia***) (www.cres.gr/kape/energeia-politis).

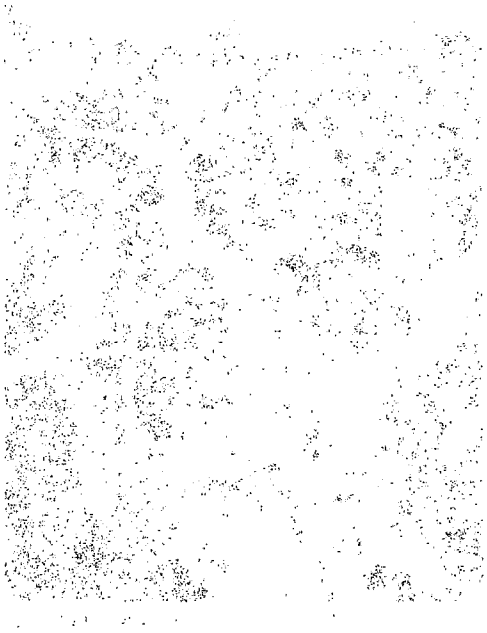
Προφανώς, οι χώρες εκείνες που καταναλώνουν ενέργεια, που προέρχεται από βιομάζα, σε σημαντικές αναλογίες, είναι εκείνες, που βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης λ.χ. στην Αφρική 65% της ενέργειας προέρχεται από βιομάζα, στην Ινδία το 50% και στη Λατινική Αμερική το 45%. Αντίθετα, στην Ελλάδα η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται περιορισμένα (http.//ape.chania.teicrete.).

Στην Ελλάδα η ενέργεια από βιομάζα αφορά κυρίως την κάλυψη θερμικών αναγκών στον οικιακό τομέα, στη βιομηχανία ξύλου και στις γεωργικές βιομηχανίες. Σημαντική ποσότητα βιομάζας που ανέρχεται περίπου σε 2 εκατομμύρια τόνους

(κυρίως δασικά, γεωργικά υπολείμματα και υποπροϊόντα αυτών, υπολείμματα βιομηχανιών ξύλου, υπολείμματα εκκοκκισμού, φλοιός ρυζιού, άχυρο, κι άλλα) καταναλώνεται στην Ελλάδα για παραγωγή θερμότητας (με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση περίπου 2,3 εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα (CO2) (http://www.mxd.gr).

Εικόνα 1.1 Το φυτό γλυκό σόργο (http.//ape.chania.teicrete)

Σήμερα, η χρήση της βιομάζας, η οποία αποτέλεσε το πρώτο χρησιμοποιούμενο από τον άνθρωπο καύσιμο, καλύπτει περίπου το 4% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται στις ΗΠΑ και το 45% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι αντίστοιχες τιμές της ΕΕ είναι 3% και 68% (1998), ενώ αυτές της Ελλάδας είναι 3,3% και 5%, αντίστοιχα. Μια σημαντική πηγή βιομάζας είναι τα δάση. Τα είδη βιομάζας για ενέργεια που παράγονται στο δάσος είναι καυσόξυλα, ξυλάνθρακες, καθώς επίσης και υπολείμματα υλοτομιών και καθαρισμών δασών που είναι απαραίτητο να απομακρύνονται για να μη αποτελούν καύσιμη ύλη στις πυρκαγιές. Άλλα είδη βιομάζας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας είναι διάφορα υλικά φυτικής προέλευσης -όπως γεωργικά υπολείμματα (π.χ. άχυρο) και υποπροϊόντα (π.χ. πυρηνόξυλο) και ενεργειακές καλλιέργειες- υλικά ζωικής προέλευσης -υπολείμματα από κτηνοτροφικές μονάδες καθώς και υπολείμματα αλιείας και τα υποπροϊόντα αυτών - αστικά απορρίμματα και απόβλητα κα. Όλες αυτές οι μορφές βιομάζας αποτελούν μια σημαντική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που παράγεται σε μεγάλες ποσότητες και η ενεργειακή της αξιοποίηση μπορεί να έχει πολλαπλά περιβαλλοντικά οφέλη (http://www.mxd.gr).



Εικόνα 1.2 Παγκόσμιοι Πόροι Βιοενέργειας (users.att.sch.gr/xtsamis).

Ως καύσιμα πού χρησιμοποιούνται είναι η αιθανόλη, η μεθανόλη, το βιοντήζελ και άλλα πού χρησιμοποιούνται είτε μόνα τους είτε σε μείγμα με βενζίνη. Η αιθανόλη, το πλέον διαδεδομένο βιοκαύσιμο, παράγεται με διαδικασίες ανάλογες με αυτές της παραγωγής μπύρας (ζύμωση) από ζαχαρούχες, αμυλούχες και κυτταρινούχες ουσίες πού αφθονούν, και με κόστος πού αναμένεται να εξισωθεί με εκείνο της βενζίνης στις προσεχείς δεκαετίες. Είναι καθαρότερο καύσιμο από την βενζίνη με μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα και πτητικών υδρογονανθράκων.

Και στην Ελλάδα υπάρχουν ερευνητικά προγράμματα αξιοποίησης της Βιομάζας με την παραγωγή βιοαιθανόλης. Οργανώνονται ειδικές καλλιέργειες "ενεργειακών" φυτών όπως η αγριαγκινάρα, ζαχαρούχο σόργο και αραβόσιτο, τα οποία χρησιμοποιούνται ως βιομάζα για την λήψη απ΄ αυτή της βιοαιθανόλης. Μάλιστα οι αποδόσεις της καλλιέργειας του ζαχαρούχου σόργου είναι απ' τις υψηλότερες στον ανεπτυγμένο κόσμο. Με την χρήση βιομάζας μπορούν και θερμαίνονται θερμοκήπια και κτηνοτροφικές μονάδες, ξηραίνονται γεωργικά προϊόντα και ηλεκτροδοτούνται προβληματικές αγροτογεωργικές περιοχές (users.att.sch.gr/xtsamis).

Από τις νέες καλλιέργειες, ενδιαφέρον για την παραγωγή βιοαιθανόλης παρουσιάζει το γλυκό σόργο που, με βάση ικανό αριθμό πειραματικών δεδομένων, μπορεί να αποδώσει περί τα 600 λίτρα/στρ. Η παραγωγή βιοαιθανόλης από γλυκό σόργο εμφανίζεται βιώσιμη και επικερδής και με μέγεθος μονάδος για παραγωγή 10 εκατ. λίτρων ετησίως που απαιτεί καλλιέργεια 10-12.000 στρ.(http://www.agrotypos).

1.1.1 ΤΡΟΠΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η βιομάζα είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης.

Τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών .Οι βασικές πρώτες ύλες για αυτό είναι το νερό και το CO_2, που αφθονούν στη φύση. Όσον αφορά στην ενέργεια αυτή προέρχεται από το ορατό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας.

Οι θεμελιώδεις αντιδράσεις πραγματοποιούνται στους χλωροπλάστες, οι οποίοι συλλαμβάνουν τα φωτόνια και στη συνέχεια ενεργοποιούν τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης που ανάγει το CO_2 σε υδατάνθρακες.

Οι αντιδράσεις αυτές συνοδεύονται από έκλυση O_2 με παράλληλη μείωση της περιεκτικότητας του κυττάρου σε CO_2. Κατά την πορεία της φωτοσύνθεσης σχηματίζονται οργανικές ενώσεις, δηλαδή η βιομάζα. Για να φτάσουμε πάντως στο στάδιο αυτό, πρέπει να συνυπάρξουν και άλλοι παράγοντες, όπως τα ανόργανα στοιχεία, που απορροφούν οι ρίζες από το έδαφος καθώς και οι κατάλληλες θερμοκρασιακές συνθήκες για κάθε είδος φυτού. Από τη στιγμή που η βιομάζα αυτή έχει σχηματιστεί, μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε πλέον σαν πηγή ενέργειας.

Οι μέθοδοι της ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας είναι διάφορες. Διακρίνονται σε θερμοχημικές (ξηρές) ή σε βιοχημικές (υγρές). Η επιλογή της μεθόδου μετατροπής προσδιορίζεται από τους εξής παράγοντες, τη σχέση C/N, την περιεχόμενη υγρασία των υπολειμμάτων και την ώρα της συλλογής.

Οι θερμοχημικές διεργασίες περιλαμβάνουν αντιδράσεις, που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, για διαφορετικές συνθήκες οξείδωσης. Οι διεργασίες αυτές χρησιμοποιούνται για τα είδη της βιομάζας με σχέση C/N<30 και υγρασία >5O% (http.//ape.chania.teicrete).

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίηση της βιομάζας είναι:

1. Η καύση. Είναι η πιο ανεπτυγμένη και διαδεδομένη τεχνολογία για ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας τόσο στον Ελληνικό χώρο όσο και διεθνώς. Η ΕΕ έχει χρηματοδοτήσει σημαντικό αριθμό προγραμμάτων που έχουν σχέση με τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας λεβήτων καύσης βιομάζας ή με τη μικτή καύση σε μεγάλες ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες.

2. Η πυρόλυση. Βρίσκεται ακόμη σε ερευνητικό επίπεδο. Η βιομάζα θερμαίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες απουσία αέρα, χωρίς να καεί για παραγωγή στερεών, υγρών και αερίων καυσίμων (ξυλάνθρακα, βιοαέριο και αέρια χαμηλής και μέσης θερμογόνου δύναμης). Τα προϊόντα της πυρόλυσης όπως είναι τα υγρά καύσιμα (αιθανόλη, βιοντήζελ κι άλλα) μπορούν να αντικαθιστούν εν μέρει το πετρέλαιο ή τη βενζίνη.

3. Η αεριοποίηση. Το στάδιο αυτό βρίσκεται ακόμη σε ερευνητικό επίπεδο. Γίνεται παράγωγή αερίων χαμηλής και μέσης θερμογόνου δύναμης.

4. Η αναερόβια χώνευση. Τα απορρίμματα και τα διάφορα λύματα με αναερόβιες διαδικασίες παράγουν βιοαέριο κυρίως, που αποτελείται από μεθάνιο (και διοξείδιο του άνθρακα (CO2)) μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπως το φυσικό αέριο για την θέρμανση και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

5. Η αλκοολική ζύμωση. Ο κύριος τρόπος παραγωγής βιοαιθανόλη είναι η ζύμωση των αμυλούχων, κυταρρινούχων και σακχαρούχων συστατικών για παραγωγή βιοαιθανόλης και ο διαχωρισμό της από τα λοιπά συστατικά με απόσταξη. Σακχαρούχα και αμυλούχα φυτά με βιοχημικές μεθόδους παράγουν υγρά καύσιμα (βιοαιθανόλη,...).

6. Η μετεστεροποίηση. Ο κύριος τρόπος παραγωγής βιοντήζελ είναι η

μετεστεροποίηση των ελαίων. Ελαιούχα φυτά, ζωικά λίπη, χρησιμοποιημένα λάδια και προϊόντα σφαγίων με χημικές μεθόδους παράγουν βιοντήζελ (http://www.mxd.gr).

Η βιομάζα ως πηγή ενέργειας συγκρινόμενη με τα ορυκτά καύσιμα έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

Η βιομάζα είναι ανανεώσιμο υλικό, ενώ τα ορυκτά δεν ανανεώνονται και εξαντλούνται συνεχώς. Η βιομάζα παράγεται σε όλες τις χώρες του κόσμου και είναι εύκολα προσιτή, ενώ τα ορυκτά καύσιμα παράγονται μόνον σε λίγες χώρες και η διαθεσιμότητά των εξαρτάται από διεθνείς πολιτικές, στρατιωτικές, και οικονομικές συνθήκες.

Η παραγωγή και χρησιμοποίηση της βιομάζας δεν μολύνει το περιβάλλον με τοξικές ουσίες σε αντίθεση με την παραγωγή και χρησιμοποίηση των ορυκτών καυσίμων. Τα προϊόντα καύσης της βιομάζας είναι βασικά νερό και διοξείδιο του άνθρακα και δεν περιέχουν ή περιέχουν ελάχιστες ποσότητες οξειδίων του θείου και αζώτου. Τα χημικά αυτά απαντώνται σε μεγάλες ποσότητες στα ορυκτά καύσιμα και αποτελούν σοβαρούς και συνεχείς κινδύνους για την υγεία του ανθρώπου. Επίσης, η κατεργασία των ορυκτών καυσίμων (διύλιση, αεριοποίηση κ.λ.π.) παράγει απόβλητα τα οποία ρυπαίνουν και καταστρέφουν τη ζωή στους χώρους αποβολής των. Με την καύση της βιομάζας το εκπεμπόμενο διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα επαναπροσλαμβάνεται από τη νέα βιομάζα που θα παραχθεί η οποία δεσμεύει τον άνθρακα και ελευθερώνει το οξυγόνο, τοιουτοτρόπως δεν έχουμε αύξηση της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, το οποίον ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Τα συγκροτήματα ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού καύσεως βιομάζας έχουν πολύ μικρό χρόνο απόσβεσης από 1 έως 3 χρόνια συνέπεια της εξοικονόμησης ενέργειας σε αντίθεση με τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό των ορυκτών καυσίμων που δεν αποσβένονται ποτέ αφού καταναλώνουν και δεν εξοικονομούν ενέργεια.

Τα μειονεκτήματα της βιομάζας έναντι των ορυκτών καυσίμων είναι τα εξής:

Το βασικό μειονέκτημα της βιομάζας ως καύσιμο, είναι ότι έχει χαμηλή θερμαντική αξία κατά μονάδα βάρους και ακόμη μικρότερη κατά μονάδα όγκου σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, η δε περιεχόμενη υγρασία μειώνει ακόμη περισσότερο τη διαθέσιμη θερμαντική αξία, όταν αυτή υπολογίζεται με βάση το υγρό βάρος της. Το μειονέκτημα αυτό περιορίζει τη χρήση της βιομάζας για ενεργειακούς σκοπούς στον τόπο παραγωγής της και συνεπώς η εκμετάλλευσή της περιορίζεται σε τοπικό επίπεδο.

Παρά το μικρό χρόνο απόσβεσης που έχει μία μονάδα καύσεως βιομάζας, έχει μεγαλύτερο αρχικό κόστος εγκατάστασης, σε αντίθεση με μια μονάδα καύσεως ορυκτών καυσίμων. Αυτό είναι δυνατόν να αναστείλει την απόφαση του χρήστη προσωρινά για την επιλογή υπέρ της βιομάζας, μέχρις ότου βελτιωθούν τα οικονομικά της επιχείρησης (Philippopoulos, 2000-2006).

1.1.2 ΟΙ ΚΥΡΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ ΚΑΥΣΙΜΟ ΒΙΟΜΑΖΑ

Θέρμανση θερμοκηπίων : Σε περιοχές της χώρας όπου υπάρχουν μεγάλες ποσότητες διαθέσιμης βιομάζας, χρησιμοποιείται η βιομάζα σαν καύσιμο σε κατάλληλους λέβητες για τη θέρμανση θερμοκηπίων.

Θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς/κεντρικούς λέβητες : Σε ορισμένες περιοχές της Ελλάδας χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση κτιρίων ατομικοί/κεντρικοί λέβητες πυρηνόξυλου.

Παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες : Βιομάζα για παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιείται από γεωργικές βιομηχανίες στις οποίες η βιομάζα προκύπτει σε σημαντικές ποσότητες σαν υπόλειμμα ή υποπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας και έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε θερμότητα. Εκκοκκιστήρια, πυρηνελαιουργεία, βιομηχανίες ρυζιού καθώς και βιοτεχνίες κονσερβοποίησης καίνε τα υπολείμματά τους (υπολείμματα εκκοκκισμού, πυρηνόξυλο, φλοιοί και κουκούτσια, αντίστοιχα) για την κάλυψη των θερμικών τους αναγκών ή/και μέρος των αναγκών τους σε ηλεκτρική ενέργεια.

Παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανίες ξύλου : Τα υπολείμματα βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου (πριονίδι, πούδρα, ξακρίδια κλπ) χρησιμοποιούνται για τη κάλυψη των θερμικών αναγκών της διεργασίας καθώς και για την θέρμανση των κτιρίων.

Τηλεθέρμανση : είναι η προμήθεια θέρμανσης χώρων καθώς και θερμού νερού χρήσης σε ένα σύνολο κτιρίων, έναν οικισμό, ένα χωριό ή μια πόλη, από έναν κεντρικό σταθμό παραγωγής θερμότητας. Η θερμότητα μεταφέρεται με προ-μονωμένο δίκτυο αγωγών από το σταθμό προς τα θερμαινόμενα κτίρια .

Παραγωγή ενέργειας σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού και Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ): Το βιοαέριο που παράγεται από την αναερόβια χώνευση των υγρών αποβλήτων σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού, και των απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ καίγεται σε μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα μπορεί να αξιοποιείται η θερμική ενέργεια των καυσαερίων και του ψυκτικού μέσου των μηχανών για να καλυφθούν ανάγκες τις διεργασίας ή/και άλλες ανάγκες θέρμανσης (πχ θέρμανση κτιρίων) (www.cres.gr/kape/energeia_politis).

1.2 Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΓΛΥΚΟΥ ΣΟΡΓΟΥ

1.2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Το γλυκό σόργο ή διαφορετικά σακχαρούχο σόργο *Sorghum bicolor (L) Moench* ανήκει στην οικογένεια των αγροστωδών (Gramineae) και είναι ένα ετήσιο φυτό με C_4 μεταβολισμό. Αυτό το φυτικό είδος κατάγεται από την κεντρική Αφρική (Dalianis, 1996), όμως είναι καλά προσαρμοσμένο στις ημιτροπικές και εύκρατες περιοχές (Νικολάου κα, 2000).

Σύμφωνα με τους Mann et al. (1983) και Doggett (1988) ο πρόγονος των καλλιεργούμενων τύπων σόργου είναι το άγριο *S.bicolor* ssp. arundinaceum το οποίο

εξημερώθηκε στην Αφρικάνικη ήπειρο. Η μεγαλύτερη ποικιλομορφία εντοπίζεται στη Β.Α. Αφρική και ιδιαίτερα στις περιοχές της Αιθιοπίας-Σουδάν, σε μεγάλο εύρος οικολογικών συνθηκών. Κατά των Doggett (1965,1988) η Ν.Δ Αιθιοπία είναι μια πιθανή περιοχή για την εξημέρωση του σόργου, η οποία θα πρέπει να έλαβε χώρα γύρω στο 5000 π.χ. (Καραμάνος,1999).

1.2.2 ΕΙΔΗ ΤΟΥ ΣΟΡΓΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ

Τα καλλιεργούμενα είδη, υπό την κοινή επιστημονική ονομασία *Sorghum bicolor (L) Moench,* κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες:

- **Καρποδοτικό σόργο** : που καλλιεργείται για παραγωγή καρπού.
- **Σόργο σαρωθροποιίας** : για την κατασκευή σαρώθρων από τις μακριές διακλαδώσεις της ταξιανθίας του.
- **Σόργο του Σουδάν** : ως σανοδοτικό φυτό, (καθώς και υβρίδια σακχαρούχου σόργου και του σόργου του Σουδάν, υπό την κοινή ονομασία κυτταρινούχα σόργα).
- **Σακχαρούχο σόργο** : που καλλιεργείται κυρίως εξ' αιτίας των γλυκών στελεχών του για την παραγωγή σιροπιού (Νικολάου κ.α, 2000).

1.2.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΟΡΓΟΥ

Το κύριο ριζικό σύστημα του σόργου είναι πλούσιο και θυσσανώδες, αποτελείται από πολλές και λεπτές ρίζες. Οι ρίζες διεισδύουν σε βάθος από 1m έως και 2,70m σε σπάνιες περιπτώσεις ενώ οριζοντίως απλώνονται από 50cm έως και 1m.

Τα στελέχη του αποτελούνται από κόμβους και μεσογονάτια από 7 έως 20 ή και περισσότερα μεσογονάτια και ισάριθμους κόμβους.

Τα μεσογονάτια, πλήν του τελευταίου προς την κορυφή του φυτού, φέρουν ένα αυλάκι κατά μεσογονάτιο, σε εναλλάξ διάταξη. Σε κάθε κόμβο και παρά τη βάση του αυλακιού του υπερκείμενου μεσογονατίου υπάρχει ένας βοηθητικός οφθαλμός.

Οι οφθαλμοί στους κόμβους που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους δίνουν γένεση σε αδέλφια. Το αδέλφωμα αρχίζει όταν τα φυτά αποκτήσουν 10 έως 15cm. ύψος.

Το ύψος των φυτών κυμαίνεται μεταξύ ευρύτατων ορίων από 50cm έως 5,5m.

Από κάθε κόμβο του στελέχους εκφύεται ένα φύλλο. Ο αριθμός των φύλλων ποικίλει σε διάφορες ποικιλίες, κυμαινόμενος από 7 έως 20, βρίσκεται δε σε άμεση σχέση προς το μήκος της βλαστικής περιόδου. Κάθε φύλλο αποτελείται από τον κολεό ο οποίος περιβάλλει το υπερκείμενο του κόμβου μεσογονάτιο και από το έλασμα. Φέρει μικρούς οδόντες περιφερειακώς και η άνω επιφάνεια είναι λεία. Το φύλλο καλύπτεται από μία κηρώδη ουσία η οποία συντελεί στη μείωση των απωλειών ύδατος.

Η ταξιανθία είναι φόβη και αποτελεί προέκταση του στελέχους. Το μήκος της κυμαίνεται από 20 έως 70cm ανάλογα με τον τύπο και την ποικιλία. Μπορεί να είναι είτε όρθιας αναπτύξεως είτε να κάμπτεται προς τα κάτω. Μια καλά αναπτυγμένη ταξιανθία μπορεί να παράγει 3000 έως 4000 κόκκους. Το σχήμα των κόκκων είναι σφαιρικό ή ωοειδές. Το χρώμα τους οφείλεται σε χρωστικές του περικαρπίου, του περιβλήματος ή και αμφοτέρων (Δαλιάνη, 1999).

1.2.4 ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΟΡΓΟΥ

Το σόργο είναι φυτό θερμόφιλο, με ελάχιστη θερμοκρασία ανάπτυξης 15°C και άριστη 27-32 °C ενώ φωτοσυνθέτει έντονα ακόμα και σε θερμοκρασία 35 °C . Παρ' όλα αυτά, θερμοκρασίες υψηλότερες από 38 °C κατά την άνθηση μειώνουν δραστικά την παραγωγή λόγω ατελούς επικονίασης. Απαιτεί κατά μέσω όρο διάρκεια καλλιεργητικής περιόδου 130-160ημ. Η καλλιέργεια του είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιοχές όπου η υψηλή θερμοκρασία και η ξηρασία είναι απαγορευτικές για την καλλιέργεια του αραβόσιτου.

Η μεγάλη αντοχή του σόργου στην ξηρασία οφείλεται σε πολλούς παράγοντες : (α) Στο πολύ ανεπτυγμένο ριζικό του σύστημα σε σχέση με το υπέργειο τμήμα.. (β) Σε μορφολογικά χαρακτηριστικά των φύλλων που μειώνουν τις απώλειες νερού. (γ) Τα στόματα κλείνουν σε τιμές του υδατικού δυναμικού των φύλλων αρνητικότερες από άλλα φυτά, γεγονός όπου επιτρέπει στα φυτά να φωτοσυνθέτουν ακόμη και όταν το νερό είναι πολύ περιορισμένο. (δ) Το οσμωτικό δυναμικό του κυτταρικού χυμού είναι πολύ αρνητικό και επιτρέπει απορρόφηση νερού και σε περιόδους έντονης εδαφικής ξηρασίας. Επίσης διαθέτει μηχανισμούς μείωσης του οσμωτικού δυναμικού σε περιόδους που το νερό είναι περιορισμένο.

Εκτός από την αντοχή του στην ξηρασία, το σόργο αντέχει και στην περίσσεια νερού περισσότερο από τον αραβόσιτο (Dogget, H. & Jowett D., 1966).

Όσον αφορά το έδαφος δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις. Αποδίδει εξίσου καλά σε αργιλώδες, πηλώδη, αμμώδη, οργανικά, κ.ά. εδάφη. Ευδοκιμεί σε μεγάλο εύρος pH (5,5-8,5). Ακόμα το σόργο είναι ένα από τα σχετικώς ανθεκτικά στην αλατότητα φυτά. (Καραμάνος,1999).

1.2.5 ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΟΡΓΟΥ

Η εξέλιξη και η ανάπτυξη της καλλιέργειας του καρποδοτικού σόργου περιγράφεται με δέκα στάδια (0-9), ανάλογα μ' αυτά που χρησιμοποιούνται στην καλλιέργεια του καλαμποκιού και των άλλων αγρωστωδών. Πρόκειται για μια γενική ταξινόμηση που το χρονικό εύρος των σταδίων της επηρεάζεται από την ποικιλία που καλλιεργείται, την περιοχή, τη θρεπτική κατάσταση του εδάφους, τη διαθέσιμη υγρασία, καθώς και από τις διάφορες προσβολές του φυτού (Vanderlip, 1993, Jones, 1983).

Στάδιο 0 (Emergence). Πρόκειται για το στάδιο της ανάδυσης. Η ανάδυση στο σόργο συμβαίνει 3-10 μέρες μετά τη φύτευση, όταν το πρώτο φύλλο εμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους. Ο χρόνος που απαιτείται γι αυτό το στάδιο εξαρτάται από την θερμοκρασία του εδάφους, την κατάσταση υγρασίας, το βάθος της φύτευσης, και το σθένος του σπόρου. Κατά τη διάρκεια της ανάδυσης, η παροχή των θρεπτικών ουσιών για την αύξηση εξαρτάται αποκλειστικά από το σπόρο. Δροσερές και υγρές συνθήκες κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου μπορούν να ευνοήσουν ασθένειες και να βλάψουν σοβαρά τα φυτά.

Στάδιο 1 (Collar of 3rd leaf visible). Τα φυτά εισέρχονται σ' αυτό το στάδιο όταν εμφανίζεται το τρίτο φύλλο, συνήθως 10 μέρες μετά την ανάδυση. Ο ρυθμός αύξησης των φυτών σ' αυτό το στάδιο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία.

Στάδιο 2 (Collar of 5rd leaf visible). Σ' αυτό το στάδιο έχουμε την εμφάνιση και του πέμπτου φύλλου, περίπου τρεις εβδομάδες μετά την ανάδυση. Το ριζικό σύστημα των φυτών αναπτύσσεται πολύ γρήγορα και οι ρίζες που παράγονται στους χαμηλότερους κόμβους μπορεί να ωθήσουν το χαμηλότερο φύλλο από το φυτό. Με

το 2° στάδιο τα φυτά εισέρχονται στην περίοδο της γρήγορης αύξησης, <<grand period of growth>> και κατ' επέκταση στην αυξημένη πρόσληψη θρεπτικών συστατικών (σχήμα 1.2.1). Από αυτό το στάδιο επίσης αρχίζει η συσσώρευση της ξηρής ουσίας με ένα σταθερό ποσοστό μέχρι την ωριμότητα, εφόσον οι συνθήκες αύξησης είναι ικανοποιητικές.

Στάδιο 3 (Growing point differentiation). Τα φυτά εισέρχονται στο στάδιο αυτό 30 μέρες περίπου μετά την ανάδυση. Από το 3° στάδιο αρχίζει η γρήγορη διαφοροποίηση των φυτών. Από τη βλαστική φάση (παραγωγή φύλλων), τα φυτά μεταπίπτουν σταδιακά στη αναπαραγωγική φάση (παραγωγή στάχυ). Ο συνολικός αριθμός φύλλων έχει καθοριστεί και σύντομα θα καθοριστεί και το μέγεθος του στάχυ. Ο βλαστός αυξάνει με γρήγορους ρυθμούς, καθώς και η πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων. Ο χρόνος από τη φύτευση μέχρι το 3° στάδιο είναι γενικά το ένα τρίτο του χρόνου από την φύτευση μέχρι τη φυσιολογική ωριμότητα που έχουμε και το μέγιστο ξηρό βάρος.

Στάδιο 4 (Final leaf visible in whorl). Στο στάδιο αυτό (40 μέρες μετά την ανάδυση) έχει εμφανιστεί και το τελευταίο φύλλο του φυτού. Έχουμε αυξημένη απορρόφηση φωτός και πρόσληψη θρεπτικών. Το 80 % της φυλλικής επιφάνειας έχει αναπτυχθεί.

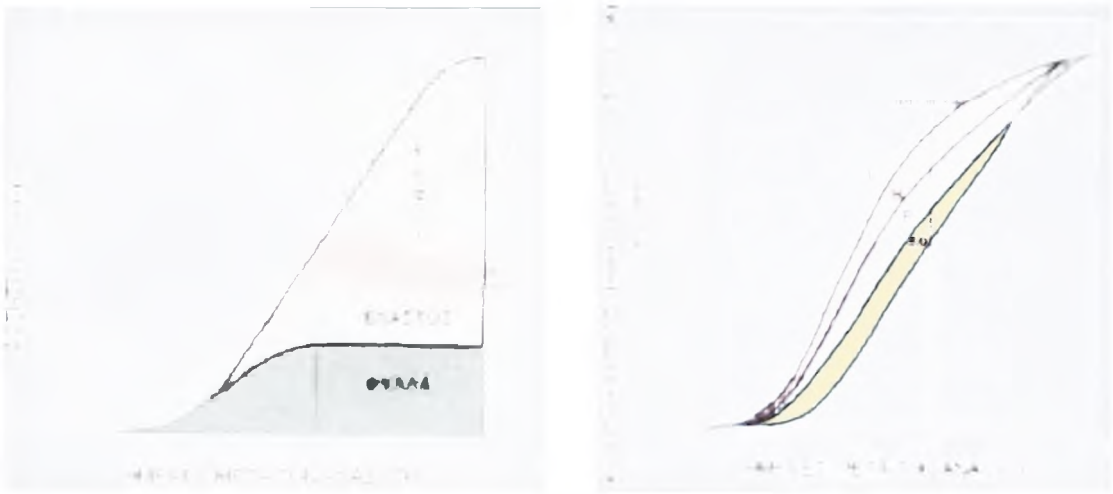
Στάδιο 5 (Boot). Στο στάδιο αυτό (50 μέρες μετά την ανάδυση) η φυλλική επιφάνεια έχει ολοκληρωθεί και αρχίζει η ανάπτυξη του στάχυ.

Στάδιο 6 (half-bloom). Μετά από 60 μέρες τα μισά φυτά βρίσκονται στο στάδιο της άνθησης, έχουν αρχίσει το σχηματισμό του σπόρου και έχουν αποκτήσει το μισό περίπου του ολικού τους ξηρό βάρος. Ο βλαστός έχει αποκτήσει το μέγιστο βάρος του. Στο στάδιο αυτό τα φυτά έχουν προσλάβει 60 % P, 70 % N και 80 % K. Ο φώσφορος δηλαδή, προσλαμβάνεται με πιο αργούς ρυθμούς σε σχέση με το άζωτο και το κάλιο. Από το 6° στάδιο αρχίζει η μείωση των ρυθμών πρόσληψης των θρεπτικών στοιχείων.

Στάδιο 7 (Soft dough). Αρχίζει το γέμισμα του σπόρου (ήδη έχει συσσωρευτεί το 50 % του ολικού βάρους του σπόρου) και μια μετακίνηση σακχάρων και πρωτεϊνών από τα φύλλα και το βλαστό προς τον αναπτυσσόμενο σπόρο. Ο βλαστός αρχίζει να χάνει βάρος και πέφτουν τα χαμηλότερα φύλλα.

Στάδιο 8 (Hard dough). Η πρόσληψη των θρεπτικών σχεδόν σταματά σ' αυτό το στάδιο. Ο κόκκος έχει αποκτήσει το 75 % περίπου του ξηρού βάρους του και το υπόλοιπο φυτό έχει το ελάχιστο βάρος του.

Στάδιο 9 (Physiological maturity). Είναι το τελευταίο στάδιο της καλλιέργειας (95-100 μέρες μετά την ανάδυση), όπου συντελείται η ωρίμανση και η μέγιστη συσσώρευση ξηρής ουσίας. Η φυσιολογική ωρίμανση διαπιστώνεται από το σχηματισμό μαύρης κηλίδας στην άκρη του καρπού.



Σχήμα 1.2.5.1: (α) Τα ποσοστά αύξησης του ξηρού βάρους των επιμέρους τμημάτων των φυτών και (β) Τα ποσοστά αύξησης και πρόσληψης των θρεπτικών κατά τη διάρκεια των σταδίων ανάπτυξης του σόργου. Όπου K = κάλιο, N = άζωτο, P = φώσφορος, Ξ.Ο. = ξηρά ουσία. Το ξηρό βάρος και η πρόσληψη εκφράζονται ως % του ολικού, έτσι ώστε στην ωρίμανση ν' αποκτήσουν το 100 % (Τροποποιημένο από Vanderlip, 1993).

Συγκρίνοντας τις καμπύλες πρόσληψης των τριών κύριων θρεπτικών στοιχείων με την καμπύλη αύξησης της ξηρής ουσίας (Σχήμα 1.2.1) παρατηρούμε πόσο αυξημένος είναι ο ρυθμός πρόσληψης των θρεπτικών κατά τα πρώτα στάδια αύξησης των φυτών. Είναι σημαντικό λοιπόν να εξασφαλιστεί η επάρκεια των παραπάνω θρεπτικών στα έξι πρώτα στάδια.

1.3 Ο ΦΩΣΦΟΡΟΣ (P) ΚΑΙ Η ΘΡΕΨΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΩΝ ΦΥΤΩΝ

Πολλά φυτά, είναι γνωστό, ότι χρειάζονται τουλάχιστον 16 βασικά στοιχεία για να αναπτυχθούν, αν και περισσότερα από 90 στοιχεία μπορούν να απορροφηθούν από τα φυτά. Τα 16 βασικά στοιχεία είναι άνθρακας (C), υδρογόνο (H), οξυγόνο (O), άζωτο (N), κάλλιο (K), φώσφορος (P), θείο (S), ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg), σίδηρος (Fe), βόριο (B), μαγγάνιο (Mn), χαλκός (Cu), ψευδάργυρος (Zn), μολυβδαίνιο (Mo) και χλώριο (Cl). Ακόμα υπάρχουν επιπλέον αρκετά στοιχεία που χρησιμοποιούνται από μερικά φυτά όπως : Co, Ni, Si, Na, V (Raymond W. Miller, 1990).

Ο άνθρακας και το οξυγόνο συγκροτούν το μεγαλύτερο μέρος του ξηρού βάρους του φυτικού σώματος φτάνοντας το 45% το καθένα. Το υδρογόνο ανέρχεται σε 6%. Κατά συνέπεια τα τρία βασικά στοιχεία, ο άνθρακας, το οξυγόνο και το υδρογόνο συμπληρώνουν περισσότερο από 95% του συνολικού βάρους. Ασφαλώς το γεγονός αυτό δεν πρέπει να μας εκπλήσσει, αφού αυτά τα τρία στοιχεία είναι τα βασικότερα για την οικοδόμηση των οργανικών ενώσεων.

Το επόμενο σε αφθονία στοιχείο είναι το άζωτο με ποσοστό 1,5%.

Άλλα στοιχεία, που μπορούν να εκφραστούν με την έννοια ποσοστιαίας αναλογίας ως προς το ξηρό βάρος, είναι το K (=1%), το Ca (=0,5%),ο P και το Mg (=0,2% το καθένα) και τέλος το S (=0,1%) (Στυλιανός Σ. Καραταγλής, 1999).

Στοιχεία	Σύμβολα	Ποσοστό στο φυτό %	Μορφές πρόσληψης
Άνθρακας	C	41,2	CO_2 (κυρίως από τα φύλλα)
Οξυγόνο	O	46,3	CO_2 (κυρίως από τα φύλλα) H_2O, O_2
Υδρογόνο	H	5,4	HOH, (από το νερό) H^+
Άζωτο	N	3,3	NH_4^+, NO_3^-
Ασβέστιο	Ca	2,1	Ca^{2+}
Κάλιο	K	0,80	K^+
Μαγνήσιο	Mg	0,42	Mg^{2+}
Φώσφορος	P	0,30	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}
Θείο	S	0,085	SO_4^{2-}
Χλώριο	Cl	0,011	Cl^-
Σίδηρος	Fe	0,0066	Fe^{2+},Fe^{3+}
Βόριο	B	0,0045	H_3BO_3
Μαγγάνιο	Mn	0,0036	Mn^{2+}
Ψευδάργυρος	Zn	0,0009	Zn^{2+}
Χαλκός	Cu	0,0007	Cu^{2+}
Μολυβδαίνιο	Mo	0,000005	MoO_4^{2-}
Κοβάλτιο	Co	_	Co^{2+}
Νικέλιο	Ni	_	Ni^{2+}
Πυρίτιο	Si	_	$Si(OH)_4$
Νάτριο	Na	_	Na^+
Βανάδιο	V	_	VO_3^-

Πίνακας 1.3.1: Τα θρεπτικά στοιχεία των φυτών, τα χημικά τους σύμβολα, το περιεχόμενό τους στα φυτά και οι διαθέσιμες μορφές τους για τα φυτά (Miller & Donahue

Από το σύνολο των στοιχείων αυτών, αν εξαιρέσουμε τα τρία πρώτα, τα υπόλοιπα είναι διαλυμένα στο νερό του εδάφους υπό τη μορφή των αλάτων τους. Μεγάλες σχετικά ποσότητες χρειάζονται τα φυτά από τα στοιχεία N, K, Ca, P, Mg, και S και σε μικρότερες Fe. Όλα τα στοιχεία, που προαναφέρθηκαν C, O, H, N, S, P, K, Ca, και Mg με εξαίρεση τον Fe έχουν χαρακτηρισθεί ως μακροστοιχεία, επειδή χρειάζονται σε μεγάλα σχετικά ποσά.

Άλλα έξι στοιχεία ο Cu, ο Zn, το Mn, το Mo, το Cl και το B χρειάζονται σε μικρότερες συγκεντρώσεις, Τα στοιχεία αυτά είναι απαραίτητα στο φυτό σε ίχνη γι' αυτό και ονομάζονται μικροστοιχεία ή ιχνοστοιχεία. Ο Fe βρίσκεται στα όρια μεταξύ μακροστοιχείων και μικροστοιχείων (Στυλιανός Σ. Καραταγλής, 1999).

Από τον αέρα και το νερό, τα φυτά προσλαμβάνουν το υδρογόνο, το οξυγόνο και τον άνθρακα . Τα υπόλοιπα από τα μακροστοιχεία προσλαμβάνονται από το έδαφος και τα λιπάσματα (Raymond W. Miller, 1990).

1.3.1 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΟ ΦΥΤΙΚΟ ΙΣΤΟ

Αποτελεί συστατικό των ενώσεων υψηλής ενέργειας (ATP, ADP, AMP) όπως και των νουκλεωνικών οξέων, φυτικών οξέων, συνενζύμων και των φωσφολιπιδίων. Παίζει σημαντικό ρόλο στην καταβολή των αναπαραγωγικών οργάνων, επηρεάζει την αύξηση της ρίζας και επιταχύνει την ωριμότητα του φυτού. Είναι σημαντική η παρουσία του στα πρώτα στάδια ανάπτυξης του φυτού. Ενώσεις του φωσφόρου στο κύτταρο δρουν και σαν ρυθμιστές του PH. Το Mg δρα σαν φορέας του. Συμμετέχει στον μεταβολισμό των υδατανθράκων, των λιπών και των πρωτεϊνών. Είναι

συνηθισμένη η παρουσία του σε υδατάνθρακες , πριν από τον μεταβολισμό τους για να ενεργοποιηθούν, φωσφορυλιώνονται. Γενικά είναι έντονος και σημαντικός ο ρόλος του στον ενεργειακό μεταβολισμό του φυτικού κυττάρου. Μεγάλες ποσότητες φωσφόρου θα αποταμιευτούν στους νεοαναπτυσόμενους καρπούς και ιδίως στα σπέρματα τους ενώ πολύ μικρότερες θα είναι οι ποσότητες του φωσφόρου στους ώριμους καρπούς (Φάνης Τσαπικούνης, 1997).

1.3.2 ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΚΑΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

Ο φώσφορος αποτελεί το 0,15-1,00 % της ξηράς ουσίας των φυτών, του μέσου εύρους της περιεκτικότητας του κυμαινόμενης από 0,20-0,40 % της ξηρής ουσίας των προσφάτως ωριμασθέντων φύλλων. Όσον αφορά στο κρίσιμο εύρος, αυτό μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος του φυτού και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες αναπτύσσεται.

Γενικά, τα φυτά μπορούν να προσλαμβάνουν τον φώσφορο από εδαφικό διάλυμα ακόμη και χαμηλής περιεκτικότητας σε φώσφορο. Ωστόσο, η περιεκτικότητα των κυττάρων του φυτού και του οπού του ξυλώματος σε φώσφορο είναι πολλαπλάσια της αντίστοιχης του εδαφικού διαλύματος (100-1000 φορές μεγαλύτερη). Το γεγονός αυτό δείχνει ότι η πρόσληψη του φωσφόρου από τα φυτά γίνεται με τρόπο «ενεργητικό», δηλ. σε κατεύθυνση που είναι αντίθετη προς την βαθμίδα συγκέντρωσης του φωσφόρου.

Η ικανότητα της ενεργητικής πρόσληψης του φωσφόρου, διαφέρει από φυτό σε φυτό και ακόμη από ποικιλία σε ποικιλία.

Είναι δε η ικανότητα αυτή ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα του φυτού, που ελέγχεται κληρονομικά. Από πρακτική πλευρά, έχει ιδιαίτερη σημασία σε σχέση με την παραγωγική διαδικασία, δεδομένου ότι μπορεί να μεταφερθεί η ικανότητα αυτή με τις διασταυρώσεις σε νέες ποικιλίες, οι οποίες θα μπορούν να αναπτύσσονται σε χαμηλά επίπεδα εδαφικού διαθέσιμου φωσφόρου.

Ο φώσφορος γενικά είναι ευκίνητος μέσα στο φυτό και μπορεί να κινείται προς κάθε κατεύθυνση. Μέσα στο φυτό συνδέεται με διάφορες οργανικές ενώσεις όπως τη τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP) με την οποία είναι ενωμένος μέσω ενός πυροφωσφορικού δεσμού (pyrophosphate bond). Ο δεσμός αυτός έχει ιδιαίτερη ενεργειακή σημασία. Και τούτο διότι περικλείει μεγάλα ποσά ενέργειας, η οποία ελευθερώνεται κατά την υδρόλυση και είναι ίση με 30KJ-Mol^{-1}. Η ενέργεια αυτή μεταφέρεται στα διάφορα μεταβολικός ενεργά σημεία του φυτού και καταναλώνεται κατά την σύνθεση διαφόρων ουσιών, οι οποίες είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη του φυτού. Επίσης ο φώσφορος συνδέεται και με το ριβονουκλεϊκό οξύ (ribonucleic acid RNA), με το δεοξυριβονουκλεϊκο οξύ (DNA) και με την φυτίνη. Οι ενώσεις RNA και DNA αποτελούν γονιδίωμα του φυτού από όπου λαμβάνονται οι γενετικές πληροφορίες.

Η τροφοπενία του φωσφόρου στα φυτά αναστέλλει την ανάπτυξη τους και ιδιαίτερα των βλαστών και των ριζών και ασφαλώς επιδρά δυσμενώς στις αποδόσεις των καλλιεργειών.

Λόγω της ευκινησίας του φωσφόρου και της ευχερούς μεταφοράς του από τα παλαιότερα στα νεότερα φύλλα κατά τις περιόδους έλλειψης του, τα συμπτώματα της τροφοπενίας εμφανίζονται στα παλαιότερα φύλλα.

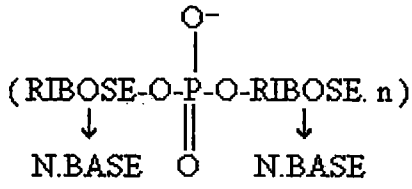
1.3.3 Ο ΦΩΣΦΟΡΟΣ (P) ΩΣ ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ

Ο φώσφορος απορροφάται σε φυσιολογικά PH υπό την μορφή $H_2PO_4^-$ και είτε, α) παραμένει ως ανόργανος φώσφορος, ή β) στερεοποιείται μέσω μιας υδροξυλικής ρίζας (C-O-P) ως απλός φωσφορικός εστέρας (π.χ sugar phosphate), ή γ) συνδέεται με άλλον ένα φώσφορο, με τον υψηλής ενέργειας πυροφωσφορικό δεσμό, P-P (π.χ ATP).

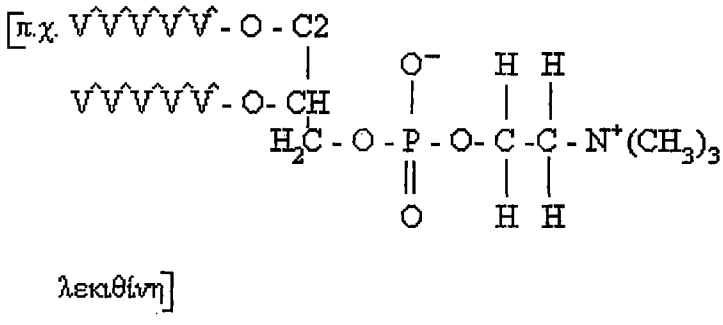
Ο ρυθμός εναλλαγών του φωσφόρου μεταξύ ανόργανού, εστεροποιημένου και στον πυροφωσφορικό δεσμό είναι μεγάλος, π.χ ο ανόργανος φώσφορος που προσλαμβάνεται από τη ρίζα σε λίγα λεπτά μετασχηματίζεται σε οργανικό δεσμό, αλλά μετά απελευθερώνεται πάλι ως ανόργανος φώσφορος στα ξυλώδη αγγεία.

Ένας άλλος τύπος φωσφορικού δεσμού που χαρακτηρίζεται για την μεγάλη του σταθερότητα είναι η κατάσταση του διεστέρα (C-P-C). Έτσι ο φώσφορος γίνεται γέφυρα για τη σύνδεση διαφόρων μορίων σε πιο σύνθετα μόρια ή μακρομόρια.

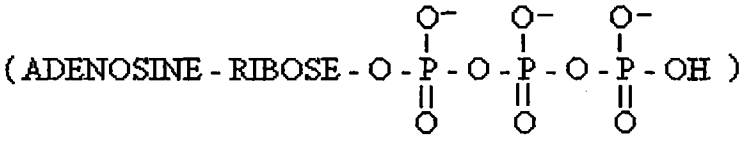
Ο φώσφορος είναι συστατικό των μακρομορίων νουκλεϊκών οξέων που αποτελούν τις δομικές μονάδες για το DNA και RNA (ο φώσφορος σχηματίζει γέφυρα μεταξύ μονάδων ribonucleoside για το σχηματισμό μακρομορίων).



Ο φώσφορος επίσης σχηματίζει γέφυρα με μορφή διεστέρα και δένει τα φωσφορολιπίδια των μεμβρανών.



Αν και η ποσότητα του φωσφόρου στα κύτταρα είναι μικρή, η παρουσία του με την μορφή φωσφορικού εστέρα και πυροφωσφορικού δεσμού αποτελούν το ενεργειακό σύστημα του κυττάρου. Οι περισσότεροι φωσφορικοί εστέρες είναι ενδιάμεσα του μεταβολισμού της βιοσύνθεσης ή αποδόμησης. Ο μεταβολισμός ενέργειας των κυττάρων συνδέεται άμεσα με το πλούσιο ενέργειας οξείδιο φωσφόρου. Π.χ. η ενέργεια που απαιτείται για την βιοσύνθεση ή για την απορρόφηση ιόντων προσφέρεται από ένα πλούσιο σε ενέργεια ενδιάμεσο (ή συνένζυμο), που είναι κυρίως το A.T.P.



Η ενέργεια απελευθερώνεται με την γλυκόλυση, την αναπνοή ή τη φωτοσύνθεση. Με την υδρόλυση αυτού του δεσμού απελευθερώνονται 30kj ανά mole ATP. Η ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί με τη φωσφοριλική ομάδα, σε μια αντίδραση φωσφοριλίωσης, σε μια άλλη χημική ουσία με μετάπτωση του ATP σε ADP. Το 85-95% του ανόργανου φωσφόρου αποθηκεύεται στο χυμοτόπιο.

Ο ανόργανος φώσφορος επίσης μέσα στο κυτόπλασμα ρυθμίζει μερικές ενζυματικές αντιδράσεις-κλειδιά, π.χ. αύξηση της απελευθέρωσης φωσφόρου από το χυμοτόπιο στο κυτόπλασμα συνδέεται με την ωρίμανση στην τομάτα (τομάτες με έλλειψη φωσφόρου καθυστερούν στην ωρίμανση).

Μια σχετικά μικρή συγκέντρωση του ανόργανου φωσφόρου μειώνει σημαντικά το ρυθμό σύνθεσης του αμύλου στους χλωροπλάστες: α) αδρανοποιώντας το ένζυμο ADP-clucose pyrophosphorylase του χλωροπλάστη, β) επειδή ρυθμίζει τη μεταφορά των προϊόντων φωτοσύνθεσης από τις μεμβράνες του χλωροπλάστη και γ) επειδή ενεργοποιεί τη δέσμευση του CO2. Παρόμοιο πρόβλημα στη σύνθεση αμύλου μπορεί να υπάρξει και στους αμυλοπλάστες στα σημεία αποθήκευσης, όπως στους κόνδυλους της πατάτας (δεν παρουσιάζεται τέτοιο φαινόμενο στους σπόρους των σιτηρών).

Σε μερικά ανώτερα φυτά και πολλά κατώτερα, η περιεκτικότητα στο κύτταρο του ανόργανου φωσφόρου ρυθμίζεται με το σχηματισμό πολυφωσφοριτών, δηλ. γραμμικά πολυμερή με δεσμούς εξίσου πλούσιους, όπως του ATP, που αποτελούν επομένως αποθήκη ενέργειας.

Ένα μέρος του ανόργανου φωσφόρου ενσωματώνεται στους αμυλόκοκκους, ιδιαίτερα στην πατάτα και πολύ λίγο στα σιτηρά.

Στους σπόρους ο περισσότερος φώσφορος είναι υπό τη μορφή phytate και η περιεκτικότητα του αυξάνει όσο προχωρεί η ωρίμανση.

Η απαιτούμενη ποσότητα φωσφόρου για άριστη ανάπτυξη κυμαίνεται από 0,3 έως 0,5 % ξηρού βάρους κατά τη βλαστική ανάπτυξη (Γεώργιος Ν. Μαυρογιαννόπουλου, 1994).

1.3.4 ΤΡΟΦΟΠΕΝΙΑ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

Απουσία κάποιου στοιχείου έχει ως αποτέλεσμα να εκδηλώνονται χαρακτηριστικές ανωμαλίες στην αύξηση των φυτών (τροφοπενίες), ενώ τις περισσότερες φορές δεν ολοκληρώνουν τον κύκλο ζωής τους κανονικά (Στυλιανός Σ. Καραταγλής, 1999).

Η έλλειψη φωσφόρου έχει τα εξής αποτελέσματα:

Επιβράδυνση στην ανάπτυξη. Βιολετί χρωματισμό λόγω της επιτάχυνσης σχηματισμού ανθοκυανών. Μερικά φυτά αποκτούν ένα σκουρότερο πράσινο χρώμα απ' ότι το κανονικό, διότι η μείωση στις διαστάσεις των οργάνων είναι μεγαλύτερη απ' ότι στη δημιουργία χλωροπλαστών. Η απόδοση όμως ανά μονάδα χλωροφύλλης είναι μικρότερη. Παρουσιάζεται μειωμένη υδραυλική αγωγιμότητα της ρίζας.

Επειδή ο φώσφορος επιδρά στην ισορροπία του φυτοχρώματος, η έλλειψη φωσφόρου σχετίζεται με τον μειωμένο αριθμό των ανθέων στην ταξιανθία και την επιβράδυνση της διαφοροποίησης των οφθαλμών (Γεώργιος Ν. Μαυρογιαννόπουλου, 1994).

Τα συμπτώματα της τροφοπενίας του φωσφόρου εμφανίζονται κατ' αρχήν στα παλαιότερα φύλλα λόγω της σχετικά υψηλής κινητικότητας του φωσφόρου στο φυτό. Έλλειψη φωσφόρου παρατηρείται συνήθως όταν η περιεκτικότητα του φωσφόρου στα φύλλα είναι <0,20 & της ξηράς ουσίας. Μερικές φορές μπορεί να παρατηρηθούν συμπτώματα τροφοπενίας φωσφόρου σε περιόδους χαμηλών θερμοκρασιών σε

καλλιέργειες εαρινές (καλαμπόκι, βιομηχ. τομάτα). Τα συμπτώματα αυτά εξαφανίζονται όταν βελτιωθεί η θερμοκρασία. (Π.Χ. Κουκουλάκης-Α.Η. Παπαδόπουλος, 2003).

Μπορεί να προκαλέσει νανισμό στα φυτά, ενώ οι ιστοί είναι πολύ μαλακοί και υδαρείς παρουσιάζουν μικρή αντοχή σε ορισμένες ασθένειες. Κακός αερισμός στο έδαφος ευνοεί την έλλειψη του στοιχείου (Φάνης Τσαπικούνης, 1997).

1.3.5 ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

Είναι δυνατόν να οδηγήσει σε αδιαλυτοποίηση των Fe, Zn, Mn προκαλώντας έτσι συνήθως τροφοπενίες αυτών των στοιχείων (Φάνης Τσαπικούνης, 1997).

1.4 Η ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Ο φώσφορος βρίσκεται σε μικρή συγκέντρωση (0,12%) στη λιθόσφαιρα. Απαντάται ως ανόργανος στις ενώσεις απατίτης, υδροξυαπατίτης, φωσφορικό αργίλλιο, φθοριοαπατίτης, οξυαπατίτης, βρουσίτης, βαρισκίτης κλπ. και ως οργανικός στα νουκλεικά οξέα, τα φωσφολιπίδια και την ινοσιτόλη (Ιωάννης Θεριός, 1996).

1.4.1 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

Οι αλληλεπιδράσεις του φωσφόρου είναι θετικές ή συνεργιστικές με ορισμένα στοιχεία και ανταγωνιστικές ή αρνητικές με άλλα. π.χ. ο φώσφορος συνεργεί με το άζωτο όταν αυτό προστίθεται υπό την αμμωνιακή μορφή (NH_4^+). Και τούτο διότι το (NH_4^+) νιτροποιούμενο στο έδαφος ελευθερώνει ιόντα H^+ με συνέπεια να οξινοποιεί το περιβάλλον και να αυξάνει την διαθεσιμότητα των δυσδυάλυτων μορφών του φωσφόρου.

Αν και δεν φαίνεται να υπάρχει στενή σχέση μεταξύ των φυσιολογικών ρόλων στο φυτό του K και P και αν και τα δύο αυτά στοιχεία προσλαμβάνονται σε μεγάλες ποσότητες από τα φυτά, η αλληλεπίδραση K_XP εκδηλώνεται στις καλλιέργειες όταν το έδαφος είναι ανεπαρκώς εφοδιασμένο με P και K. Στα επαρκώς εφοδιασμένα εδάφη με φώσφορο και κάλιο , η επίδραση της αλληλεπίδρασης P_XK είναι μικρή. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Loue (1978) η επίδραση της αλληλεπίδρασης P_XK αυξάνει με την αύξηση των επί μέρους κυρίων επιδράσεων των υπόψη στοιχείων και με την ανεπάρκεια του εδάφους ως προς τα ανωτέρω θρεπτικά .

Αυξημένη παρουσία του Ca στο εδαφοδιάλυμα συντελεί στην αύξηση της μεταφοράς του φωσφόρου στις μιτοχονδριακές μεμβράνες.

Ο φώσφορος σχετίζεται θετικά με το Mg διότι το στοιχείο αυτό δρα ως ενεργοποιητής των ενζύμων της κινάσης και κατ' ακολουθία ενεργοποιεί τις αντιδράσεις εκείνες που διαλαμβάνονται στη μεταφορά του φωσφόρου.

Ο φώσφορος σχετίζεται ανταγωνιστικά με διάφορα στοιχεία όπως με το AL και Fe. Όσον αφορά το AL, σχηματίζει μ' αυτό αδιάλυτες ενώσεις (φωσφορικό αργίλιο) στις μεριστωματικές περιοχές των ριζιδίων όπου δεσμεύεται ο φώσφορος υπό την μορφή της πιο πάνω ένωσης, η οποία είναι δυσδιάλυτη. Με παρόμοιο τρόπο ο φώσφορος δεσμεύει και τον Fe, δηλ με σχηματισμό αδιάλυτης ένωσης φωσφορικού σιδήρου, επιδρώντας αρνητικά στην πρόσληψή του από τα φυτά.

Η αλληλεπίδραση του P με το Zn (P_XZn) έχει μελετηθεί σχετικά λεπτομερώς δεδομένου ότι μπορεί να επιδράσει δυσμενώς στην πρόσληψη του Zn και να έχει τις ανάλογες επιπτώσεις στην ανάπτυξη των καλλιεργειών. Ιδιαίτερα έντονο είναι το αποτέλεσμα αυτής της αλληλεπίδρασης στις καλλιέργειες που είναι ευαίσθητες στην

έλλειψη του Zn (καλαμπόκι, μηλιά, αχλαδιά κλπ.). Η ανταγωνιστική αυτή σχέση μπορεί να αξιοποιηθεί στην πράξη για την αντιμετώπιση των εδαφών που έχουν μολυνθεί με μεγάλες ποσότητες Zn, όπως π.χ. σε βιομηχανικές περιοχές που γίνεται χρήση αυτού του στοιχείου. Η εφαρμογή υψηλών δόσεων P και ασβεστίου, αποτελεί ένα αποτελεσματικό τρόπο βελτίωσης των εδαφών αυτών (Π.Χ. Κουκουλάκης- Α.Η. Παπαδόπουλος, 2003).

1.4.2 ΑΝΟΡΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

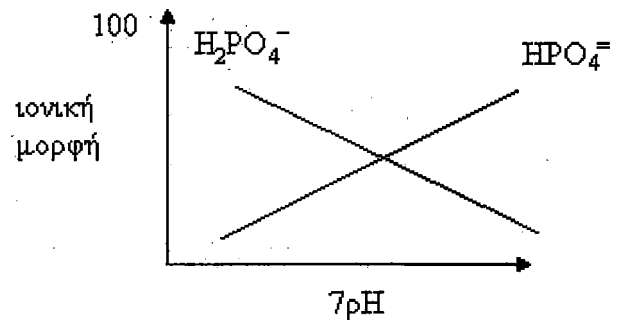
Η ανοργανοποίηση του οργανικού φωσφόρου μελετήθηκε σε σχέση με την αναλογία C:N:P στο έδαφος. Η άριστη αναλογία C/N/P είναι 100/10/1. Αν η σχέση C/P = 200/1 ή μικρότερη, τότε γίνεται ανοργανοποίηση του οργανικού φωσφόρου. Τέλος αν η σχέση C/P = 300/1 τότε ο φώσφορος αδρανοποιείται (Ιωάννης Θεριός, 1996).

1.4.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ (P) ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

1.Ορυκτά Αργίλου. Ο φώσφορος συγκρατείται περισσότερο στα ορυκτά της αργίλου του τύπου 1/1, σε σύγκριση με αυτά του τύπου 2/1. Εδάφη που περιέχουν πολύ καολινίτη, έχουν υψηλή βροχόπτωση και υψηλή θερμοκρασία δεσμεύουν περισσότερο φώσφορο.

2.Χρόνος επαφής φωσφόρου με το έδαφος. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος επαφής, τόσο μεγαλύτερη είναι η δέσμευση του φωσφόρου.

3.PH. Μέγιστη διαθεσιμότητα φωσφόρου παρατηρείται σε pH 5,5-7. Το pH του εδάφους ρυθμίζει την ιονική μορφή φωσφόρου.



Εικόνα 1.4.3.1 Η σχέση μεταξύ του pH του εδάφους και της ιονικής μορφής φωσφόρου.

Στα όξινα εδάφη ο φώσφορος κατακρημνίζεται μετά από αντίδραση με Fe και Al ενώ σε αλκαλικά μετά από αντίδραση με Ca και Mg.

4.Οργανική ουσία. Η παρουσία της οργανικής ουσίας αυξάνει τη διαθεσιμότητα φωσφόρου, διότι παράγεται CO_2 και H_2CO_3 που κατεβάζει το pH. Ο ανόργανος φώσφορος είναι περισσότερος από τον οργανικό στο έδαφος. Επίσης ο οργανικός φώσφορος είναι περισσότερος στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους. Ο φώσφορος του εδαφικού διαλύματος βρίσκεται σε ισορροπία με την οργανική ουσία σύμφωνα με το διάγραμμα.

$$\begin{bmatrix}\text{Οργανική}\\ \text{ουσία P}\end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{bmatrix}\text{Εδαφικό}\\ \text{διάλυμα P}\end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{bmatrix}\text{Δέσμευση στα 1/1}\\ \text{Σύμπλοκα με Fe, Al}\\ \text{Σύμπλοκα με Ca,Mg}\end{bmatrix}$$

(Ιωάννης Θεριός, 1996).

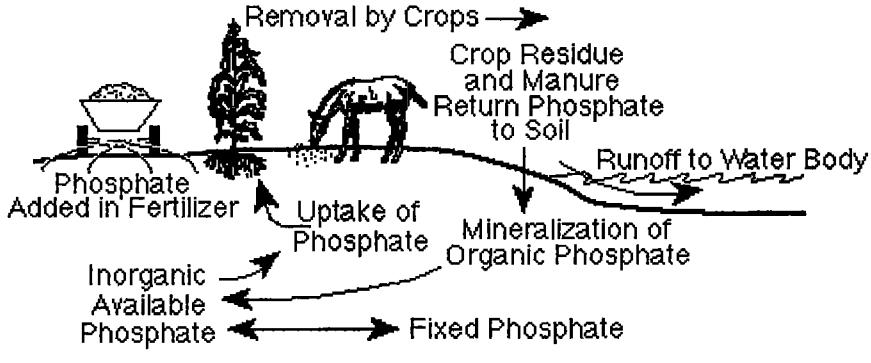
1.4.4 ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ (P) ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Πολλά εδάφη σ' όλο τον κόσμο έχουν έλλειψη φωσφόρου. Ακόμη και στα πιο γόνιμα, η συγκέντρωση φωσφόρου του εδαφικού διαλύματος σπανίως είναι >10μM. Η μικρή διαλυτότητα φωσφόρου είναι υπεύθυνη επίσης για τις χαμηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα , δεν εξηγεί όμως την παντελή έλλειψη διαθεσιμότητας στα αργιλώδη εδάφη.

Πιθανώς ο φώσφορος δεσμεύεται μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών της αργίλου (micas). Περίπου 98-99 % του φωσφόρου στα αργιλώδη εδάφη μπορεί να δεσμεύεται τόσο ισχυρά ώστε να μη μπορεί να εκφυλιστεί με άλατα, η να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά. Ένα μεγάλο μέρος του εδαφικού φωσφόρου μπορεί να βρίσκεται σε οργανική μορφή. Αυτό το τμήμα είναι ως επί το πλείστον αδιάλυτο και ο φώσφορος δεν είναι διαθέσιμος για τα φυτά. Έτσι τα εδαφικά διαλύματα τυπικά περιέχουν 2μM ενώ τα φυτά περιέχουν 5-20μM φωσφόρου. Ένα μεγάλο μέρος αυτής της αύξησης παρατηρείται μέσα στην ρίζα. Η συγκέντρωση φωσφόρου στον κυτταρικό χυμό είναι 20-100 φορές μεγαλύτερη απ' ότι στο εδαφικό διάλυμα. Μια ποσότητα φωσφόρου μπορεί να ελευθερωθεί στο εδαφικό διάλυμα από τα κολλοειδή του εδάφους (Ιωάννης Θεριός, 1996).

1.4.5 Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

Ο κύκλος του φωσφόρου είναι παρόμοιος με κύκλους άλλων ανόργανων θρεπτικών, γιατί το φωσφόρο υπάρχει σε εδάφη και ορυκτά, σε οργανισμούς διαβίωσης και στο νερό. Αν και ο φώσφορος διανέμεται ευρέως στη φύση δεν βρίσκεται μόνος του σε στοιχειώδη μορφή. Ο στοιχειώδης φωσφόρος είναι εξαιρετικά δραστικός και θα συνδυαστεί με το οξυγόνο όταν εκτίθεται στον αέρα. Στα φυσικά συστήματα όπως το έδαφος και το νερό, το φώσφορο υπάρχει ως φωσφορικό άλας, μια χημική μορφή στην οποία κάθε άτομο φωσφόρου περιβάλλεται από τέσσερα άτομα οξυγόνου (O). Ο ορθοφωσφορικός, το απλούστερο φωσφορικό άλας, έχει το χημικό τύπο $PO4^{-3}$. Στο νερό, το ορθοφωσφορικός υπάρχει συνήθως ως $H2PO4^{-}$ σε όξινες συνθήκες ή ως $HPO4^{2}$ σε αλκαλικές συνθήκες .



Εικόνα 1.4.5.1.Ο κύκλος του φωσφόρου.

Τα φωσφορικά απορροφώνται απ' τα φυτά από το έδαφος, που χρησιμοποιούνται από τα ζώα που καταναλώνουν τα φυτά, και επιστρέφουν στο έδαφος σαν οργανικά υπολείμματα που αποσυντίθενται στο έδαφος **(σχήμα 1.4.5.1)**. Ένα μεγάλο μέρος του φωσφορικού άλατος που χρησιμοποιείται από τους οργανισμούς διαβίωσης ενσωματώνεται στις οργανικές ενώσεις. Όταν οι φυτικοί ιστοί επιστρέφονται στο έδαφος, αυτό το **οργανικό φωσφορικό άλας** θα απελευθερωθεί αργά ως ανόργανο φωσφορικό άλας ή θα ενσωματωθεί μέσα σε περισσότερο σταθερά οργανικά υλικά και θα γίνει μέρος του οργανικού στοιχείου του εδάφους. Η απελευθέρωση του ανόργανου φωσφορικού άλατος από τα οργανικά φωσφορικά άλατα καλείται ανοργανοποίηση και προκαλείται από τους μικροοργανισμούς που διασπούν τις οργανικές ενώσεις. Η δραστηριότητα των μικροοργανισμών επηρεάζεται ιδιαίτερα από την εδαφολογική θερμοκρασία και την εδαφολογική υγρασία. Η διαδικασία είναι γρηγορότερη όταν τα χώματα είναι θερμά και υγρά αλλά και καλά αποστραγγιζόμενα. Το φωσφορικό άλας μπορεί ενδεχομένως να χαθεί μέσω της εδαφολογικής διάβρωσης. Πολλές ενώσεις φωσφορικού άλατος δεν είναι αρκετά διαλυτές στο νερό επομένως, το μεγαλύτερο μέρος του φωσφορικού άλατος στα φυσικά συστήματα (Lowell Busman et al, 2002).

1.4.6 ΟΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Η απομάκρυνση του φωσφόρου από το έδαφος μπορεί να γίνει με 3 διαδικασίες :

1. Υδατοδιαλυτός φώσφορος απομακρυνόμενος επιφανειακά από το έδαφος με την επιφανειακή απορροή του νερού των βροχοπτώσεων και με την διάβρωση του εδάφους. Η διάβρωση μπορεί να αποτελέσει σημαντική αιτία απωλειών φωσφόρου, εξαρτάται από την ένταση των βροχοπτώσεων, την κλίση του εδάφους, την απουσία φυτοκάλυψης και την εν γένει καλλιεργητική διαχείριση.
2. Υδατοδιαλυτός φώσφορος παρασυρόμενος με το καθοδικό ρεύμα του ύδατος των βροχοπτώσεων, το οποίο κινούμενο δια μέσου του εδάφους καταλήγει σε ρυάκια ή ποτάμια, χωρίς να φτάσει στον κύριο υπεδάφιο υδροφόρο ορίζοντα.
3. Υδατοδιαλυτός φώσφορος που απομακρύνεται με έκπλυση, δηλαδή παραλαμβάνεται από το καθοδικό ρέυμα του εδαφικού ύδατος, φθάνει στον υδροφόρο ορίζοντα και διηθείται σε ρυάκια, ποταμούς ή λίμνες (Αναλογίδης, 2000) (Gregory Mullis, 2001) (George Rehm et al, 2002).

Οι απώλειες φωσφόρου από τη γεωργία μπορούν να είναι μια σημαντική πηγή για τον εμπλουτισμό των λιμνών και των ποταμών (Gyles Randall et al,2002).

1.4.7 ΑΠΟΘΗΣΑΥΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ (P)

Ο φώσφορος που συγκεντρώνεται στα χυμοτόπια εξυπηρετεί αποθησαυριστικό ρόλο. Ένας εναλλακτικός τρόπος αποθήκευσης φωσφόρου είναι η σύνθεση στα κύτταρα αποθησαυριστικών Ρούχων ενώσεων. Έτσι τα πολυφωσφορικά απαντώνται ευρέως στα κατώτερα φυτά, δεν έχουν όμως αναγνωριστεί στα αγγειόσπερμα. Τα πολυφωσφορικά βρέθηκε ότι είναι ευρέως διαθέσιμο προϊόν αποθησαυρισμού στα ανώτερα φυτά, έχουν όμως μικρότερη σημασία από το φυτικό οξύ.

Το φυτικό οξύ απαρτίζει το 70% του ολικού φωσφόρου των σπερμάτων και βρίσκεται σε μεγάλη ποσότητα στις πατάτες και σε μικρή σε πράσινους ιστούς. Το φυτικό οξύ δε μεταφέρεται εκτός των βλαστανόντων σπερμάτων αλλά υδρολύεται με το ένζυμο φυτάση. Υπάρχει ελάχιστη φυτάση σε στεγνό σπέρμα. Η εμφάνιση της

φυτάσης αναστέλλεται από τους αναστολείς της σύνθεσης πρωτεΐνης (Ιωάννης Θεριός, 1996).

1.4.8 Ο ΕΔΑΦΙΚΟΣ ΦΩΣΦΟΡΟΣ (P) ΚΑΙ Η ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΤΟΥ

Ο φώσφορος σχηματίζει δυσδιάλυτες ενώσεις με δισθενή και τρισθενή κατιόντα στο έδαφος. Εξαιτίας αυτού η ποσότητα φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα είναι πολύ μικρή. Τα φυτά απορροφούν φώσφορο από το εδαφικό διάλυμα και για κανονική αύξηση το εδαφικό διάλυμα πρέπει να ανανεώνεται πολλές φορές καθημερινά κατά την περίοδο αύξησης. Ο περιοριστικός παράγοντας στην απορρόφηση φωσφόρου από τα φυτά είναι η ανανέωση του διαλύματος κοντά στις ρίζες του φυτού με διάχυση. Οι παράγοντες που λαμβάνουν μέρος στην ανανέωση του εδαφικού διαλύματος είναι το ποσό φωσφόρου που διαλυτοποιείται, ο βαθμός της διαλυτότητας του και η ταχύτητα διάχυσης από την επιφάνεια των κολλοειδών της αργίλου προς την επιφάνεια των ριζών. Από τους πιο πάνω παράγοντες η ταχύτητα της διάχυσης δεν μετρήθηκε καθόλου. Έτσι, ακόμα και με την καλύτερη εκχύλιση για φώσφορο, η συσχέτιση των συγκεντρώσεων φωσφόρου που αποκτήθηκαν με την απορρόφηση φωσφόρου από τα φυτά και τις αποδόσεις, είναι απαραίτητη, για να καταστεί το τεστ του εδαφικού φωσφόρου χρήσιμο, σε μεγάλο εύρος εδαφών (Ιωάννης Θεριός, 1996).

1.4.9 ΜΟΡΦΕΣ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

Ο φώσφορος μπορεί να απορροφηθεί παθητικά με διάχυση και με ενεργητική απορρόφηση. Ο φώσφορος απαντάται σε 3 ιονικές μορφές ήτοι $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} και PO_4^{3-}ανάλογα με το pH. Σε γεωργικά εδάφη υπερισχύουν οι μορφές $H_2PO_4^-$ και HPO_4^{2-}.

Από τα φωσφορικά ανιόντα η απορρόφηση των $H_2PO_4^-$ είναι πιο γρήγορη σε τιμή pH όπου το 95 % του φωσφόρου βρίσκεται στη μορφή $H_2PO_4^-$. Καθώς το pH αυξάνει και η ποσότητα του HPO_4^{2-} αυξάνεται, η απορρόφηση μειώνεται. Το OH^- είναι αναστολέας της απορρόφησης τόσο του $H_2PO_4^-$ όσο και του HPO_4^{2-}. Η παρουσία 2 ιονικών μορφών δεν είναι υπεύθυνη για το διφασικό σχήμα των καμπύλων απορρόφησης του φωσφόρου που αποκτούνται με pH = 6, όπου η αναλογία $H_2PO_4^-$ /HPO_4^{2-} ισούται με 15.

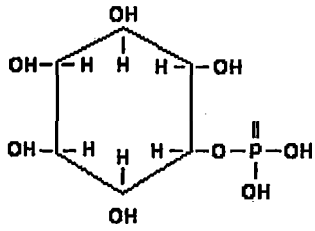
Βακτηριακή μόλυνση των ριζών συνήθως αυξάνει την απορρόφηση. Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την απορρόφηση είναι οι εξής:

1.Η παρουσία κατιόντων. Όσο μεγαλύτερο το σθένος του κατιόντος στο διάλυμα, τόσο μεγαλύτερη είναι η απορρόφηση φωσφόρου.

2.Υδατική καταπόνηση (stress). Μειώνει την απορρόφηση φωσφόρου.

3.Η συγκέντρωση. Υψηλή συγκέντρωση φωσφόρου αυξάνει την απορρόφηση. Το άκρο της ρίζας και η περιοχή απ' όπου σχηματίζονται οι πλευρικές ρίζες απορροφούν φώσφορο περισσότερο με ενεργητική απορρόφηση. Οι γηραιότερες ρίζες απορροφούν μεγαλύτερη αναλογία με το ρεύμα της διαπνοής. Το πλείστον του φωσφόρου που εισέρχεται στις ρίζες απορροφάται από τα ριζικά τριχίδια (Ιωάννης Θεριός, 1996).

Ο φώσφορος βρίσκεται στο έδαφος σε οργανική και ανόργανη μορφή. Ο οργανικός φώσφορος είναι περισσότερος από το μισό του ολικού φωσφόρου στο έδαφος και το μισό του οργανικού αυτού φωσφόρου βρίσκεται υπό μορφή φωσφορικού ινοσίτη (inositol hexahosphate).



Εικόνα 1.4.9.1 Συντακτικός τύπος του φωσφορικού ινοσίτου (φυτικό οξύ) (Τσιτσιά, 1996)

Την ανόργανη μορφή του φωσφόρου στο έδαφος αποτελούν κυρίως ορυκτά όπως ο απατίτης ($CaX_2 3Ca(PO_4)_2$, όπου X=Cl,F,OH,CO_3).

Σε ασβεστούχα εδάφη ο φώσφορος βρίσκεται υπό μορφή φωσφορικού Ca και οργανικού φωσφόρου και στα όξινα υπό μορφή φωσφορικού σιδήρου και αργιλίου. Δηλαδή, στα όξινα εδάφη ο Fe, το Al και το Mn διαλύονται εύκολα και αντιδρούν με τα φωσφορικά ανιόντα ($PO_4^{-\ -\ -}$) και σχηματίζουν βασικά ή ενυδατωμένα φωσφορικά. Παραδείγματα τέτοιων ενώσεων είναι :

Ο Στεργκίτης: $Fe(OH)_2*H_2PO_4*3H_2O$ και ο Βερισίτης: $Al(OH)_2*H_2PO_4*3H_2O$ που κατακρημνίζονται ως αδιάλυτα βασικά άλατα του σιδήρου ή αργιλίου με το φώσφορο και κρυσταλλώνονται.

Σε υψηλό pH (pH>8,4) η παρουσία άφθονου Na^+ αυξάνει πάλι τις διαλυτές μορφές φωσφόρου. Εδάφη με τόσο υψηλό pH χαρακτηρίζονται ως αλκαλιωμένα και είναι προβληματικά.

Χαρακτηριστικό των ανόργανων φωσφορικών του εδάφους είναι αφ' ενός μεν η μεγάλη δυσδιαλυτότητα των φωσφορικών αλάτων του εδάφους, αφ' ετέρου η ισχυρότατη δέσμευσή του από τα ορυκτά τις αργίλου (όσα δεσμεύονται). Για το λόγο αυτό η συγκέντρωση των φωσφορικών στα εδαφικά διαλύματα είναι πολύ χαμηλή, της τάξης 10^{-6} έως 10^{-5} mol/l και σε φτωχά εδάφη ακόμα μικρότερη.

Η μορφή των επικρατέστερων ανόργανων φωσφορικών αλάτων στο έδαφος είναι συνάρτηση του pH και της περιεκτικότητας του εδάφους σε Ca και $CaCO_3$. Οι επικρατέστερες μορφές σε ουδέτερα και ασβεστο-ανθακικά εδάφη είναι :

- ο υδροξυαπατίτης $Ca(OH)_2*3Ca_3(PO_4)_2$
- το οκτασβέστιο $Ca_8 2(PO_4)_6*5\ H_2O$
- το τριασβέστιο $Ca_3(PO_4)_2$

Σε όξινα εδάφη απαντούν επίσης το φωσφορικό αργίλιο ($AlPO_4*2H_2O$) και ο φωσφορικός σίδηρος ($FePO_4*2H_2O$).

Τα περισσότερο δυσδιάλυτα είναι ο φωσφορικός σίδηρος και το φωσφορικό αργίλιο και ακολουθούν κατά σειρά ο υδροξυαπατίτης, το φωσφορικό οκτασβέστιο και το τριασβέστιο. Οι δυσδιάλυτες μορφές βρίσκονται σε ισσοροπία με τις πιο διαλυτές μορφές κυρίως του φωσφορικού διασβεστίου ($CaHPO_4$).

Η σχετική συγκέντρωση του διαλυτού φωσφορικού διασβεστίου είναι συνάρτηση του pH, του μέσου και της συγκέντρωσης $CaCO_3$ και CO_2 (Τσιτσιά, 1996).

1.4.10 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΩΝ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ

Οι μικροοργανισμοί του εδάφους είναι η κύρια πηγή του οργανικού εδαφικού P. Κατά την αποσύνθεση των οργανικών υπολειμμάτων ο μικροβιακός πληθυσμός αυξάνει με αποτέλεσμα την ακινητοποίηση του διαθέσιμου P. Όταν τα διαθέσιμα αποθέματα ενέργειας ενός εδάφους εξαντληθούν, ο αριθμός των μικροοργανισμών μειώνεται και η διάσπαση της κυτταρικής τους ύλης οδηγεί σε απελευθέρωση ανόργανου P (Αναλογίδης, 2000).

Αρκετά σημαντικός είναι ο ρόλος των μυκόρριζων στη θρέψη των φυτών με P. Ως **Μυκόρριζα** χαρακτηρίζεται η στενή σχέση μεταξύ των υφών ενός μύκητα και των ριζών ενός ανώτερου φυτού. Είναι μια συμβιωτική σχέση με αμοιβαίο όφελος και για τους δυο οργανισμούς. Στη φύση οι ρίζες των περισσότερων φυτών γίνονται μυκόρριζες, δηλαδή αλλάζει η μορφολογία τους χωρίς να εμφανίζονται παθολογικά συμπτώματα. Οι μυκόρριζες απορροφούν 3 με 5 φορές περισσότερα θρεπτικά συστατικά από τις μη μυκορριζικές ρίζες, αφού οι ρίζες των φυτών με τη βοήθεια των μυκητιακών υφών εξερευνούν περισσότερο όγκο εδάφους. Ο μύκητας παρέχει στα φυτά ανόργανα συστατικά (P, N κ.α.) και πολύπλοκες οργανικές ενώσεις που συνθέτει ο ίδιος και παίρνει απ' το φυτό υδατάνθρακες. Η συμβίωση αυτή επιτρέπει στα φυτά να ανταγωνιστούν αποτελεσματικότερα τους μικροοργανισμούς του εδάφους για την πρόσληψη του περιορισμένου διαθέσιμου P. Επίσης οι μυκόρριζες μπορούν να προσλάβουν P και από οργανικές πηγές (φυτικά και νουκλεϊκά οξέα) ενώ τα φυτά δεν μπορούν (Schachtman et al., 1998). Φαίνεται να υπάρχει ομοιότητα στον τρόπο δράσης των μυκόρριζων με τα ριζόβια βακτήρια των ψυχανθών, μόνο που τα πρώτα συμβιώνουν με πολύ μεγαλύτερο αριθμό ειδών (Αναλογίδης, 2000).

Η αύξηση των μυκορριζίων επηρεάζεται από τις επικρατούσες συνθήκες. Έτσι μερικοί τύποι μυκόρριζων προτιμούν pH 5-6, ενώ άλλες μυκόρριζες (Glomus mosseae, G. Gerdemanni, και G. Macrocarpus) προτιμούν pH 7-8. Σε υδροπονική καλλιέργεια σόργου, καθώς αυξανόταν το pH από 4 σε 7 διαπιστώθηκε αύξηση στην αποίκηση των ριζών με μυκόρριζες Glomus etunicatum και G. Intraradices (Medeiros and al., 1994). Η άριστη θερμοκρασία για τις περισσότερες μυκόρριζες είναι μεταξύ 20-30°C. Η δραστηριότητα των μυκόρριζων αναστέλλεται από την υψηλή εδαφική υγρασία, την αλατότητα, τις μεγάλες συγκεντρώσεις CO_2 (>1%) και τις υψηλές συγκεντρώσεις διαλυτού P ή NO_3 (Θεριός, 1996).

Από μορφολογική άποψη οι μυκόρριζες διακρίνονται σε τρεις κυρίως τύπους με βάση τη σχέση των μυκηλιακών υφών με τα κύτταρα της ρίζας, στις εκτομυκόρριζες, ενδομυκόριζες και εκτενδομυκόριζες. Στις **εκτομυκόρριζες** ο μύκητας σχηματίζει ένα συμπαγή στρώμα (μυκηλιακός χιτώνας) γύρω από τη ρίζα και οι μυκηλιακές υφές εισέρχονται μεταξύ των κυττάρων στο παρέγχυμα. Υφές απ' αυτό το στρώμα διαπερνούν τα εξωτερικά στρώματα του φλοιού της ρίζας και σχηματίζουν στους μεσοκυττάριους χώρους ένα δίκτυο (hartig net). Επίσης υφές από το μυκηλιακό χιτώνα επεκτείνονται και διακλαδίζονται μέσα στο έδαφος και απορροφούν θρεπτικά στοιχεία και τα μεταφέρουν στη μυκόρριζα. Με τις μυκητιακές υφές αυξάνεται η επιφάνεια επαφής με το έδαφος, με αποτέλεσμα να απορροφάται μεγαλύτερη ποσότητα δυσκίνητου P ή να διαλυτοποιείται μεγαλύτερη ποσότητα αδιάλυτου P. Η ανταλλαγή οργανικών και ανόργανων συστατικών μεταξύ του ξενιστή και του μύκητα συμβαίνει στο δίκτυο hartig, όπου η επαφή του μύκητα με τα κύτταρα του ξενιστή είναι επαρκής. Η μυκόρριζα διακρίνεται εύκολα από τις υπόλοιπες ρίζες του φυτού γιατί δεν έχει ριζικά τριχίδια, είναι κοντότερη, παχύτερη και διακλαδισμένη. (Ιωάννης Θεριός, 1996).

Οι εκτομυκόρριζες απορροφούν από το φυτό απλά σάκχαρα. Η πλειονότητα των μυκήτων στερείται θειαμίνης και άλλων οργανικών συστατικών, τα οποία παίρνουν από τον ξενιστή. Οι εκτομυκόρριζες συναντώνται κυρίως σε δασικά εδάφη. Οι περισσότεροι απ' αυτούς ανήκουν στους βασιδιομύκητες και ορισμένοι στους ασκομύκητες.

Οι **ενδομυκόρριζες (κυστοειδείς ή δενδροειδείς μυκόρριζες)** φέρουν αραιό δίκτυο υφών δενδροειδούς μορφής στο έδαφος και πολύ μεγάλη ανάπτυξη υφών στα παρεγχυματικά κύτταρα της ρίζας. Οι ενδομυκόρριζες διαιρούνται σε δυο ομάδες. Στην πρώτη ομάδα ανήκουν αυτές που προκύπτουν από μύκητες με κάθετα

χωρίσματα (septa) και στη δεύτερη οι μυκόρριζες που έχουν μύκητες χωρίς septa που καλούνται **vesicular-arbuscular μυκόρριζες (V.A)**. Οι μυκόρριζες V.A είναι η διαδεδομένη κατηγορία στα φυτά μεγάλης καλλιέργειας (Hawkins and George, 1997). Οι V.A μυκόρριζες δημιουργούνται από μύκητες της οικογένειας endogonaceae, προκαλούν ελάχιστες μεταβολές στην εξωτερική μορφολογία της ρίζας, περιβάλλονται από μυκηλιακές υφές και παράγουν μεγάλα σπόρια, που διαχωρίζονται εύκολα με υγρό κοσκίνισμα. Οι V.A μυκόρριζες περιορίζονται στην επιδερμίδα και το φλοιώδες παρέγχυμα της ρίζας και δεν εισέρχονται στην ενδοδερμίδα και τον κεντρικό κύλινδρο. Οι ενδομυκόρριζες παράγουν αυξίνες που είναι υπεύθυνες για τις μορφολογικές διαφορές μεταξύ των ριζών με μυκόρριζες και χωρίς μυκόρριζες. Μπορούν να αναγνωριστούν σε λεπτές μη αποφελλωμένες ρίζες από το λαμπρό κίτρινο χρώμα που εξαφανίζεται μετά από έκθεση σε δυνατό φως. Ο απλούστερος τρόπος για τη διάκρισή τους είναι με κάθαρση και χρώση των ριζών, οπότε διακρίνονται οι υφές του μύκητα (Ιωάννης Θεριός, 1996).

Σε φυτά καλαμποκιού εμβολιασμένα με V.A μυκόρριζες παρατηρήθηκε αύξηση του νωπού βάρους του βλαστού 13-37% και αύξηση της συγκέντρωσης του περιεχόμενου P στους βλαστούς 30-35%. Επίσης σε φυτά τομάτας μελετήθηκε η διάλυση του ανόργανου άνθρακα στις V.A μυκόρριζες κατά τον αναπνευστικό μεταβολισμό της ριζόσφαιρας σε συνθήκες έλλειψης P. Βρέθηκε ότι κατά τη διάρκεια έλλειψης P, οι μυκορριζικές ρίζες είχαν υψηλότερη ενσωμάτωση διαλυμένου ανόργανου άνθρακα απ' ότι οι μη μυκορριζικές (Valentine and Cramer, 2001).

Οι **εκτενδομυκόρριζες** είναι σαν τις εκτομυκόρριζες με μόνη διαφορά ότι φέρουν μυκηλιακές υφές εντός των κυττάρων. Δηλαδή είναι ένας ενδιάμεσος τύπος που παρουσιάζει χαρακτηριστικά από τους δύο προηγούμενους.

Από πολλούς επιστήμονες διατυπώθηκε η άποψη ότι τα πρώτα επίγεια φυτά εξελίχθηκαν από τους υδρόβιους προγόνους τους με την ανάπτυξη σχέσεων με τους μικροοργανισμούς. Αυτές οι σχέσεις μπορεί να είχαν μειώσει τις δυσκολίες που συνάντησαν τα φυτά στην προσαρμογή τους στην έλλειψη νερού για πρώτη φορά. Οι μυκόρριζες, που έχουν την ικανότητα να καλύπτουν πολύ πυκνά το σύστημα της ρίζας, μπορεί να είχαν αναπτυχθεί ως θεμελιώδης ρυθμιστής των σχέσεων νερού και φυτών. Σήμερα, πειραματικά δεδομένα δείχνουν ότι η μυκορριζική συμβίωση διαδραματίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στις σχέσεις νερού και φυτών. Πειράματα που έγιναν πάνω στην εκτομυκορριζική συμβίωση των βασιδιομύκητων (και ορισμένων ασκομύκητων) και των ξενιστών τους δέντρων έδειξαν ότι τα σπορόφυτα (seedlngs) των μυκορριζικών δέντρων μπορούν ν' αντισταθούν στην ξηρασία καλύτερα από τα μη μυκορριζικά σπορόφυτα. Οι εκτομυκορριζικοί μύκητες μπορούν ν' αυξηθούν σε διαλύματα υψηλότερης ωσμωτικής πίεσης από αυτή που πλασμολύονται τα μη μυκορριζικά τριχίδια. Τα μυκορριζικά μυκήλια μπορούν επίσης να ενισχύσουν τη μεταφορά νερού στα δέντρα. Πειράματα που έγιναν σε εσπεριδοειδή εμβολιασμένα με V.A μυκόρριζες έδειξαν να υπάρχει μια αυξημένη ανοχή στην ξηρασία έναντι των μη μυκορριζικών σπορόφυτων (Killham, 1995).

Παλαιότερα, η ενισχυμένη αύξηση των εμβολιασμένων φυτών με μυκόρριζες σε εδάφη με επαρκή υγρασία, αποδόθηκε στη βελτιωμένη θρέψη P.Αλλά στη συνέχεια η ανοχή στην ξηρασία των μυκοτροφικών φυτών αποδόθηκε στη δυνατότητα των V.A μυκόρριζων να διατηρούν τη θρέψη με P σε επαρκή επίπεδα ακόμα κι όταν μειώνεται η κινητικότητα των ιόντων P σε χαμηλές εδαφικές υγρασίες. Επίσης έχει διαπιστωθεί ότι τα εμβολιασμένα φυτά έχουν αυξημένη υδραυλική αγωγιμότητα και γι' αυτό απορροφούν περισσότερο P, έχουν αυξημένα ποσά δυνητικού νερού στα φύλλα, αυξημένη διαπνοή και χαμηλότερες αντιστάσεις στομάτων από τα μη μυκοτροφικά φυτά (Killham, 1995).

1.5. ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

1.5.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Στη συμβατική γεωργία έχουμε παραγωγή γεωργικών προϊόντων με τη χρησιμοποίηση γεωργικών φαρμάκων, χημικών λιπασμάτων και ορμονών. Η χρήση αυτών των ουσιών είχε σαν αποτέλεσμα τη μεγιστοποίηση της παραγωγής, την υποβάθμιση των προϊόντων και κυρίως την επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

Κατά τη συμβατική διαχείριση, οι εισροές φωσφόρου πραγματοποιούνται με την προσθήκη απλών φωσφορούχων, και σύνθετων λιπασμάτων (N, P, K). Τα απλά φωσφορούχα λιπάσματα είναι ορυκτά λιπάσματα που δε διαλύονται εύκολα στο νερό, τα οποία έπειτα από μια αργή επεξεργασία από τα βακτήρια, συγχωνεύονται στο έδαφος. Τα σύνθετα και τα' άλλα ευδιάλυτα λιπάσματα παράγονται από τη χημική αντίδραση των αντίστοιχων θρεπτικών στοιχείων (Πίνακας 1.5.1). Έτσι το σύνθετο λίπασμα 11-15-15 περιέχει 11 % N, 15 % P_2O_5 και 15 % K_2O, το υπόλοιπο 59 % αποτελείται από τις ρίζες των αλάτων των θρεπτικών στοιχείων (Άλκιμος, 1990).

Φωσφορική ένωση	Χημικός τύπος	Σύμβολο	pH	P (moles/lt)	Ενωμένο κατιόν	Κατιόν (moles/lt)
Φωσφ/κό μονασβέστιο	$Ca(H_2PO_4)_2H_2O$	MCP	1,0	4,5	Ca	1,3
Φωσφ/κό μοναμμώνιο	$NH_4H_2PO_4$	MAP	3,5	2,9	NH_4	2,9
Φωσφ/κό διαμμώνιο	$(NH_4)H_2PO_4$	DAP	8,0	3,8	NH_4	7,6
Φωσφ/κό μονοκάλιο	KH_2PO_4	MKP	4,0	1,7	K	1,7
Φωσφ/κό δικάλιο	KH_2PO_4	DKP	10,1	6,1	K	12,2
Φωσφ/κό διασβέστιο	$CaHPO_4$	DCP	6,5	$2 * 10^{-3}$	Ca	10^{-3}
Υδροξυοαπατίτης	$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$	HAP	6,5	10^{-5}	Ca	10^{-3}

Πίνακας 1.5.1: Σύνθεση κεκορεσμένων διαλυμάτων που προκύπτουν από τα εμπορικά φωσφορικά λιπάσματα (Αναλογίδης, 2000)

Τα περισσότερα εμπορικά φωσφορικά λιπάσματα παρασκευάζονται από τον απατίτη (φωσφορικό πέτρωμα):

α) με προσθήκη θειικού οξέος (υγρή διαδικασία) που παράγει <<μαύρο>> φωσφορικό οξύ και

β) με κατεργασία σε ηλεκτρικό φούρνο (ξηρή διαδικασία) που παράγει <<λευκό>> φωσφορικό οξύ (Rehm, et al., 2002).

1.5.1.1 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ

Η αύξηση των εισροών στο συμβατικό αγροτικό σύστημα χωρίς να υπάρχει η αντίστοιχη κατανάλωση από τα φυτά έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση των

φωσφορικών στο έδαφος. Το έδαφος όμως μπορεί να συγκρατήσει μια ορισμένη ποσότητα φωσφορικών (ρυθμιστική & εναλλακτική ικανότητα). Τα υπόλοιπα φωσφορικά χάνονται από το έδαφος με τα επιφανειακά και υπόγεια νερά. Η αύξηση της συγκέντρωσης P στις υδάτινες μάζες επιταχύνει την ανάπτυξη των αλγών και των άλλων υδρόβιων φυτών (**ευτροφισμός**). Ο φώσφορος είναι το θρεπτικό συστατικό που ελέγχει τον ευτροφισμό των γλυκών νερών (Mullins, 2001).

Τα επιφανειακά νερά διακρίνονται με βάση τις συγκεντρώσεις του φωσφόρου (PO_4-P) σε: α) ολιγότροφα, όταν οι συγκεντρώσεις P είναι μικρότερες των 10 mg/l, β) σε μεσότροφα με συγκεντρώσεις 10-20 mg/l και γ) σε εύτροφα με συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 20 mg/l (Παπαστεργιάδου, 1990)

Η USEPA (U.S. Environmental Protection Agency, 1986) έχει θεσπίσει για τον έλεγχο του ευτροφισμού των επιφανειακών νερών, το όριο των 0,05 ppm ολικού φωσφόρου για τις λίμνες και για τα ρεύματα που καταλήγουν σ' αυτές και το όριο των 0,1 ppm ολικού φωσφόρου για τα ρέοντα ρεύματα. Επίπεδα του P για την επιφανειακή απορροή από τις αγροτικές περιοχές δεν έχουν θεσπιστεί.

Ένας μεγάλος αριθμός προβλημάτων της ποιότητας του νερού έχει συνδεθεί με τον ευτροφισμό. Οι φυκώδεις αυξήσεις προκαλούν το θάνατο των ψαριών και βλάπτουν την άγρια φύση και το ζωικό κεφάλαιο, μειώνοντας την περιεκτικότητα του διαλυμένου οξυγόνου (D.O.) και παράγοντας τοξίνες. Οι ευτροφικές λίμνες εξουσιάζονται από τα άλγη, τα χονδροειδή και τα γρήγορα αυξανόμενα ψάρια, ενώ τα εδώδιμα ψάρια, τα μακρόφυτα και οι βενθονικοί οργανισμοί εξαφανίζονται. Η αποσυντιθέμενη φυκώδης βιομάζα παράγει αφρούς στην υδάτινη επιφάνεια, μυρωδιές και αυξάνει τους πληθυσμούς των παράσιτων εντόμων. Επομένως ο ευτροφισμός αυξάνει το κόστος και δυσκολεύει τον καθαρισμό του πόσιμου νερού (Mullins, 2001).

Τα φωσφορικά λιπάσματα επηρεάζουν το pH του εδάφους. Τα περισσότερα φωσφορικά λιπάσματα (MCP, MAP, MKP) δημιουργούν μια όξινη ζώνη γύρω από την περιοχή τοποθέτησής τους. Ενώ κάποια άλλα (DAP, DKP) δημιουργούν βασική ζώνη. Μια τυχαία επιλογή λιπάσματος από τον παραγωγό χωρίς τον αντίστοιχο έλεγχο της οξύτητας του εδάφους μπορεί να διαταράξει ανεπανόρθωτα το pH του εδάφους (Rhem, et al., 2002).

Τα φωσφορικά λιπάσματα που περιέχουν σαν πρόσμιξη ιονικό κάδμιο και άλλα βαρέα μέταλλα, συμβάλλουν στη ρύπανση του εδάφους. Τα μέταλλα αυτά απορροφούνται από τα φυτά και μέσω της τροφικής αλυσίδας αποτελούν κίνδυνο για τη δημόσια υγεία (Αναλογίδης, 2000).

Τέλος, τα φωσφορικά λιπάσματα αναστέλλουν τη δραστηριότητα των φωσφατασών. Η μετατροπή του οργανικού φωσφόρου σε διαθέσιμη μορφή είναι μια ενζυμική λειτουργία που στα μη λιπασμένα εδάφη γίνεται με ρυθμό ανάλογο με τη δραστηριότητα των φωσφατασών (Sharpley and Smith, 1995).

1.5.1.2 ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ & ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΓΛΥΚΟΥ ΣΟΡΓΟΥ

Μέχρι σήμερα οι καλλιέργειες του γλυκού σόργου τόσο σε επαγγελματικό, όσο και σε ερευνητικό επίπεδο, γίνονταν με συμβατικό τρόπο. Πάρα πολλές μελέτες έχουν γίνει πάνω στις προστιθέμενες ποσότητες λιπασμάτων για κάθε καλλιέργεια καθώς και στον τρόπο προσθήκης του κάθε λιπάσματος. Τα θρεπτικά συστατικά και η αποτελεσματικότητα της χρήσης τους θα επηρεάσουν τη βιωσιμότητα του γλυκού σόργου ως ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, καθώς το λίπασμα αντιπροσωπεύει μια σημαντική μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (Wiedenfeld, 1984). Ο Τσίτσιας (1997) για

τη λίπανση του σόργου συνιστά: 6 μονάδες N, 4 μονάδες P_5O_5 και 2,5 μονάδες K_2O. Ενώ ο Ranney (1994) αναφέρει τα θρεπτικά επίπεδα για τις καλλιέργειες των δημητριακών και για τις ενεργειακές καλλιέργειες (Πίνακας 1.5.2) (Hall and Hoods, 1996).

Είδος καλλιέργειας	Άζωτο	Φώσφορος (P_2O_5)	Κάλιο (K_2O)	Σύνολο
Καλαμπόκι	135	60	80	275
Σόργο (καρποδοτικό)	90	60	60	210
Σιτάρι	60	35	45	140
Alfalfa (μηδική)	0	75	150	225
Γλυκο σόργο (ενεργειακό)	110	60	60	230
Sericea lespedeza (ενεργειακό)	10	30	90	130
Swithgrass (ενεργειακό)	50	60	60	170
SRF (ενεργειακό)	60	15	15	90

Πίνακας 1.5.2: Τα επίπεδα λιπασμάτων που εφαρμόζονται κατά προσέγγιση στις διάφορες καλλιέργειες των Η.Π.Α σε kg/ha έτος (Ranney, 1994).

Έρευνα που έγινε στο Τέξας πάνω στην απαίτηση του γλυκού σόργου σε θρεπτικά στοιχεία (N και P) και στην επίδραση αυτών πάνω στην παραγωγή βιομάζας και ζυμώσιμων σακχάρων έδειξε ότι: α) με την εφαρμογή 112 kg N/ha αυξήθηκε η απορρόφηση του N και η παραγωγή βιομάζας, ενώ τα επίπεδα των σακχάρων στους βλαστούς μειώθηκαν, β) με την εφαρμογή 224 kg N/ha αυξήθηκε η απορρόφηση N από μια ποικιλία, αλλά δεν επηρεάστηκε η παραγωγή και γ) η εφαρμογή φωσφόρου σε ένα έδαφος με υψηλό ποσοστό διαθέσιμου P δεν είχε καμιά επίδραση στο γλυκό σόργο (ούτε στην παραγωγή βιομάζας, ούτε στην ποιότητα του σακχαρώδους χυμού). Επομένως σε εδάφη με επάρκεια P η φωσφορική λίπανση δεν αποφέρει κανένα όφελος (Wiedenfeld, 1984).

1.5.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Στη βιολογική καλλιέργεια, η γεωργική παραγωγή διασφαλίζεται μέσω της αξιοποίησης και αύξησης των βιολογικών ιδιοτήτων και διεργασιών του εδάφους και της αβιοτικής ενέργειας, ενώ απαγορεύονται οι χειρισμοί με χημικά-συνθετικά φυτοφάρμακα, οι ρυθμιστές ανάπτυξης, καθώς επίσης δεν επιτρέπονται οι επεμβάσεις στο έδαφος και στα φυτά με ευδιάλυτα χημικά λιπάσματα (Σιδηράς, 2005).

Η **βιολογική γεωργία** (**οικολογική** για τις γερμανόφωνες χώρες και **οργανική** για τις αγγλόφωνες) είναι ένα σύστημα καλλιέργειας που βασίζεται στην αμειψισπορά, στην ανακύκλωση φυτικών και ζωικών υπολειμμάτων και στη συνεργασία με τους μικροοργανισμούς του εδάφους.

1.5.2.1 ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ & ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΓΛΥΚΟΥ ΣΟΡΓΟΥ

Στο βιολογικό τρόπο διαχείρισης φωσφόρου ακολουθούνται οι χειρισμοί: προσθήκη οργανικής ουσίας, εμβολιασμός με μικροοργανισμούς, αμειψισπορά του σόργου με καλλιέργειες κάλυψης, χλωρή λίπανση και συγκαλλιέργεια. Ακολουθώντας κάποιον από τους παραπάνω χειρισμούς (ή συνδυασμό τους) επιτυγχάνουμε την αναπλήρωση του P χρησιμοποιώντας τον κύκλο του φωσφόρου και τους ανανεώσιμους πόρους του αγροτικού συστήματος, μειώνοντας έτσι τις απώλειες του P και ελαχιστοποιώντας τη ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων.

Η **οργανική λίπανση** είναι ο πιο σημαντικός τρόπος της βιολογικής διαχείρισης των θρεπτικών, αφού επηρεάζει τη γονιμότητα του εδάφους για μεγάλο χρονικό διάστημα, βελτιώνει τη δομή του και αυξάνει τους ζώντες οργανισμούς. Με τον όρο οργανική λίπανση εννοούμε κάθε φυσικό οργανικό υλικό όπου ένα μέρος των θρεπτικών στοιχείων βρίσκεται σε οργανικές ενώσεις, δεν περιέχει τοξίνες, ούτε και παθογόνους οργανισμούς (Πίνακας 1.5.3).

Α. Απορρίμματα στάβλων	**Β. Υπολείμματα θεριζοαλωνισμών**
1. Κοπριές	1. Καλαμιές
2. Ούρα	2. Άχυρα φυτικών ειδών
3. Μείγματα κοπριάς και ούρων	3. Ριζικά υπολείμματα
4. Κομπόστ	4. Καρποί και άλλα είδη
5. Ζωικά υπολείμματα	
Γ. Αστικά λύματα	**Δ. Υποπροϊόντα βιομηχανιών**
1. Υγρά απόβλητα	1. Ζαχαρουργείων
2. Ιλύς βιολογικών καθαρισμών	2. Εκκοκιστηρίων βάμβακος
3. Κομπόστ από σκουπίδια	3. Ελαιουργείων
	4. Καπνοβιομηχανιών κ.λπ.
Ε. Οργανικές ύλες	
1. Τύρφες	
2. Λιγνίτες	

Πίνακας 1.5.3: Είδη οργανικών λιπασμάτων (Σιδηράς, 1997).

Με την αξιοποίηση των απορριμμάτων των στάβλων (οικονομικά λιπάσματα) πετυχαίνουμε ένα σημαντικό μέρος των παραγόμενων οργανικών κι ανόργανων συστατικών του αγροτικού συστήματος να παραμένει στο ύπαιθρο (ανακύκλωση). Από τα απορρίμματα των στάβλων, η κοπριά των πουλερικών έχει το μεγαλύτερο ποσοστό ανόργανου P (1,10 – 1,50% P_2O_5). Στις τύρφες το αντίστοιχο ποσοστό κυμαίνεται από 0,20 μέχρι 0,40% P_2O_5. Βέβαια η αξία της τύρφης δεν ταυτίζεται τόσο με την περιεκτικότητά της σε θρεπτικά στοιχεία, όσο με την προσροφητική της ικανότητα (Ι.Α.Κ.= 100-200 meq/100g τύρφης). Ενώ η περιεκτικότητα των κομπόστ σε P εξαρτάται από το είδος των αρχικών υπολειμμάτων, τον τρόπο και τη διάρκεια της κομποστοποίησης (Σιδηράς, 1997, Mullins, et al., 2001).

Πολλές φορές έχει παρατηρηθεί, τα φυτά της **αμειψισποράς** που ακολουθούν το σόργο (κυρίως τα χειμερινά σιτηρά), να μην αναπτύσσονται καλά. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε στην υπερβολική εξάντληση της υγρασίας από το σόργο, είτε στον ανταγωνισμό των φυτών των σιτηρών από τους μικροοργανισμούς, που πολλαπλασιάζονται λόγω της μεγάλης ποσότητας φυτικών υπολειμμάτων σόργου. Το ποσοστό των σακχάρων στις ρίζες του σόργου κυμαίνεται από 15 μέχρι 55%. Για την

αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων συνιστάται η καλλιέργεια των ψυχανθών (μηδική) στις αρδευόμενες εκτάσεις και η ανοιξιάτικη καλλιέργεια στις ημίξηρες.

Σε περιοχές με καλοκαιρινές βροχοπτώσεις οι αμειψισπορές που συνηθίζονται είναι σόργο-σιτάρι και η σόργο-αγρανάπαυση-σιτάρι. Η δεύτερη αμειψισπορά ευνοεί την καταπολέμηση των ζιζάνιων και σε παραγωγή σόργου είναι ισοδύναμη μ' αυτή της τριετής μονοκαλλιέργειας σόργου. Σε περιοχές με χειμερινές μόνο βροχοπτώσεις, την καλλιέργεια σόργου την ακολουθούν τα σιτηρά, τα όσπρια ή τα ψυχανθή. Πάρα πολύ καλές αποδόσεις έχει και η τριετής αμειψισπορά ψυχανθή-σόργο-σιτηρά. Τα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται όταν τα ψυχανθή χρησιμοποιούνται για **χλωρή λίπανση** γιατί στην περίπτωση αυτή το σόργο επωφελείται από μεγαλύτερα αποθέματα θρεπτικών και εδαφικής υγρασίας (Δαλιάνης, 1999).

Χλωρή λίπανση στο σόργο, όπως και στα άλλα σιτηρά συνίσταται να γίνεται στο διάστημα μεταξύ δυο διαδοχικών ποικιλιών. Τα φυτά που δεσμεύουν περισσότερο φώσφορο είναι τα σταυρανθή (ραπανίδα και ελαιοκράμβη) καθώς και ο ηλίανθος (Πίνακας 1.5.4).

Σε φυτά ελαιοκράμβης που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά διαλύματα μελετήθηκε η πρόσληψη P. Παρατηρήθηκε ότι στα φυτά που αναπτύσσονταν με έλλειψη P προκλήθηκε έκκριση κιτρικών και μηλικών οξέων και επήλθε διαλυτοποίηση των φωσφορικών ορυκτών.

Ενώ έρευνα που έγινε σε φυτά φαγόπυρου έδειξε ότι τα φυτά που αναπτύχθηκαν κάτω από ανεπάρκεια P ανέπτυξαν περισσότερο το ριζικό τους σύστημα (ως προς το βάρος, το μήκος ρίζας και τον αριθμό των ριζικών τριχιδίων) και παρήγαγαν ένα ένζυμο, την όξινη φωσφατάση, που απελευθέρωσε τον P από την φωσφορική εξόζη. Στα φυτά αυτά βρέθηκαν υψηλά ποσοστά P στο βλαστό. Επίσης πειράματα χλωρής λίπανσης που έγιναν με μηδική και υπόγειο τριφύλλι έδειξαν ότι το υπόγειο τριφύλλι είναι πιο αποδοτικό στην πρόσληψη εδαφικού P απ' ότι η μηδική (Bugg, 1995).

Φυτικά είδη	**C%**	**N%**	**P%**
Βρώμη (Avena sativa)	59,8	1,65	0.10
Σίκαλη (Secale cereale)	44,6	1,22	0.08
Κριθάρι (Hordeum vulgare)	51,4	1,34	0.10
Βίκος (Vicia sativa)	37,6	2,02	0.13
Λάθυρος (Lathyrus sativus)	41,9	2,23	0.10
Φακή(Lens esculenta M.)	36,9	2,o9	0,12
Ερέβινθος (Cicer arietinum)	42,1	2,58	0.18
Λούπινα (Lupinus luteus)	27,5	1,91	0,16
Ερυθρό τριφύλλι (Trifolium pretense)	48,7	1,94	0.10
Λευκό τριφύλλι (Trifolium repens)	45,1	1,94	0.10
Μηδική (Medicago sativa L.)	42,0	2,10	0.18
Ραπανίδα (Raphanus sativus L.)	34,4	2,96	0,19
Ελαιοκράμβη (Brassica napus L.)	44,6	2,85	0,21
Ηλίανθος (Helianthus annuus L.)	43,1	3,66	0.30

Πίνακας 1.5.4: Ποσοστά μακροστοιχείων διάφορων φυτικών ειδών κατάλληλων για χλωρή λίπανση στο στάδιο της άνθησης (Σιδηράς, 2005)

Οι Cavigelli και Thien μελέτησαν την επίδραση της χλωρής λίπανσης στη βιοδιαθεσιμότητα του P και στην παραγωγή βιομάζας σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια γλυκού σόργου (Πίνακας 1.5.5).

Καλλιέργεια χλωρής λίπανσης	Συγκ/ση P σε ιστό ΧΛ (g/kg)	Βιομάζα (g/φυτόΧΛ)	Πρόσληψη P (mg/φυτόΧΛ)	Συγκ/ση P σε ιστό Σ (g/kg)	Βιομάζα (g/φυτό Σ)	Πρόσληψη P (mg/φυτό Σ)
Μηδική Riley	1,82	5,89	10,7	0,98	15,60	15,2
Μηδική Nitro	1,75	6,77	11,9	1,08	16,10	17,4
Κόκκινο τριφύλλι	1,67	6,07	10,1	0,96	15,50	15,0
Γλυκό τριφύλλι	1,54	7,60	11,7	0,98	14,80	14,5
Μάρτυρας	-	-	-	1,22	10,50	12,6
Λούπινα	2,26	6,25	14,3	1,59	7,48	11,9
Μπιζέλι	2,38	2,57	6,1	1,56	10,10	15,7
Βίκος	2,57	2,05	5,3	1,61	9,92	16,0
Σιτάρι	2,35	2,68	6,3	1,39	10,70	14,8
Μάρτυρας	-	-	-	1,99	8,32	16,3

Πίνακας 1.5.5: Ποσοστά φωσφόρου, ξηρό βάρος βιομάζας και πρόσληψη φωσφόρου σε φυτά χλωρής λίπανσης (ΧΛ) και σόργου (Σ) (Cavigelli & Thien, 2003)

Συγκρίνοντας τα ποσοστά P και τις αποδόσεις στα φυτά του σόργου, παρατηρούμε ότι είχαν θετική απόκριση στη χλωρή λίπανση (τιμές μεγαλύτερες απ' αυτές των αντίστοιχων μαρτύρων) με μόνη εξαίρεση τα φυτά που ακολούθησαν τη χειμερινή καλλιέργεια των λούπινων, αν και τα λούπινα είχαν τη μεγαλύτερη πρόσληψη P, συγκέντρωση P και ποσότητα βιομάζας. Αυτό συμβαίνει γιατί με την αποσύνθεση των φυτών της χλωρής λίπανσης εκτός από την αύξηση της γονιμότητας παράγονται και διάφορα οξέα που διαλυτοποιούν το P των ορυκτών (Cavigelli & Thien, 2003). Παρόμοια πειράματα έγιναν στην Ινδία πάνω σε δύο όσπρια (pigeonpea και chikpea) σε αμειψισπορά με καλλιέργεια σόργου, καλαμποκιού και σόγιας σε alfisol και vertisol σε εδάφη. Το σόργο αποκρίθηκε στις εφαρμογές P και στους δυο τύπους εδαφών. Τα παραπάνω όσπρια απελευθερώνουν το P από τις αδιάλυτες φωσφορικές ενώσεις εκκρίνοντας διάφορα οξέα. Η φακή (chikpea) εκκρίνει μαλλικικό οξύ από τις ρίζες και τους βλαστούς ενώ το (pigeonpea) εκκρίνει πισιδικό οξύ από τις ρίζες του διαλυτοποιώντας έτσι το φωσφορικό ασβέστιο (Joji, et al., 1990).

Σε έρευνα που έγινε στη δυτική Αφρική μελετήθηκε η αποδοτικότητα της εφαρμογής φωσφόρου (υπερφωσφορικού φωσφόρου και ορυκτού φωσφόρου) και της αμειψισποράς (κτηνοτροφικό μπιζέλι και αραχίδα) με καλλιέργειες σιτηρών (σόργου, κεχριού και καλαμποκιού). Συγκεκριμένα, η καλλιέργεια σόργου στη Μπουρκίνα Φάσο, έδωσε μεγαλύτερες τιμές ξηρής βιομάζας όταν ακολουθούσε καλλιέργεια αραχίδας από τη μονοκαλλιέργεια και οι πιο μεγάλες τιμές παρατηρήθηκαν στο χειρισμό που εφαρμόστηκε ορυκτός P. Παρόμοια αποτελέσματα έδωσαν και τα πειράματα σόργου – αραχίδας σε ημίξηρα εδάφη στην Ινδία (Rego, et al., 2002).

Αρκετές έρευνες έχουν γίνει πάνω στην επίδραση των **V.A μυκόρριζων** στην καλλιέργεια του γλυκού σόργου. Στην Τουρκία καλλιεργήθηκε το σόργο για 40 ημέρες, σε εδάφη χαμηλής περιεκτικότητας σε P. Στον ένα χειρισμό τα φυτά εμβολιάστηκαν και στον άλλο όχι. Οι αναλύσεις εδάφους έδειξαν μείωση του εδαφικού P στα εμβολιασμένα φυτά σε ακτίνα 20 χιλιοστών από την επιφάνεια της ρίζας και 10 χιλιοστά αντίστοιχα στα μη εμβολιασμένα. Γεγονός που δείχνει τη συμβολή των υφών στην πρόσληψη του P (Ortas, et al., 2004). Σε πειράματα που έγιναν σε φυτά σόργου και καλαμποκιού κάτω από έλλειψη υγρασίας εκτιμήθηκε η

επίδραση της λίπανσης και του εμβολιασμού, στην πρόσληψη P. Τα εμβολιασμένα φυτά του σόργου παρουσίασαν μεγαλύτερες τιμές ξηρού βάρους ρίζας και μεγαλύτερη ανοχή στην ξηρασία έναντι των μη εμβολιασμένων (Osonubi, 1994). Έρευνα σε φυτά σόργου έδειξε ότι οι V.A μυκόρριζες επηρέασαν εκτός από τις συγκεντρώσεις του P στα φυτά και τις συγκεντρώσεις των S, K και Fe. Ενώ οι συγκεντρώσεις των Ca, Mg, Zn, Cu και Mn δεν επηρεάστηκαν (Medeiros et al., 1994).

Αρκετά αξιόλογα είναι και τα πειράματα του Πανεπιστημίου του Τέξας για τη διαχείριση των αποβλήτων αποχέτευσης και των υπολειμμάτων των ζωοτροφών σε καλλιέργειες. Σ' ένα πείραμα θερμοκηπίου μελετήθηκε η απόκριση επτά καλλιεργειών (σόργου, σιταριού, καλαμποκιού, μηδικής και τριών ειδών γρασιδιού) σε δυο διαφορετικά εδάφη (αργιλοπηλώδες και αμμοπηλώδες) με εφαρμογή επεξεργασμένων αποβλήτων. Ακολουθήθηκαν πέντε χειρισμοί ως προς τη συγκέντρωση θρεπτικών (0, 20, 40, 80 και 160% P) για κάθε καλλιέργεια. Η πρόσληψη θρεπτικών ήταν σημαντική σ' όλες τις καλλιέργειες εκτός από το σιτάρι και το καλαμπόκι. Η πρόσληψη P για την καλλιέργεια του σόργου κυμάνθηκε από 47 Kg/ha στο αργιλοπηλώδες μέχρι 17 Kg/ha στο αμμοπηλώδες έδαφος (Miller, 1999, Miller, et al., 1999).

1.5.2.2 ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΤΡΟΠΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Γενικά, οι βιολογικοί χειρισμοί λόγω της σταδιακής ανοργανοποίησης των οργανικών ενώσεων έχουν περιορισμένες απώλειες σε P. Παρόλα αυτά θα πρέπει:

- να χρησιμοποιούνται πρακτικές ελέγχου της διάβρωσης.
- να ελέγχονται τα εδάφη και να αποφεύγεται η εφαρμογή κοπριάς ή κομπόστ σε εδάφη με επάρκεια θρεπτικών (Kamprath, et al., 2000).
- Να γίνονται αναλύσεις των θρεπτικών συστατικών της κάθε κοπριάς και να εφαρμόζεται ανάλογα με το είδος του εδάφους και της καλλιέργειας. Παράδειγμα οι καλλιέργειες που παράγουν βιομάζα (σόργο, μηδική) προσλαμβάνουν περισσότερο P από το έδαφος από άλλες (σόγια).
- Να ενσωματώνεται η κοπριά ιδιαίτερα σε περιοχές που είναι ευαίσθητες στην απώλεια P λόγω απορροής ή διάλυσης (http://www.agnr.umd.edu/users/).

1.6 ΟΙ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΓΛΥΚΟΥ ΣΟΡΓΟΥ

Ο φώσφορος όπως προαναφέρθηκε αποτελεί συστατικό του πυρήνα του κυττάρου και είναι απαραίτητος για τις κυτταρικές διαιρέσεις και την ανάπτυξη των μεριστωματικών ιστών. Στα σιτηρά ο P επηρεάζει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, του κόκκου και τις αποδόσεις (Δαλιάνης, 1999). Γι αυτό είναι απαραίτητη η επάρκειά του σ' όλα τα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας του σόργου.

Πάρα πολλές εργασίες έχουν γίνει πάνω στην κατανόηση της απαίτησης του καρποδοτικού σόργου σε θρεπτικά συστατικά κατά τα διάφορα στάδια ανάπτυξής του, ενώ για το γλυκό σόργο δεν βρέθηκε να έχει γίνει.

Οι Myers et al. (1987) μελέτησαν τις αλλαγές στη συγκέντρωση του P και του N σε φυτικούς ιστούς καρποδοτικού σόργου συναρτήσει του χρόνου στην Αυστραλία. Τα πειράματα έγιναν σε τρεις διαφορετικές περιοχές (Lawes, Emerald και Oakey),

καλλιεργήθηκαν επτά ποικιλίες καρποδοτικού σόργου με τρεις διαφορετικές χρονικά σπορές. Οι συγκεντρώσεις P και N στους ιστούς συσχετίστηκαν με τους συσσωρευμένους βαθμούς θερμοκρασίας των ημερών (accumulated degree days, ADD) μετά την ανάδυση του φυτού. Πρόκειται για μια εναλλακτική προσέγγιση που εκφράζει τη συγκέντρωση των θρεπτικών σαν λειτουργία της ηλιακής ακτινοβολίας, χρησιμοποιώντας ως δείκτη του χρόνου τη μονάδα θερμοκρασίας. Το εκατοστιαίο ποσοστό του φωσφόρου (%P) στα φύλλα παρουσίασε γενικά μια εκθετική μείωση μέχρι το έκτο στάδιο (2000 ADD) και στη συνέχεια παρέμεινε σχεδόν σταθερό. Παρόμοια και ο %P στους βλαστούς παρουσίασε εκθετική μείωση μέχρι το πέμπτο στάδιο (1300 ADD) και στη συνέχεια μια πολύ μικρή πτώση μέχρι την ωριμότητα. Μόνη εξαίρεση αποτέλεσαν οι τιμές P φύλλων και βλαστών της πρώτης σποράς (του Οκτωβρίου) που ήταν χαμηλές στην αρχή της αύξησης, ενώ οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις N δεν ήταν χαμηλές. Η εξήγηση μπορεί να είναι ότι η πρόσληψη του P εμποδίστηκε κατά τη διάρκεια των πρώτων εβδομάδων της αύξησης από τις χαμηλές εδαφικές θερμοκρασίες ή από τις χαμηλές εδαφικές υγρασίες. Ο %P των ανθέων είχε μια πολύ μικρή γραμμική πτώση.

Συσχετίζοντας τις πτώσεις των συγκεντρώσεων P και N διαπιστώθηκε ότι η σχετική πτώση στις συγκεντρώσεις P ήταν μικρότερη από την αντίστοιχη πτώση των συγκεντρώσεων του N. Επομένως η αναλογία N/ P των φυτικών ιστών μετατοπίζεται κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης. Στην περίπτωση των βλαστών η αναλογία N/ P κυμάνθηκε από 7/1 μέχρι 10/1. Συσχετίζοντας τέλος τις τιμές από τις διάφορες περιοχές διαπιστώθηκε ότι μόνο τα φυτά στην περιοχή Lawes (Queensland) έφτασαν τα επίπεδα της πολυτελούς κατανάλωσης P.

Ο Jones (1982-1983) προσπάθησε να καθορίσει τη μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων P και N στο καρποδοτικό σόργο και να εξηγήσει την απόκλιση μεταξύ του χρόνου φύτευσης και των εποχών, που εμφανίζεται κατά τη χρησιμοποίηση του ημερολογιακού χρόνου. Στα πρώτα στάδια αύξησης των φυτών οι συγκεντρώσεις N και P είναι αρκετά μεταβλητές παρουσιάζοντας ένα μεγάλο εύρος διακύμανσης μέχρι το έκτο στάδιο ανάπτυξης. Καθώς τα φυτά πλησιάζουν την ωριμότητα, η επίδραση των σταδίων ανάπτυξης μειώνεται και οι συγκεντρώσεις των P και N παραμένουν σταθερές και προβλέψιμες. Μεγάλη διακύμανση παρουσιάστηκε επίσης στις συγκεντρώσεις P και N στον καρπό και στα υπόλειμματα.

Το 1972 ο Lockman συσχέτισε τα επίπεδα φωσφόρου, με τα στάδια ανάπτυξης και με τις αποδόσεις του καρποδοτικού σόργου. Οι παραγωγές μειώθηκαν αισθητά όταν: τα επίπεδα P ήταν μικρότερα του 0,30% στα σπορόφυτα ή όταν ήταν μικρότερα του 0,18 με 0,20% στο τρίτο φύλλο στο στάδιο άνθησης ή μικρότερα του 0,15% στο στάδιο του καρπού.

Στάδιο ανάπτυξης	**Ελλιπής συγκέντρωση P**	**Χαμηλή συγκέντρωση P**	**Κανονική συγκέντρωση P**	**Υψηλή συγκέντρωση P**
2°	< 0,25	0,25- 0,3	0,30- 0,60	> 0,6
3°	0,10	0,10- 0,2	0,21- 0,50	> 0,5
4° / 5°	<0,13	0,13- 0,25	0,20- 0,60	?
6°	<0,18	0,18- 0,22	0,20- 0,35	> 0,35
7° / 8°	<0,13	0,13- 0,15	0,15- 0,25	> 0,25

Πίνακας 1.6.1: Τα εύρη επάρκειας του φωσφόρου για τα διάφορα στάδια αύξησης του καρποδοτικού σόργου (Lockman, 1972).

Η ομάδα του Camacho στη Βενεζουέλα σε υδροπονική καλλιέργεια καρποδοτικού σόργου μελέτησε τη φυτική αύξηση του σόργου ως απάντηση της θρέψης φωσφόρου. Οκτώ υβρίδια καρποδοτικού σόργου αυξήθηκαν σε θρεπτικά διαλύματα των 0, 0,5 και 1,0 mmol/l. Η συγκομιδή των φυτών έγινε 41 μέρες μετά από τη σπορά και προσδιορίστηκαν: η επιφάνεια των φύλλων ανά φυτό (LA), ο αριθμός των φύλλων ανά φυτό (NL), ο όγκος της ρίζας (RV), το ύψος φυτού (PH) το βάρος της ξηρής ουσίας της ρίζας (RDM) το ξηρό βάρος του βλαστού(SDM), το βάρος της συνολικής ξηρής ουσίας (TDM) ο λόγος RDM/ SDM και η συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου στο βλαστό.

Τα αποτελέσματα της έρευνας είναι τα ακόλουθα:

- Ο λόγος RDM/ SDM ήταν υψηλός στον χειρισμό 0 mmol/l P και υποδιπλασιάστηκε όταν προστέθηκε P. Γεγονός που δείχνει ότι η αύξηση της ρίζας δεν επηρεάζεται και πιθανόν να υποκινείται από την ανεπάρκεια των φωσφορικών. Ενώ η αύξηση του βλαστού αναστέλλεται σε συνθήκες ανεπάρκειας P.
- Η έλλειψη P μείωσε το ύψος των φυτών σ` όλα τα υβρίδια. Ο αυξανόμενος P στο θρεπτικό διάλυμα οδήγησε σε αύξηση των βλαστών και του ύψους των φυτών. Η επίδραση της εφαρμογής P πρέπει να συνδεθεί με την επίδραση του P στην ισορροπία των φυτικών ορμονών (κυτοκίνης και αυξίνης). Επομένως η επίδραση του P στο ύψος είναι μια κυτοκινο-υποκινούμενη επίδραση.
- Σε συνθήκες ανεπάρκειας P η φυλλική επιφάνεια μειώθηκε (>45%) ενώ ο αριθμός των φύλλων ήταν σχεδόν ανεπηρέαστος.
- Η μέγιστη παραγωγή ξηρής βιομάζας (TDM) επιτεύχθηκε στο χειρισμό 0,5 mmol/l, ενώ τα φυτά του σόργου που αναπτύχθηκαν στο θρεπτικό διάλυμα με τον υψηλότερο P (1,0 mmol/l) φαίνεται να ήταν κάτω από συνθήκες τοξικότητας.
- Από όλα τα υβρίδια, το Himeca- 101 έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τους δείκτες LA, NL, RV, PH, RDM, και SDM σε συνθήκες επάρκειας και ανεπάρκειας P.
- Οι καλύτεροι δείκτες για να προβλέψουν την παραγωγή ξηρής βιομάζας αποδείχτηκε ότι είναι η φυλλική επιφάνεια (LA) και το ύψος του φυτού (PH) για συνθήκες θρέψης P (Camacho, et al., 2002).

2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η άριστη ανάπτυξη της καλλιέργειας του γλυκού σόργου και κατ' επέκταση οι μέγιστες αποδόσεις σε βιομάζα και σάκχαρα, είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων. Οι βασικοί παράγοντες ανάπτυξης είναι: η επιλογή ποικιλίας και περιοχής, η θρεπτική κατάσταση του εδάφους (N, P, K), η διαθέσιμη υγρασία και η αντιμετώπιση των διάφορων προσβολών και εχθρών των φυτών (Vanderlip, 1993).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι:

- να προσδιοριστούν τα επίπεδα του φωσφόρου στα φυτά και στο έδαφος σ' όλα τα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας του γλυκού σόργου, στο βιολογικό και στο συμβατικό τρόπο παραγωγής,
- να μελετηθούν οι μηχανισμοί διάλυσης - σταθεροποίησης του εδαφικού P και αφομοίωσης του ανόργανου φωσφόρου από τα φυτά και
- να συσχετιστούν τα αποτελέσματα των δυο χειρισμών (βιολογικού και συμβατικού) μεταξύ τους, καθώς και με άλλα αντίστοιχα ερευνητικά για το σόργο.

Απώτερος σκοπός είναι να βρεθούν οι κατάλληλοι χειρισμοί διαχείρισης φωσφόρου που θα οδηγούν σε αυξημένη παραγωγή βιομάζας με το μικρότερο δυνατό περιβαλλοντικό και οικονομικό κόστος.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Η πειραματική καλλιέργεια έγινε στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Πατρών (γεωγραφικό πλάτος: 38° 25΄ Β, γεωγραφικό μήκος: 21° 8΄Α) την περίοδο 2003-2004. Οι εργαστηριακές αναλύσεις έγιναν στο εργαστήριο Φυσιολογίας Φυτών του τμήματος Βιολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών. Το πείραμα περιλάμβανε ένα πλήρως τυχαιοποιημένο σχέδιο με δυο χειρισμούς, το βιολογικό και το συμβατικό, σε δυο επαναλήψεις.

Τα πειραματικά τεμάχια είχαν διαστάσεις 7 X 7 m^2 και απείχαν μεταξύ τους 2 m. Το κάθε πειραματικό τεμάχιο περιλάμβανε 11 γραμμές ανά 0,70 m απόσταση. Η φύτευση έγινε με απόσταση 0,20 m επί των γραμμών και με μέση πυκνότητα 7 φυτά ανά m^2. Ο αριθμός των φυτών είναι 340 περίπου ανά πειραματικό τεμάχιο.

3.2. ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΓΡΟΚΤΗΜΑΤΟΣ

Η κοκκομετρική ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων έδωσε: 23% άργιλο, 48% άμμο και 29% ιλύ. Πρόκειται δηλαδή για ένα μέσης σύστασης (πηλώδες) έδαφος. Η χημική ανάλυση που έγινε στα ίδια δείγματα για τον προσδιορισμό ανταλλάξιμων βάσεων έδωσε: 23-24,41 meq (Ca^{2+})/ 100 g εδάφους, 1,13 meq (Mg^{2+})/ 100 g εδάφους, 0,4-0,5 meq (K^+)/ 100g εδάφους 0,17 meq (Na^+)/ 100 g εδάφους. Το pH του εδάφους κυμάνθηκε 7,7-7,8, το ολικό ανθρακικό ασβέστιο 4-5% και ο υδατοκορεσμός του 37-40%. Η οργανική ουσία του εδάφους μετρήθηκε με τη μέθοδο της αποτέφρωσης κατά την έναρξη της καλλιέργειας σε εδαφικά δείγματα (βάθους 0-0,30 cm) και βρέθηκε κατά μέσο όρο: 1,1% στα πειραματικά τεμάχια με τη συμβατική διαχείριση και 1,3% στα πειραματικά με τη βιολογική διαχείριση.

3.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ

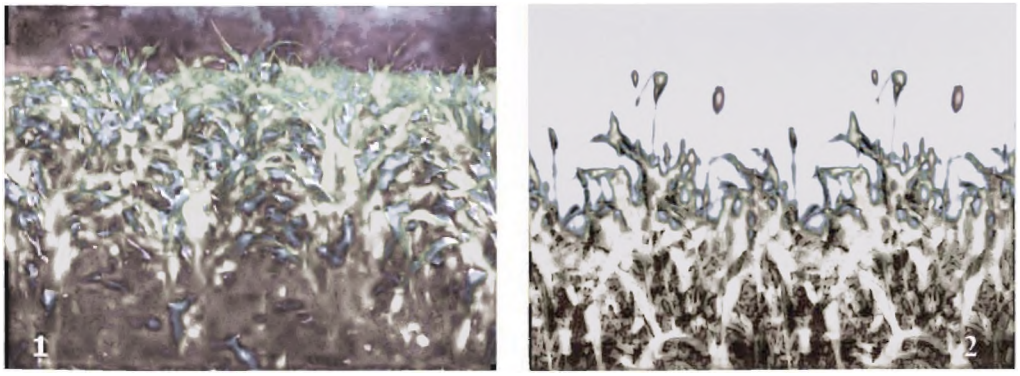
Η καλλιεργητική περίοδος άρχισε στις 15/11/2003 με φρεζάρισμα του εδάφους και σπορά του ψυχανθούς φυτού βίκου (*Vicia sativa* L.) (σε ποσότητα 14 kg σπόρου/ στρέμμα) στα πειραματικά τεμάχια που έγινε βιολογική διαχείριση. Τον Απρίλιο του επόμενου έτους όταν ο βίκος είχε πλήρως ανθίσει, έγινε ενσωμάτωση της χλωρής βιομάζας στο έδαφος. Παράλληλα, στα υπόλοιπα πειραματικά τεμάχια έγινε ενσωμάτωση της βιομάζας της αυτοφυούς βλάστησης στο έδαφος, με φρεζάρισμα.

Η σπορά του σόργου έγινε στις 21 Μαΐου 2004 (ημερολογιακή ημέρα 142), σε μικρά πλαστικά δοχεία σε καρτέλες (jiffypots) (ένας σπόρος ανά δοχείο σε βάθος 1 cm περίπου) με υπόστρωμα τύρφης τύπου Βαλτικής με βάση το *sphagnum* (οργανική ουσία 91%, pH = 5,5) (εικόνα 3.1). Στα δοχεία με τα φυτά που προορίζονταν για το βιολογικό χειρισμό, προστέθηκαν επιπλέον στο υπόστρωμα βλάστησης των σπερμάτων μικροοργανισμοί, όπως μη συμβιωτικά αζωτοδεσμευτικά βακτήρια, μίγμα από ενδο- και εκτο-μυκόρριζες και ριζοβακτήρια. Το πολλαπλασιαστικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν σπέρματα γλυκού σόργου ποικιλίας Keller (*Sorghum bicolor* (L.) Moench, cv. Keller). Η ανάδυση των πρώτων φυτών έγινε στις 24 Μαΐου (ημερολογιακή ημέρα 145), ενώ η ανάδυση όλων των φυτών ολοκληρώθηκε στο τέλος του ίδιου μήνα (ημερολογιακή ημέρα 152).

Εικόνα 3.1: Σπορεία για παραγωγή σπορόφυτων γλυκού σόργου. (Από το αρχείο του εργαστηρίου της Φυσιολογίας των φυτικών καλλιεργειών του Πανεπιστημίου Πατρών).

Ένα δεκαπενθήμερο πριν τη φύτευση (27/5/04), προστέθηκε το λίπασμα στα πειραματικά τεμάχια της συμβατικής διαχείρισης. Στα τεμάχια της βιολογικής διαχείρισης έγινε επιπλέον εμπλουτισμός του εδάφους με 300 l τύρφης ίδιου τύπου με αυτή που χρησιμοποιήθηκε στη σπορά. Ακολούθησε νέο φρεζάρισμα για ενσωμάτωση τόσο της αυτοφυούς βλάστησης, όσο και των λιπασμάτων που προστέθηκαν. Στη συνέχεια έγινε η τελική χάραξη των πειραματικών τεμαχίων και των γραμμών φύτευσης. Κατά μήκος των γραμμών της καλλιέργειας τοποθετήθηκαν οι σωλήνες στάγδην άρδευσης και ακολούθησε η σταδιακή φύτευση των σπορόφυτων.

Η εγκατάσταση των σπορόφυτων του γλυκού σόργου στα πειραματικά τεμάχια έγινε στο πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιουνίου, όταν οι θερμοκρασίες του εδάφους και του αέρα σταθεροποιήθηκαν πάνω από τους 15°C (ιδιαίτερα τις νυχτερινές ώρες). Στις αρχές Αυγούστου ολοκληρώθηκε το λεγόμενο κλείσιμο της φυτικής κόμης (canopy closure) (εικόνα 3.1), ενώ στις 18 Αυγούστου ξεκίνησε η άνθηση των φυτών της καλλιέργειας, η οποία και ολοκληρώθηκε σε όλα τα πειραματικά τεμάχια μέσα στο πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου (ημερολογιακή μέρα 252). Στην Πάτρα η καλλιέργεια ολοκληρώνεται το πρώτο δεκαπενθήμερο του Οκτωβρίου (καλλιέργεια 135 ημερών), όταν τα στελέχη έχουν ωριμάσει (μέγιστη εναπόθεση σακχάρων στα στελέχη) (εικόνα 3.2). Η τελευταία κοπή για το προσδιορισμό των αποδόσεων έγινε στις 2-5 Οκτωβρίου και ακολούθησε εκρίζωση των φυτών, έτσι ώστε να μη μείνουν υπολείμματα της προηγούμενης φυτείας, τα οποία και επηρεάζουν αρνητικά τη νέα καλλιέργεια.



Εικόνα 3.2: Τα φυτά του γλυκού σόργου μετά το κλείσιμο της φυτικής κόμης (1), και σε πλήρη ανάπτυξη (2). (Από το αρχείο του εργαστηρίου της Φυσιολογίας των φυτικών καλλιεργειών του Πανεπιστημίου Πατρών).

Η κάλυψη των αναγκών της καλλιέργειας σε νερό έγινε με στάγδην άρδευση (σταλακτήρες ανά 0,25 m με μέση παροχή 0,3 l/ hr. Η άρδευση πραγματοποιούνταν κατά τις απογευματινές ώρες της ημέρας και για διάστημα τριών ωρών, όταν εξαντλούνταν το 75% της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας, παίρνοντας ως επίπεδο αναφοράς τα 0,20 m από την επιφάνεια του εδάφους. Συνολικά έγιναν 20 διαδοχικές αρδεύσεις, ενώ ο συνολικός όγκος του αρδευτικού νερού που καταναλώθηκε σε όλη την καλλιεργητική περίοδο ήταν 145 mm (δε συμπεριλαμβάνεται το ύψος της βροχόπτωσης).

3.4 ΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Για την κάλυψη των αναγκών της καλλιέργειας του **συμβατικού χειρισμού** σε θρεπτικά στοιχεία, σε κάθε πειραματικό τεμάχιο προστέθηκαν 4,9 kg σύνθετου λιπάσματος με την εμπορική ονομασία Complet (12-12-17+2 MgO). Η σύνθεση του λιπάσματος είναι 12% N, 6% υπό μορφή νιτρικού και 6% αμμωνιακού (κιτρικό αμμώνιο 85%), 12% P_2O_5 και 17% K (υπό μορφή K_2SO_4).

Για την κάλυψη των αναγκών της καλλιέργειας του **βιολογικού χειρισμού** σε κάλιο, προστέθηκαν 1,73 kg 0-0-48 (Πάτεντ Κάλι), έτσι ώστε να έχει προστεθεί και στους δύο χειρισμούς ίση ποσότητα καλίου. Επίσης, έγινε εμπλουτισμός του εδάφους με 300 l τύρφης ίδιου τύπου με αυτή που χρησιμοποιήθηκε στη σπορά, ενώ για την ενίσχυση της βιολογικής δραστηριότητας του εδάφους προστέθηκαν επιπλέον δύο σκευάσματα: (i) το Compete Plus (Plant Health Care, Inc), ένα μίγμα μικροβιακών πληθυσμών που περιλαμβάνει 6 είδη του γένους *Bacillus*, μύκητες του γένους *Trichoderma*, και ακτινομύκητες του γένους *Streptomyces*, και (ii) το Mycor Tree Injectable (Plant Health Care, Inc), το οποίο περιέχει ενδομυκόρριζες (3 είδη του γένους *Glomus* και το *Entrophospora columbiana*), εκτομυκόρριζες (*Pisolithus tinctorius*), ριζοβακτήρια (5 είδη του γένους *Bacillus* και το *Paenibacillus azotofixans*), καθώς και διεγερτικό για τις ενδομυκόρριζες παράγοντα (formononetin) που αυξάνει το βαθμό αποικισμού των ριζών. Ο εμβολιασμός του εδάφους έγινε με ριζοπότισμα υδατικών διαλυμάτων των παραπάνω σκευασμάτων (Compete Plus: 5 g σε 20 l νερό για κάθε πειραματικό τεμάχιο, Mycor Tree Injectable: 20 g (10 g από κάθε συσκευασία) σε 20 l νερό, για κάθε πειραματικό τεμάχιο).

3.5 ΕΧΘΡΟΙ ΚΑΙ ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ

Η καλλιέργεια προσβλήθηκε από τα έντομα:

- την προνύμφη ενός εδαφόβιου κολεόπτερου [*Anacentrinus deplanatus* (Casey)] στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών,
- τις αφίδες του καλαμποκιού *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) και *Schizophis graminum* (Rondanis) στα νεαρά κυρίως φύλλα και
- την προνύμφη της *Sesamia nonagriodes* (Lef), που προσβάλλει τα στελέχη κυρίως κατά τον Αύγουστο. Για την αντιμετώπισή τους χρησιμοποιήθηκε το επιτρεπόμενο στη βιολογική καλλιέργεια σκεύασμα ΟΙΚΟΣ 32 EC με δραστική ουσία την αζαδιραχτίνη 3,2%.

Τα φύλλα και οι βλαστοί προσβλήθηκαν, επίσης, από μύκητα που προκαλεί ανθράκωση (*Colletotrichum* sp.), η οποία είχε σχετικά μικρή κλίμακα εμφάνισης, έτσι ώστε δε χρειάστηκε να παρθεί κανένα μέτρο αντιμετώπισης. Η αυτοφυής βλάστηση δημιούργησε προβλήματα στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών του

γλυκού σόργου, αντιμετωπίστηκε δε με σκάλισμα και κοπή με χορτοκοπτικό μηχάνημα.

3.6 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Για τον προσδιορισμό του ολικού φωσφόρου στα φυτά πραγματοποιήθηκαν, κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, 6 δειγματοληψίες (περίπου ανά δεκαπενθήμερο) για κάθε χειρισμό, με την τυχαία λήψη 2 φυτών από κάθε επανάληψη (n = 4). Η πρώτη δειγματοληψία δε συμπεριλήφθηκε, λόγω μικρής ποσότητας φυτικού υλικού από τα νεαρά φυτά για τις χημικές αναλύσεις. Αφού τα δείγματα χωρίστηκαν σε βλαστούς και φύλλα μετρήθηκε το νωπό βάρος τους, αποξηράνθηκαν σε φούρνο (τα φύλλα στους 80°C για 48 ώρες, οι βλαστοί στους 80°C για 3-7 ημέρες ανάλογα με το στάδιο αύξησης των φυτών) και μετά μετρήθηκε το ξηρό βάρος τους. Στη συνέχεια τα φύλλα και οι βλαστοί θρυμματίστηκαν σε ειδικό μύλο και περάστηκαν από κόσκινο διαμέτρου 2 mm. Τα θρυμματισμένα φυτικά δείγματα φυλάχτηκαν σε πλαστικά σακουλάκια μέχρι να γίνουν οι χημικές αναλύσεις. Πριν από κάθε παρασκευή διαλύματος για τον προσδιορισμό του ολικού P στο φυτικό ιστό γινόταν αφαίρεση της υγρασίας του δείγματος.

Εικόνα 3.3: Δείγματα τριμμένων βλαστών (αριστερά) και φύλλων (δεξιά).

Κατά τις ίδιες ημερομηνίες έγινε δειγματοληψία εδαφικού διαλύματος από τους μόνιμους δειγματολήπτες στα πειραματικά τεμάχια σε βάθη 30 και 60 cm για προσδιορισμό του διαθέσιμου ανόργανου φωσφόρου ($H_2PO_4^-$ και HPO_4^{2-}). Κάποιες φορές η λήψη δειγμάτων από όλους τους δειγματοληπτικούς σωλήνες δεν ήταν εφικτή. Τα δείγματα καταψύχθηκαν μέχρι να γίνουν οι χημικές αναλύσεις. Πριν από κάθε μέτρηση, τα δείγματα αποκτούσαν θερμοκρασία δωματίου και ακολουθούσε διήθηση, για τη λήψη διαυγούς διαλύματος.

Για προσδιορισμό του ολικού ανόργανου εδαφικού φωσφόρου έγινε δειγματοληψία εδάφους στα 30 cm και στα 60 cm από τα τεμάχια και των δύο χειρισμών σε δύο περιόδους: α) πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας (18-19/5/04), αφού είχε προηγηθεί η ενσωμάτωση του βίκου και της αυτοφυούς βλάστησης στα τεμάχια του βιολογικού και του συμβατικού χειρισμού, αντίστοιχα, και β) στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου. Κατά την προετοιμασία των εδαφικών δειγμάτων ακολουθήθηκαν τρία στάδια: α) αεροξήρανση (απομάκρυνση της υγρασίας, απλώνοντας το έδαφος σε απορροφητικό χαρτί για 2-3 μέρες), β)

λειοτρίβηση του εδάφους σε γουδί από πορσελάνη αφαιρώντας τις πέτρες και τα ινώδη υλικά (ρίζες κ.α.) και γ) κοσκίνισμα με κόσκινο διαμέτρου 2 mm. Το έδαφος που διαπέρασε το κόσκινο χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις εδάφους.

Στα αρχικά δείγματα εδάφους προσδιορίστηκε η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία με την έμμεση μέθοδο της αποτέφρωσης (loss on ignition-L.O.I.), που συνίσταται στην απώλεια βάρους ξηρού δείγματος εδάφους λόγω καύσης της οργανικής ουσίας.

Στο τέλος της περιόδου (2-5/10/2004), έγινε δειγματοληψία 30 φυτών συνολικά από κάθε χειρισμό (15 από κάθε επανάληψη) για τον προσδιορισμό των αποδόσεων σε ξηρή βιομάζα. Η επεξεργασία των φυτικών δειγμάτων έγινε όπως και στις προηγούμενες δειγματοληψίες.

3.7 ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.7.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΟ ΦΥΤΙΚΟ ΙΣΤΟ

Ο προσδιορισμός του ολικού φωσφόρου στο φυτικό ιστό γίνεται σε δύο στάδια: α) στο πρώτο στάδιο καταστρέφεται η φυτική ύλη είτε με ξηρή καύση (dry compustion), είτε με υγρή χώνευση (wet digestion) (The Analysis of Agricultural Materials, 1981, Αλιφραγκής και Παπαμίχος, 1995) και

β) στο δεύτερο στάδιο προσδιορίζεται ο ολικός φώσφορος (P_{total}) στο διάλυμα που παραλαμβάνεται, με αναλυτικές μεθόδους (μέθοδος του ασκορβικού οξέος ή του βαναδομολυβδοφωσφορικού οξέος) (Standard Methods for Water and Wastewater, 1995).

Μέθοδος ξηρής καύσης

Στις συγκεκριμένες αναλύσεις αρχικά έγινε η παρασκευή του διαλύματος προσδιορισμού με ξηρή καύση.

Αντιδραστήρια

1. Διάλυμα υδροχλωρικού 2 N.

Ζυγίζαμε 1 g ξηραμένου και λειοτριμμένου φυτικού δείγματος σε κάψα πορσελάνης. Οι κάψες τοποθετούνταν σε φούρνο στους 600°C για 5 ώρες. Στη συνέχεια μεταφέρονταν σε απαγωγό εστία για να κρυώσουν και αφού προσθέταμε 10 ml διαλύματος HCl 2N σε κάθε κάψα, τις θερμαίναμε σε πλάκα πυράκτωσης για λίγα λεπτά. Αφήναμε τα δείγματά μας να κρυώσουν σε ξηραντήρα και τα διηθούσαμε σε ογκομετρικές φιάλες των 50 ml. Συμπληρώναμε με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή. Σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml παίρναμε 1 ml από το κάθε δείγμα και συμπληρώναμε ως τη χαραγή. Στο διάλυμα αυτό προσδιορίζαμε το P_{total} με τη μέθοδο του ασκορβικού οξέος.

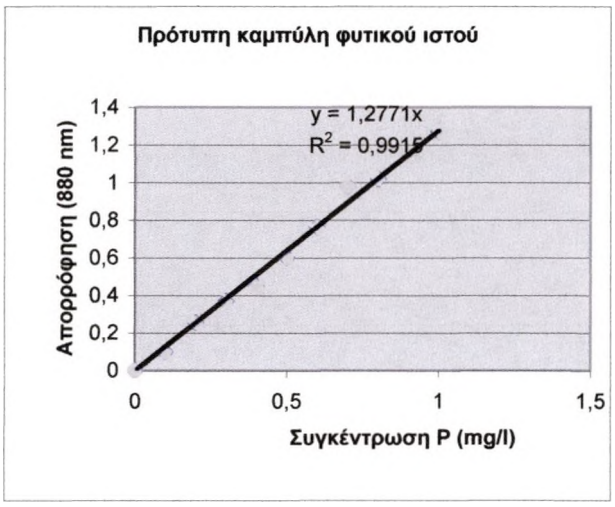
Μέθοδος του ασκορβικού οξέος

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην αρχή ότι το μολυβδαινικό άλας σ' ένα όξινο διάλυμα αντιδρά με τα ορθοφωσφορικά ανιόντα σχηματίζοντας ένα φωσφορομολυβδαινικό σύμπλοκο, το οποίο στη συνέχεια ανάγεται από το ασκορβικό οξύ σε κυανούν του μολυβδαινίου.

Αντιδραστήρια

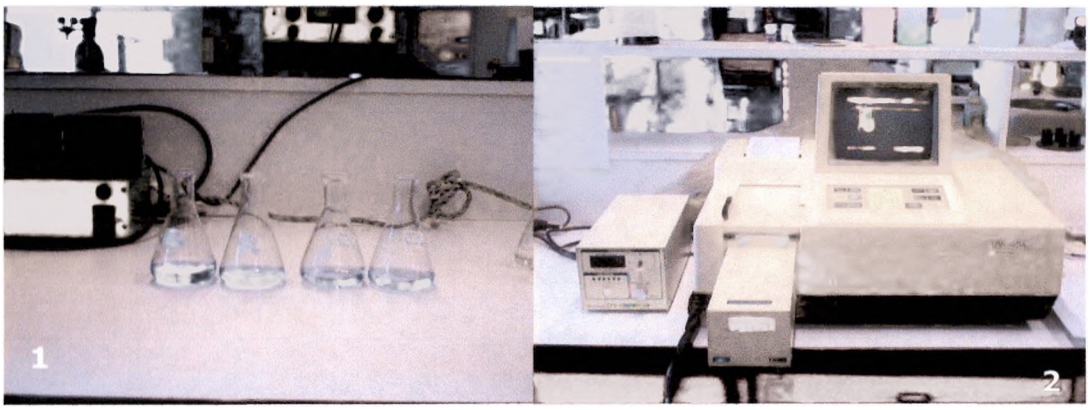
1. Διάλυμα θειικού οξέος 5N: σε 1 λίτρο απεσταγμένου νερού διαλύονται 140 ml πυκνού H_2SO_4.
2. Διάλυμα μολυβδαινικού αμμωνίου: σε ογκομετρική φιάλη των 250 ml διαλύονται 12 g μολυβδαινικό αμμώνιο.

3. Διάλυμα τρυγικού καλίου- αντιμονίου: σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml διαλύονται 0,2908 g τρυγικό κάλιο- αντιμόνιο.
4. Αντιδραστήριο Α: σε ογκομετρική φιάλη των 2 λίτρων μεταφέρονται τα παραπάνω αντιδραστήρια (1,2,3), συμπληρώνεται η φιάλη με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή, ανακινείται καλά και αποθηκεύεται σε σκοτεινό και δροσερό μέρος.
5. Αντιδραστήριο Β: σε 100 ml αντιδραστηρίου Α διαλύονται 0,528 ασκορβικού οξέος και ανακατεύονται μέχρι το διάλυμα να γίνει κίτρινο και διαυγές. (Παρασκευάζεται την ημέρα της χρήσης).



Σχήμα 3.1: Πρότυπη καμπύλη προσδιορισμού P σε φυτικό ιστό

Σε ογκομετρικές φιάλες των 50 ml μεταφέραμε 40 ml περίπου από το κάθε δείγμα, προσθέταμε 8 ml αντιδραστηρίου Β και συμπληρώναμε μέχρι τη χαραγή με το προσδιοριζόμενο διάλυμα. Ανακατεύαμε και περιμέναμε 10 λεπτά τουλάχιστον μέχρι ν' αναπτυχθεί το χρώμα. Τέλος μετρούσαμε την απορρόφηση σε φασματοφωτόμετρο στα 880 nm. Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης του ολικού P (mg/l) στο φυτικό ιστό (φύλλα και βλαστοί) έγινε με τη βοήθεια της πρότυπης καμπύλης (σχήμα 3.1).

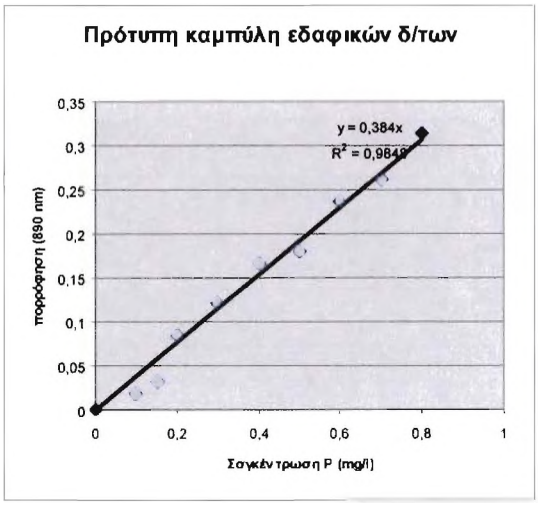


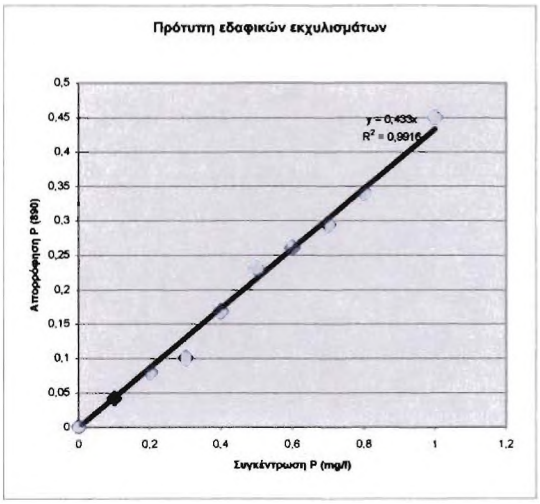
Εικόνα 3.4: Διαλύματα με ανεπτυγμένο το χρώμα τους (κυανούν του μολυβδαινίου) (1) και το φωτόμετρο μέτρησης απορρόφησης (2).

3.7.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΑ

Για την εκχύλιση των εδαφικών δειγμάτων χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο Olsen. Η μέθοδος Olsen είναι η πιο συνηθισμένη στην Ελλάδα, γιατί ενδείκνυται για εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο, μέσης ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ) μέσων τιμών pH και με οργανική ουσία < 3%.

Σαν εκχυλιστής χρησιμοποιήθηκε το διάλυμα 0,5 M σε σχεδόν σταθερό pH 8,5. Η αναλογία εκχύλισης 1/20 και ο χρόνος εκχύλισης 30 λεπτά. Ακολούθησε διήθηση των εκχυλισμάτων, τα οποία στη συνέχεια αναλύθηκαν.





Σχήμα 3.2: Πρότυπες καμπύλες προσδιορισμού διαθέσιμου P σε εδαφικά διαλύματα και εδαφικά εκχυλίσματα.

Ο προσδιορισμός του διαθέσιμου P στα εδαφικά διαλύματα και εκχυλίσματα έγινε φωτομετρικά με το τεστ PhosVer 3, Phosphate Reagent Powder Pillows (0 to 2,50 mg/l PO_4^{3-}), 25 ml της Hach (Hach Company, 2004), το οποίο στηρίζεται στην αναλυτική μέθοδο του ασκορβικού οξέος. Η μετατροπή των απορροφήσεων σε συγκεντρώσεις διαθέσιμου P (mg/l) στα εδαφικά διαλύματα και στα εδαφικά εκχυλίσματα έγινε με τη βοήθεια των πρότυπων του σχήματος 3.2.

3.7.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

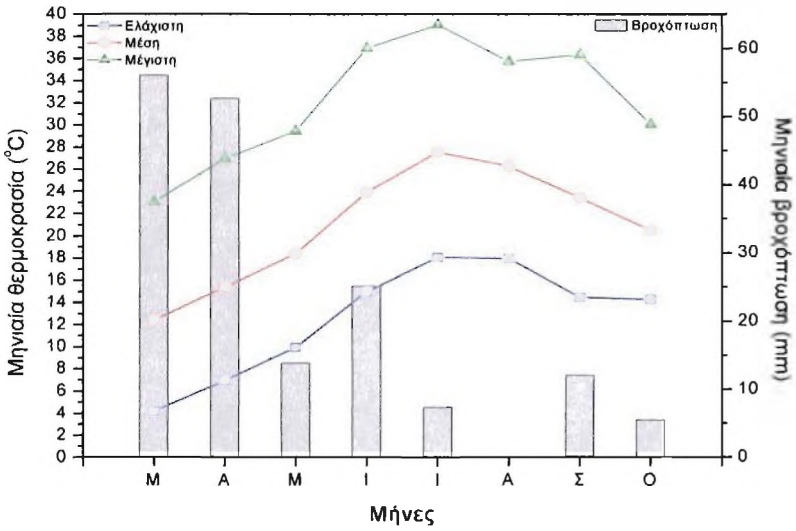
Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ώστε να προσδιοριστεί η οργανική ουσία του εδάφους είναι αυτή της αποτέφρωσης (loss on ignition-L.O.I.) που συνίσταται στην απώλεια βάρους δείγματος εδάφους λόγω καύσης της οργανικής ουσίας (Αλιφραγκής & Παπαμίχος, 1995). Σε πορσελάνινα χωνευτήρια ζυγίζαμε 20g εδαφικού δείγματος. Αυτά τοποθετούνταν σε φούρνο για 24 ώρες και στους 105°C. Στη συνεχεία αφού αποκτούσαν θερμοκρασία περιβάλλοντος (σε ξηραντήρα), ζυγίζονταν. Ύστερα τα χωνευτήρια έμπαιναν σε φούρνο υψηλών θερμοκρασιών και παρέμειναν εκεί για 48 ώρες και σε θερμοκρασία 350°C. Μετά τις 48 ώρες, τα χωνευτήρια αφήνονταν σε ξηραντήρα μέχρι να κρυώσουν και ζυγίζονταν ξανά. Αν υποθέσουμε ότι B_1 είναι το ξηρό βάρος του εδαφικού δείγματος πριν την αποτέφρωση και B_2 το βάρος μετά την αποτέφρωση, τότε η απώλεια βάρους λόγω αποτέφρωσης αποδίδεται στην καταστροφή της οργανικής ουσίας ($L.O.I.\% = (B_1 - B_2)/B_1 * 100$).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΓΡΟΚΤΗΜΑΤΟΣ

Τα μετεωρολογικά δεδομένα που παρουσιάζονται στα διαγράμματα της ενότητας αυτής ελήφθησαν από το μετεωρολογικό σταθμό του Πανεπιστημίου Πατρών, που βρίσκεται σε απόσταση περίπου 300 m από τον πειραματικό αγρό. Από την επεξεργασία των δεδομένων στο πρόγραμμα Origin v.6.1 (OriginLap Corporation) προέκυψαν μια σειρά από διαγράμματα, με τη βοήθεια των οποίων είχαμε μια σαφέστερη εικόνα για τις καιρικές συνθήκες που επικράτησαν κατά την περίοδο ανάπτυξης της καλλιέργειας του γλυκού σόργου.

Στο σχήμα 4.1.1 παρουσιάζονται οι μεταβολές της μηνιαίας θερμοκρασίας του αέρα (μέγιστη, ελάχιστη και μέση, σε °C) και της μηνιαίας βροχόπτωσης (σε mm) πλησίον του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Πατρών, όπου έγιναν τα πειράματα κατά την καλλιεργητική περίοδο 2004.

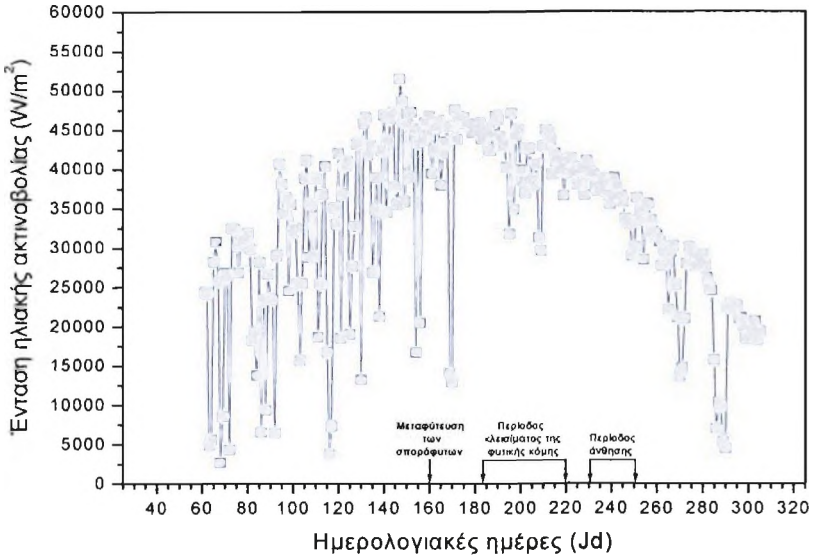


Σχήμα 4.1.1: Ομβροθερμικό διάγραμμα περιοχής Πανεπιστημίου Πατρών για το καλλιεργητικό έτος 2004 (μεταβολές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας και μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης, δεδομένα από μετεωρολογικό σταθμό του Πανεπιστημίου Πατρών).

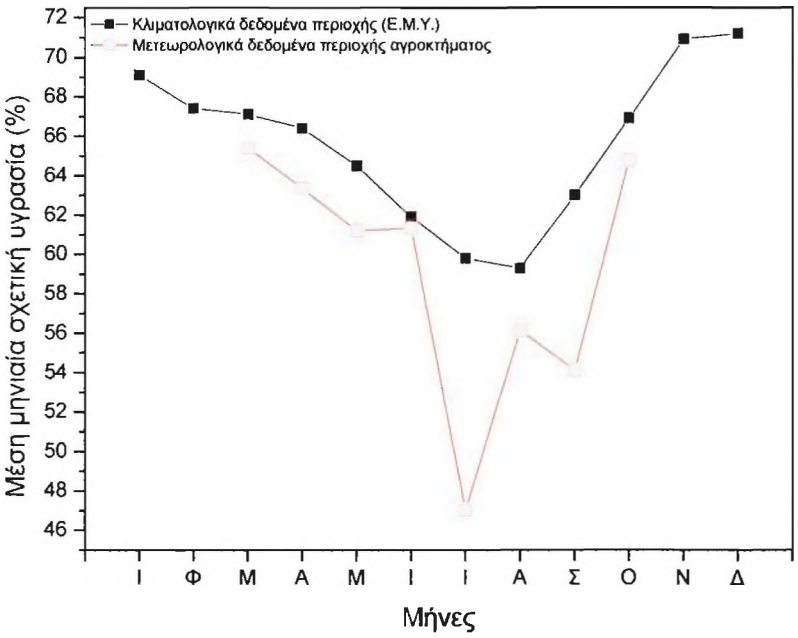
Παρατηρούμε ότι σημαντικές διακυμάνσεις καταγράφηκαν ως προς τη βροχόπτωση, με μηδενική τιμή το μήνα Αύγουστο και αρκετά υψηλή για τον Απρίλιο, ενώ σημαντικές βροχοπτώσεις σημειώθηκαν τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο, οι οποίες ξεπέρασαν τις μέσες κλιματικές τιμές της περιοχής (ιδιαίτερα ο Ιούνιος). Σημαντικότερη αυτών ήταν για το μήνα Ιούνιο (25,1mm), κατά την περίοδο της φύτευσης των σπορόφυτων (8 Ιουνίου, ημερολογιακή ημέρα 160). Αρκετά ξηροί ήταν οι μήνες Μάιος και Σεπτέμβριος, ενώ περισσότερο ξηρός ήταν ο Οκτώβριος, με μόλις 5,4 mm βροχόπτωση.

Στα σχήματα 4.1.2 και 4.1.3 φαίνονται οι ημερήσιες μεταβολές της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχτηκε η καλλιέργεια του γλυκού σόργου και οι μεταβολές της μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας αντίστοιχα. Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2004 είχαμε υψηλές εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας, με τις υψηλότερες τιμές να σημειώνονται κατά την περίοδο που παρατηρήθηκε το κλείσιμο της φυτικής κόμης της καλλιέργειας του γλυκού σόργου,

γεγονός που ευνοεί τις αποδόσεις του γλυκού σόργου σε βιομάζα (Lemaire & Chartier, 1996).



Σχήμα 4.1.2: Μεταβολές της ολικής ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή του αγροκτήματος Πανεπιστημίου Πατρών για το καλλιεργητικό έτος 2004. (Δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό του Πανεπιστημίου Πατρών).

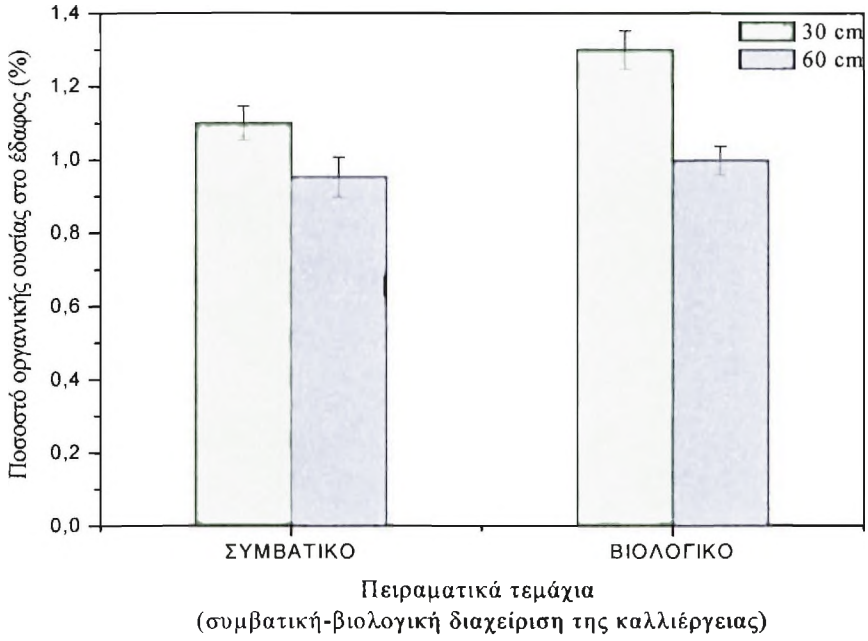


Σχήμα 4.1.3: Διάγραμμα σύγκρισης της μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας από μετεωρολογικά δεδομένα της Ε.Μ.Υ. και του μετεωρολογικού σταθμού του Πανεπιστημίου Πατρών για την περιοχή του αγροκτήματος.

Η μηνιαία πορεία της σχετικής υγρασίας επηρεάζεται από τις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα. Οι χαμηλές τιμές της σχετικής υγρασίας (47%) κατά το μήνα Ιούλιο σχετίζονται με τις υψηλές θερμοκρασίες του αέρα (39°C) που καταγράφηκαν κατά το μήνα αυτό (σχήμα 4.1.1).

4.2. ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΟΥΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η οργανική ουσία στο έδαφος, όπως προαναφέρθηκε βρέθηκε με την έμμεση μέθοδο της αποτέφρωσης (loss on ignition-L.O.I.). Στο ραβδόγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 4.2.1) φαίνονται τα αποτελέσματα της μεθόδου και γίνεται σύγκριση του ποσοστού οργανικής ουσίας σε δύο διαφορετικά βάθη καθώς και σε δύο τρόπους διαχείρισης της καλλιέργειας.



Σχήμα 4.2.1: Η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία, για τους δυο χειρισμούς που εφαρμόστηκαν (συμβατικό και βιολογικό) και για βάθη 0-30 cm και 0-60 cm αντίστοιχα.

Η προσθήκη οργανικής ουσίας (300 l τύρφης τύπου Βαλτικής με βάση το *sphagnum*) στα πειραματικά τεμάχια με το βιολογικό τρόπο διαχείρισης είχε ως αποτέλεσμα το ποσοστό της περιεκτικότητας του εδάφους σε οργανική ουσία να είναι υψηλότερο από εκείνο στο συμβατικό τρόπο διαχείρισης και για τα δυο βάθη. Όσον αφορά στο βάθος των 30 cm βρέθηκε το ποσοστό της οργανικής ουσίας κατά 18,2% αυξημένο σε σχέση με το αντίστοιχο ποσοστό στο συμβατικό τρόπο διαχείρισης της καλλιέργειας, ενώ για το βάθος των 60 η αύξηση ήταν πολύ μικρότερη (<4%).

4.3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΠΕΡΓΕΙΑΣ ΞΗΡΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ – ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ

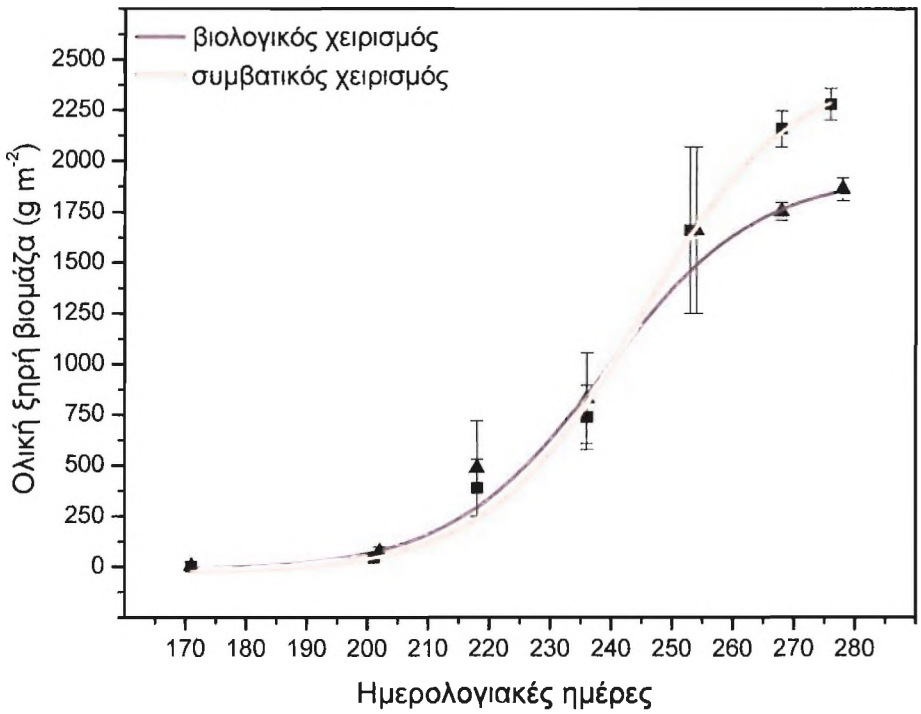
Παρατηρώντας το σχήμα 4.3.1 διαπιστώνουμε ότι ανεξαρτήτου χειρισμού η αύξηση της υπέργειας βιομάζας (φύλλα και βλαστοί) είναι σιγμοειδής μεταβολή του χρόνου (Sigmoidal, Boltzmann),

$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 + \exp(x - x_0)dx} + A_2$$

όπως είχαμε δει και στη βιβλιογραφία (Vanderlip, 1993, Dalianis, et al., 1994).

Στα πρώτα στάδια αύξησης, η παραγωγή βιομάζας είναι σχετικά αργή, ενώ μετά από το πέμπτο στάδιο αύξησης (ημερολογιακή ημέρα 222) ακολουθεί μία περίοδος απότομης αύξησης. Παρατηρούμε ότι τα φυτά του βιολογικού χειρισμού έχουν μειωμένες τιμές ξηρής βιομάζας προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου.

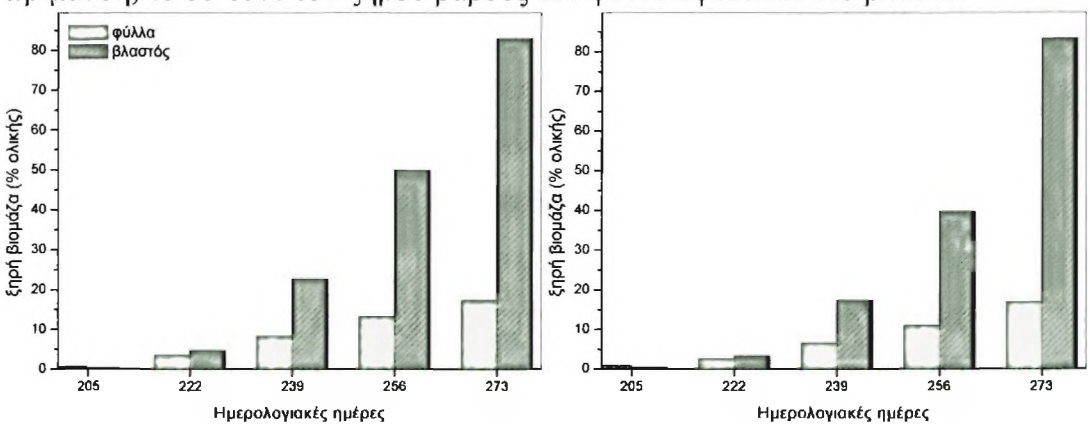
Ανάλογη πτώση παρατηρούμε και στις τιμές των συγκεντρώσεων του ολικού P στα φυτά του βιολογικού χειρισμού. Πιθανόν στα φυτά-δείγματά μας να είχαμε μικρότερη πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων, ή μεγαλύτερη πτώση των παλαιών φύλλων και κατ' επέκταση μικρότερες τιμές βιομάζας (Νικολάου, κ.α., 2000). Επίσης ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρέασε τη μείωση του ρυθμού αύξησης της βιομάζας τον τελευταίο μήνα, είναι η μικρές τιμές υγρασίας που έχουμε το Σεπτέμβριο (σχήμα 4.1.3) (Kavadakis, et al., 2000). Αν και πρέπει να σημειωθεί ότι κάτι τέτοιο δεν εντοπίστηκε στις τελικές αποδόσεις ξηρής βιομάζας (σχήμα 4.3.4), όπου αυξήθηκε σημαντικά ο αριθμός των δειγμάτων (30 φυτά). Αντίθετα, μάλιστα, τα φυτά του βιολογικού χειρισμού συνέχισαν να δίνουν ελαφρώς μεγαλύτερες τιμές, όπως και στις προηγούμενες δειγματοληψίες. Συνολικά για όλη την καλλιεργητική περίοδο, δεν εντοπίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους δύο χειρισμούς για κανένα στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας.



Σχήμα 4.3.1: Επίδραση των δύο χειρισμών στην παραγωγή ολικής υπέργειας ξηρής βιομάζας ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

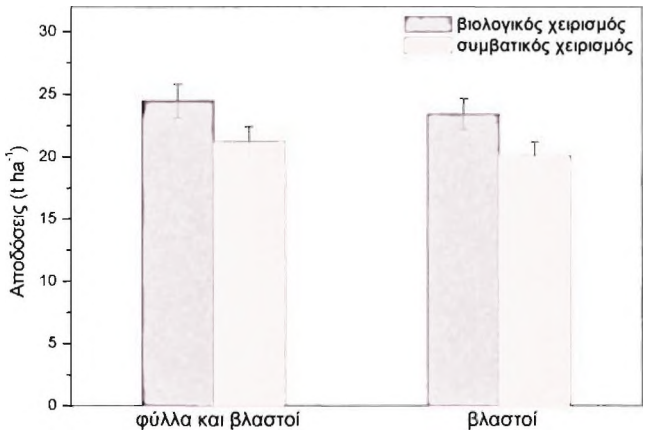
Στο σχήμα 4.3.2 οι τιμές της ξηρής βιομάζας εκφράστηκαν ως αθροιζόμενο εκατοστιαίο ποσοστό της ολικής ξηρής βιομάζας, έτσι ώστε με την ολοκλήρωση της ανάπτυξης της καλλιέργειας, το άθροισμα των ποσοστών των φύλλων και των βλαστών να δίνει το 100%. Στις δυο πρώτες δειγματοληψίες τα ποσοστά βιομάζας στα φύλλα και στους βλαστούς είναι παρόμοια και στους δυο χειρισμούς. Από την τρίτη δειγματοληψία (περίοδος κλεισίματος της φυτικής κόμης) έχουμε απότομη αύξηση των τιμών βιομάζας των βλαστών μέχρι το τέλος της καλλιεργητικής

περιόδου. Μέχρι και την ολοκλήρωση της άνθησης (τέταρτη δειγματοληψία), τα φυτά έχουν συσσωρεύσει ήδη το 50-60% του ξηρού βάρους τους και κατά την ωρίμανση, το 80-85% του ξηρού βάρους του φυτού οφείλεται στο βλαστό.



Σχήμα 4.3.2: Κατανομή της παραγόμενης ξηρής βιομάζας (% ολικής) στα επιμέρους τμήματα του φυτού σε βιολογικό (1) και συμβατικό χειρισμό (2) κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Όσον αφορά τις τελικές αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα (σχήμα 4.3.4), στα βιολογικά τεμάχια είχαμε αποδόσεις (σε φύλλα και βλαστό) της τάξεως των 24,47 t/ ha, ενώ στα τεμάχια του συμβατικού χειρισμού είχαμε λίγο χαμηλότερες αποδόσεις (23,42 t/ ha), αν και η επίδραση των χειρισμών δε βρέθηκε σημαντική.



Σχήμα 4.3.4: Επίδραση των δύο χειρισμών στις τελικές αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα. Οι τιμές αναφέρονται στο μέσο όρο ± τυπικό σφάλμα, με n = 30. Οι διαφορές μεταξύ των χειρισμών δεν ήταν στατιστικά σημαντικές.

Οι αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα του συμβατικού χειρισμού βρίσκονται μέσα στο εύρος των τιμών 17,2-45 t/ha που έχουν δώσει οι Dalianis et al. (1995) για έναν μεγάλο αριθμό πειραμάτων και χειρισμών στην Ελλάδα για την ίδια ποικιλία (Keller) (Αττική, Κεφαλονιά, Καρπενήσι, Πύργος, Κωπαΐδα, Λάρισα και Κομοτηνή). Στη βορειοανατολική Ελλάδα (Ορεστιάδα) οι Alexopoulou et al. (2000) αναφέρουν αποδόσεις της ποικιλίας Keller που κυμαίνονται από 26,1 t/ha (Kavili) μέχρι 35,3 t/ha (Rizia). Στην κεντρική Ελλάδα οι Kavadakis et al. (2000) αναφέρουν αποδόσεις που κυμαίνονται από 20-25 t/ ha μέχρι 32-36 t/ha. Παρόμοιες είναι και οι τιμές των Derkas et al. (2000). Το μεγάλο εύρος των αποδόσεων στην Ελλάδα έχει σχέση με το μεγάλο εύρος των παραγόντων που επηρεάζουν την ανάπτυξη του σόργου (περιοχή, θρεπτική και φυσική κατάσταση του εδάφους, καλλιεργητικές τεχνικές, συνθήκες υγρασίας κ.α.). Οι αποδόσεις στη βιολογική καλλιέργεια του γλυκού σόργου

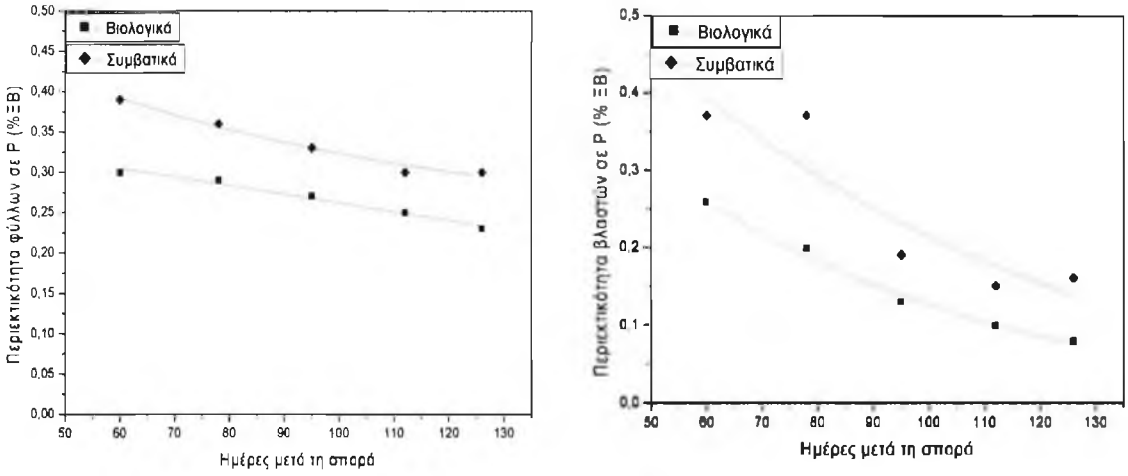
συγκρινόμενες με αυτές των συμβατικών χειρισμών (δεν βρέθηκαν αντίστοιχα πειράματα βιολογικού χειρισμού στη βιβλιογραφία) είναι πολύ καλές.

4.4 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΑ ΦΥΤΑ

Η διακύμανση της εκατοστιαίας περιεκτικότητας του φωσφόρου στο υπέργειο τμήμα των φυτών (φύλλα και βλαστοί) είναι εκθετικά φθίνουσα (Exponential, ExpDec1) με το χρόνο, παρόμοια μ' αυτή που κατέγραψαν οι Cavigelli και Thien

$$y = y_0 - Ae^{-x/t}$$

(2003) στις ΗΠΑ και οι Myers et al. (1987) στην Αυστραλία, σε καλλιέργεια καρποδοτικού σόργου. Παρόμοιες μεταβολές επίσης έχουν καταγραφεί στην καλλιέργεια του καλαμποκιού από τον Jones (1982) στις ΗΠΑ (πίνακας 4.4.1).



Σχήμα 4.4.1: Μεταβολές της εκατοστιαίας περιεκτικότητας σε φώσφορο, φύλλων και βλαστών στο βιολογικό και στο συμβατικό χειρισμό κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Καμπύλη	R^2	A	y_0	t
Φύλλων (ΣΧ)	0.66889	1.48348	0.32299	19.54367
Φύλλων (ΒΧ)	0,54633	0.03109	0.2572	3.3301
Βλαστών (ΣΧ)	0.78916	1.17403	0.09008	43.43086
Βλαστών (ΒΧ)	0.89972	1.10869	0.05445	35.97578

Πίνακας 4.5.1: Οι σταθερές των εκ θετικών καμπυλών περιεκτικότητας φωσφόρου.

Συγκρίνοντας τις καμπύλες του συμβατικού χειρισμού με τις αντίστοιχες των Myers et al. (1987) διαπιστώνουμε ότι και στα δυο πειράματα στα φύλλα έχουμε τα υψηλότερα ποσοστά % P, τα οποία παρουσιάζουν μια μικρή μείωση με το χρόνο (σχήμα 4.4.1). Ενώ στα ποσοστά % P των βλαστών παρατηρούμε μια μεγαλύτερη μείωση, ειδικά στις τρεις τελευταίες δειγματοληψίες. Πιθανόν η μεγαλύτερη μείωση (αραίωση) του φωσφόρου στους βλαστούς να έχει να κάνει με το μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης τους.

Συγκρίνοντας τις καμπύλες του συμβατικού χειρισμού μ' αυτές του βιολογικού, παρατηρούμε ότι οι περιεκτικότητες του βιολογικού χειρισμού είναι μικρότερες και

στα φύλλα και στους βλαστούς. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι οι τιμές % P του συμβατικού χειρισμού κυμάνθηκαν στα φύλλα από 0,39 μέχρι 0,3 και στους βλαστούς από 0,37 μέχρι 0,15. Ενώ οι αντίστοιχες του βιολογικού κυμάνθηκαν στα φύλλα από 0,34 έως 0,25 και στους βλαστούς από 0,26 μέχρι 0,08. Οι τιμές των φύλλων και στο συμβατικό και στο βιολογικό χειρισμό είναι μέσα στα όρια επάρκειας του P (0,2-0,4% ξηρής ουσίας) (Αναλογίδης, 2000, Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2003). Ενώ τα ποσοστά των βλαστών στα τελευταία στάδια είναι μικρότερα του 0,2%, δηλαδή κάτω του ορίου επάρκειας. Αν και σύμφωνα με τον Lockman (1972) τα όρια επάρκειας του P κυμαίνονται ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης που βρίσκονται τα φυτά του σόργου (πίνακας 1.6.1). Στα πρώτα πέντε στάδια τα όρια επάρκειας κατά Lockman είναι 0,2-0,6% P στο έκτο στάδιο είναι 0,2-0,35% P και στο έβδομο και όγδοο είναι 0,15-0,25% P. Οπότε μόνο οι βλαστοί του βιολογικού χειρισμού κατά Lockman έχουν ανεπαρκή P κατά την ωρίμανση των φυτών.

4.5 ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

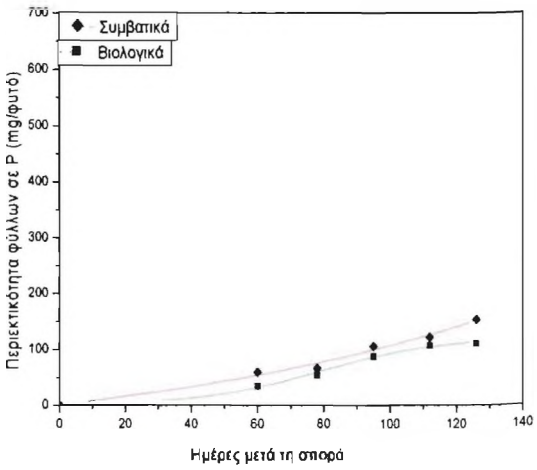
Παρατηρώντας τα διαγράμματα της συσσώρευσης του φωσφόρου στα φυτά του γλυκού σόργου, (σχήμα 4.5.1) διαπιστώνουμε μια σιγμοειδή αύξηση (Sigmoidal Boltzmann), στα υπέργεια τμήματα του φυτού (πίνακας 4.5.1), σύμφωνη με τη

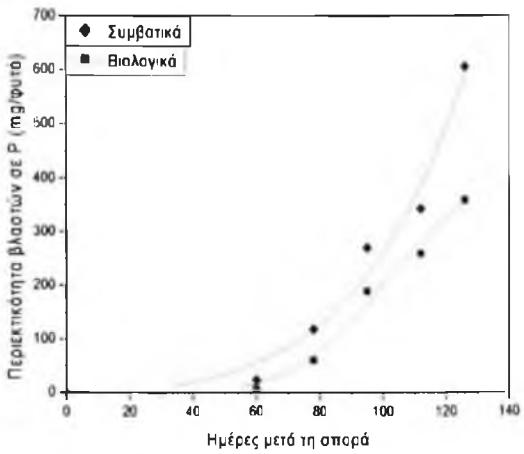
$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 + \exp(x - x_0)dx} + A_2$$

βιβλιογραφία για το σόργο από το Vanderlip (1993) και για το καλαμπόκι από τους Alley, et al., (1997) και Mengel and Kirby (1978).

Καμπύλη	R^2	A_1	A_2	X_0	dx
Φύλλων (ΣΧ)	0.98772	-78.77376	5164.87749	481.33797	115.27578
Φύλλων (ΒΧ)	0.99472	-0.90524	121.09584	78.74572	18.29958
Βλαστών (ΣΧ)	0.97827	-20.71259	4045.42936	177.13712	29.61637
Βλαστών (ΒΧ)	0.98704	-9.71498	411.7715	100.02498	14.90196
Φύλλων+Βλαστών(ΣΧ)	0.98391	-35.73078	13706.29559	231.7661	37.61996
Φύλλων+Βλαστών(ΒΧ)	0.99349	-4.87137	523.4073	95.4965	15.49145

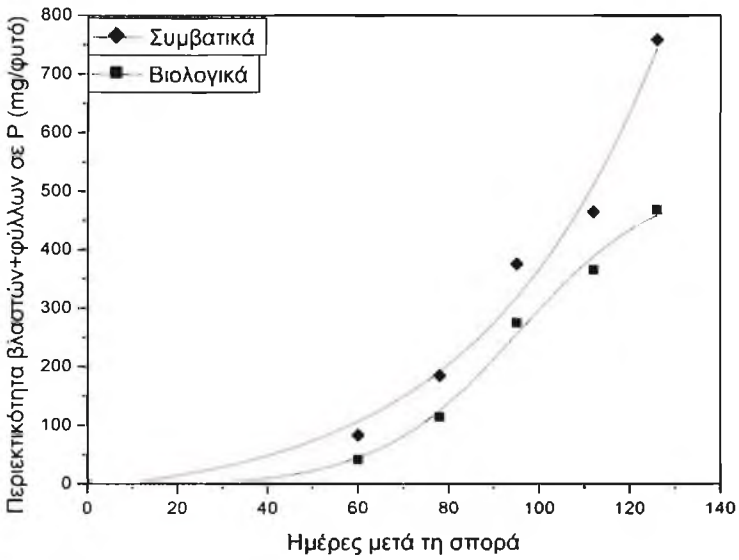
Πίνακας 4.5.1: Οι σταθερές των σιγμοειδών καμπυλών συσσώρευσης φωσφόρου.





Σχήμα 4.5.1: Ο ολικός προσλαμβανόμενος φώσφορος στα φύλλα (1) και στους βλαστούς (2) ,στο βιολογικό και στο συμβατικό χειρισμό (σε mg P ανά φυτό) κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Συγκρίνοντας τους δυο χειρισμούς παρατηρούμε ότι τα φυτά του συμβατικού χειρισμού τόσο στα φύλλα όσο και στους βλαστούς συσσώρευσαν περισσότερο φώσφορο από αυτά του βιολογικού. Ενώ στα φύλλα η διαφορά συσσώρευσης δεν είναι πολύ μεγάλη, στους βλαστούς είναι, ιδιαίτερα μετά την άνθηση των φυτών (100 μέρες περίπου μετά τη σπορά).



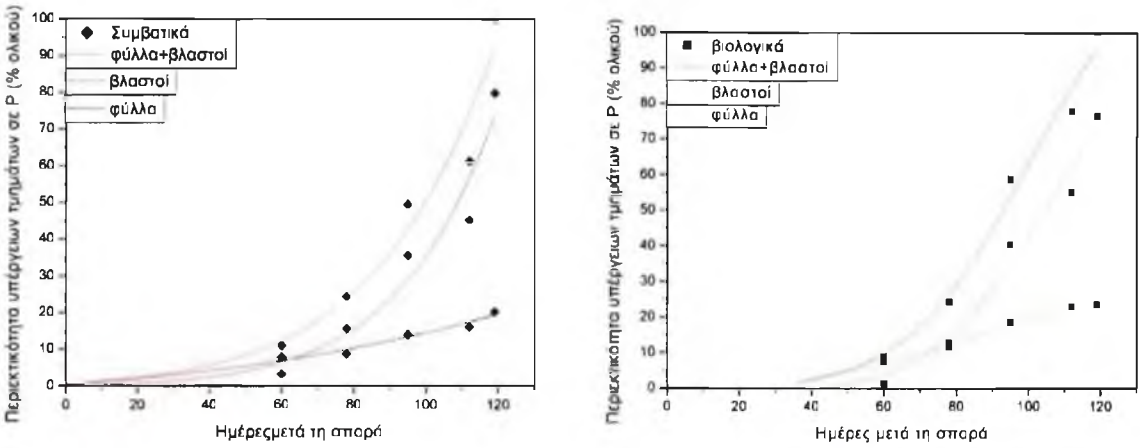
Σχήμα 4.5.2: Ο ολικός προσλαμβανόμενος φώσφορος στο υπέργειο τμήμα του φυτού, στο βιολογικό και στο συμβατικό χειρισμό κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Στο σχήμα 4.5.2 παρουσιάζεται το άθροισμα της συγκέντρωσης του φωσφόρου στα φύλλα και στους βλαστούς. Παρατηρούμε ότι το αθροιστικό διάγραμμα είναι πανομοιότυπο μ' αυτό των βλαστών, κάτι που ήταν αναμενόμενο αφού οι βλαστοί συσσώρευσαν πολύ μεγαλύτερα ποσά φωσφόρου από τα φύλλα. Οι μέγιστες τιμές συσσώρευσης φωσφόρου στους βλαστούς ήταν 359 mg P/ φυτό, στο βιολογικό χειρισμό και 600 mg P/φυτό, στο συμβατικό, ενώ στα φύλλα 110 mg P/φυτό και 150 mg P/φυτό, αντίστοιχα σε κάθε χειρισμό.

Στα διαγράμματα του σχήματος 4.5.3 καταγράφονται οι περιεκτικότητες των επιμέρους υπέργειων τμημάτων ως εκατοστιαίο ποσοστό της ολικής περιεκτικότητας. Οι γραφικές τους παραστάσεις είναι καμπύλες σιγμοειδούς μορφής (Sigmoidal Boltzmann) και οι σταθερές τους δίνονται στον πίνακα 4.5.2.

$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 + \exp(x - x_0)dx} + A_2$$

Παρατηρούμε ότι στις εξήντα πρώτες μέρες (βλαστική φάση) η περιεκτικότητα του P στα φύλλα είναι μεγαλύτερη απ' αυτή των βλαστών. Ενώ στα επόμενα στάδια αυξάνει απότομα η περιεκτικότητα του P στους βλαστούς (αναπαραγωγική φάση) (Vanderlip, 1993, Gerik, et al., 2003).



Σχήμα 4.5.3: Διακύμανση της περιεκτικότητας P (% ολικού) σε φύλλα, βλαστούς και φύλλα & βλαστούς σε συμβατικό (1) και βιολογικό χειρισμό (2) κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

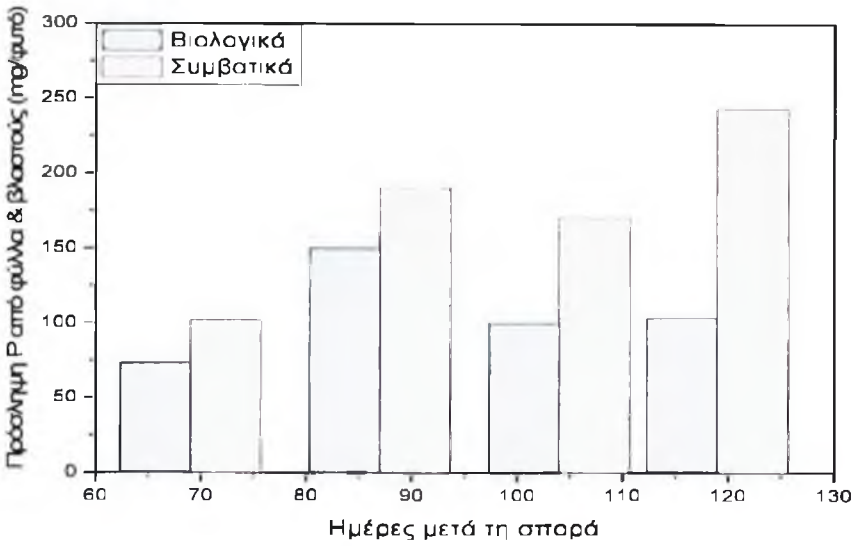
Καμπύλη	R^2	A_1	A_2	X_0	dx
Φύλλων (ΣΧ)	0.97987	-6.30049	-6.30049	329.32205	83.24188
Φύλλων (ΒΧ)	0.99659	-0.46126	28.104	82.3214	21.01988
Βλαστών (ΣΧ)	0.95062	-0.63244	562.55343	163.49791	23.6249
Βλαστών (ΒΧ)	0.97805	-2.1597	102.45813	104.52381	15.96749
Φύλλων+Βλαστών(ΣΧ)	0.95917	-0.99414	584.16381	165.45042	27.98202
Φύλλων+Βλαστών(ΒΧ)	0.98773	-1.23762	125.84873	99.47698	16.70491

Πίνακας 4.5.2: Οι σταθερές των σιγμοειδών καμπυλών συσσώρευσης φωσφόρου.

Συγκρίνοντας τους δυο χειρισμούς παρατηρούμε ότι στο βιολογικό χειρισμό η συγκέντρωση του P στα φύλλα έχει μια πιο έντονη αύξηση απ' ότι στο συμβατικό, φτάνοντας τελικά στο 23% του ολικού P στο φυτό. Ενώ στο συμβατικό τα φύλλα καταλαμβάνουν τελικά το 20% του ολικού P στο φυτό.

4.6 ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΑΠΟ ΤΑ ΦΥΤΑ

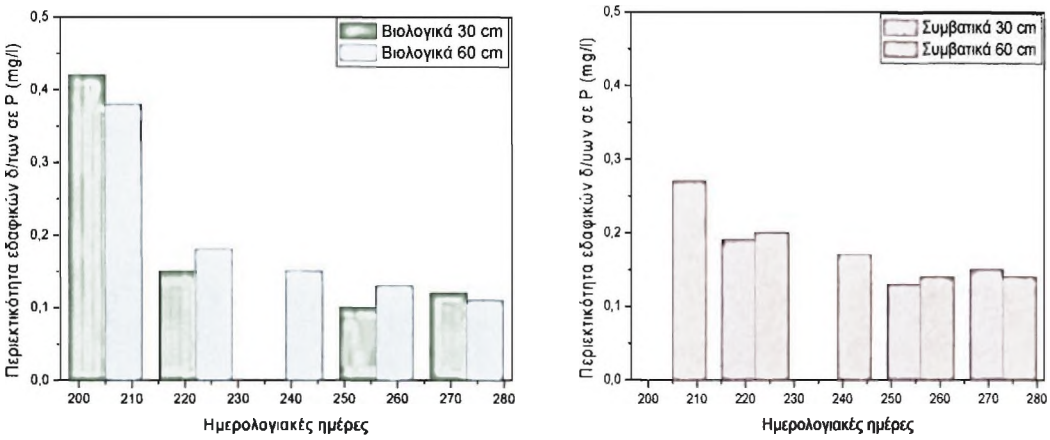
Στο ραβδόγραμμα του σχήματος 4.6.1 καταγράφονται οι μεταβολές της πρόσληψης του φωσφόρου στα υπέργεια τμήματα του σόργου (φύλλα και βλαστοί) σε βιολογική και συμβατική καλλιέργεια. Η πρόσληψη υπολογίστηκε ως διαφορά των mg P ανά φυτό μεταξύ δυο δειγματοληψιών. Παρατηρώντας το ραβδόγραμμα διαπιστώνουμε ότι τις ενενήντα πρώτες μέρες τα φυτά προσλάβανε φώσφορο με αυξανόμενο ρυθμό και στους δυο χειρισμούς, με λίγο μεγαλύτερες ποσότητες στο συμβατικό χειρισμό. Στη συνέχεια στο διάστημα μεταξύ της τρίτης (95 μέρες μετά τη σπορά) δειγματοληψίας και της τέταρτης (112 μέρες μετά τη σπορά) παρατηρούμε μειωμένη πρόσληψη φωσφόρου και στους δυο χειρισμούς, με πιο έντονη στο βιολογικό χειρισμό. Σ' αυτό το διάστημα αρχίζει η ανάπτυξη των σπόρων και έχει διαπιστωθεί ότι σάκχαρα, αμινοξέα και πρωτεΐνες από το βλαστό και τα φύλλα μεταφέρονται στους σπόρους (Vanderlip, 1993). Επομένως οι τιμές πρόσληψης P από φύλλα και βλαστούς στις δυο τελευταίες δειγματοληψίες δεν απεικονίζει την ολική πρόσληψη P από τα φυτά.



Σχήμα 4.6.1: Μεταβολές πρόσληψης φωσφόρου (mg P/ φυτό) σε φύλλα & βλαστούς, σε βιολογικό και συμβατικό τρόπο καλλιέργειας σόργου.

4.7 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ & ΣΤΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις εδαφοδιαλυμάτων που πάρθηκαν από μόνιμους δειγματολήπτες σε βάθη 30 cm και 60 cm και στους δυο χειρισμούς καλλιέργειας (σχήμα 4.7.1).

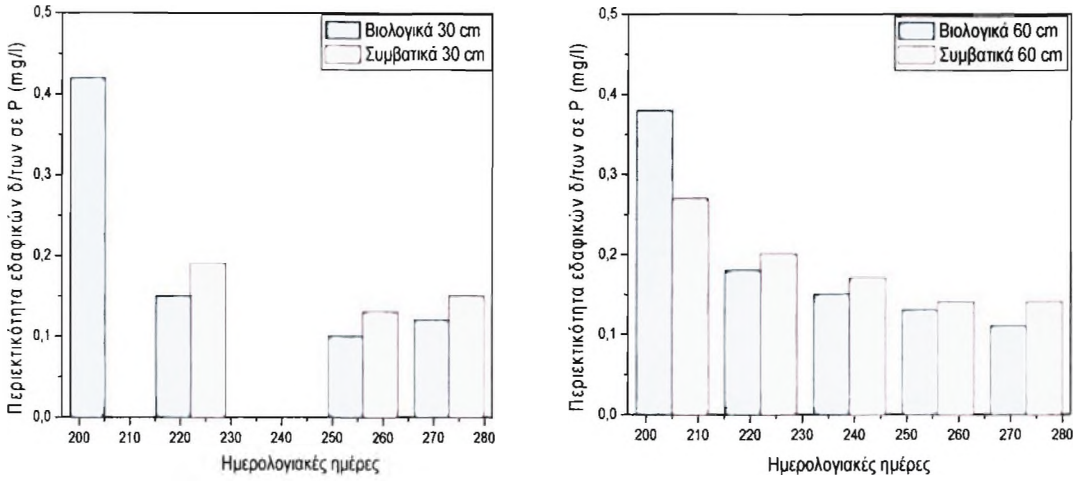


Σχήμα 4.7.1: Διακύμανση της συγκέντρωσης διαθέσιμου φωσφόρου σε εδαφικά διαλύματα βάθους 0-30 cm και 30-60 cm σε βιολογικό (1) και συμβατικό χειρισμό (2) καλλιέργειας γλυκού σόργου.

Στα ραβδογράμματα του σχήματος 4.7.1 παρατηρούμε ότι κατά την πρώτη δειγματοληψία έχουμε τις πιο υψηλές συγκεντρώσεις P και στους δυο χειρισμούς, οι οποίες στη συνέχεια μειώνονται απότομα. Η μείωση αυτή δικαιολογείται από τη μεγάλη πρόσληψη του P από τα φυτά του σόργου κατά τις εξήντα πρώτες μέρες μετά την ανάδυση (Vanderlip, 1993, Gerik, et al., 2003). Λόγω της έλλειψης των τιμών της πρώτης και τρίτης δειγματοληψίας στα εδαφοδιαλύματα (σχήμα 4.7.1) δεν μπορεί να

γίνει συσχέτιση των τιμών του διαθέσιμου P των εδαφοδιαλυμάτων με τις τιμές της πρόσληψης P από τα φυτά.

Επίσης στην πρώτη δειγματοληψία παρατηρούμε υψηλότερες συγκεντρώσεις P στα δείγματα του μικρού βάθους (30 cm), ενώ στις υπόλοιπες δειγματοληψίες είναι λίγο αυξημένες οι τιμές του P στα δείγματα των 60 cm. Παρατηρούμε τέλος, ότι σ' όλη την καλλιεργητική περίοδο υπάρχουν διαθέσιμα ποσά φωσφόρου στο ριζόστρωμα, και στους δυο χειρισμούς.



Σχήμα 4.7.2: Συσχέτιση των συγκεντρώσεων διαθέσιμου φωσφόρου στα εδαφικά διαλύματα του βιολογικού και του συμβατικού χειρισμού στα βάθη των 30 cm (1)και 60 cm (2).

Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις P στους δυο χειρισμούς (σχήμα 4.7.2) παρατηρούμε ότι στην πρώτη δειγματοληψία μεγαλύτερες είναι οι συγκεντρώσεις του βιολογικού χειρισμού, ενώ στις υπόλοιπες μεγαλύτερες είναι του συμβατικού, με μικρή διαφορά. Επομένως η μικρότερη πρόσληψη P στα τελευταία στάδια στο βιολογικό χειρισμό (σχήμα 4.6.1) δεν έχει σχέση με τη διαθεσιμότητα του P αλλά με άλλους παράγοντες (όπως περιορισμένη δράση μυκόρριζων, στάδιο ανάπτυξης του σόργου, θερμοκρασία και υγρασία του εδάφους).

Στον πίνακα 4.7.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκχύλισης των εδαφικών δειγμάτων που πάρθηκαν στην αρχή και στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου από βάθη 30 cm και 60 cm.

Αρχή καλλιεργητικής περιόδου

Χειρισμός	Βάθος δείγματος 30 cm	Βάθος δείγματος 60 cm
Βιολογικός	4,3	2,1
Συμβατικός	14,1	10,1

Τέλος καλλιεργητικής περιόδου

Χειρισμός	Βάθος δείγματος 30 cm	Βάθος δείγματος 60 cm
Βιολογικός	1,8	1,5
Συμβατικός	5,3	4,0

Πίνακας 4.7.1: Συγκέντρωση P (mg/l) σε δείγματα εδάφους, στην αρχή και στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου και στους δυο χειρισμούς

Οι τιμές των συγκεντρώσεων φωσφόρου των εδαφικών εκχυλισμάτων (πίνακας 4.7.1) είναι δεκαπλάσιες από τις συγκεντρώσεις των εδαφικών διαλυμάτων (σχήμα 4.7.1) στο βιολογικό χειρισμό και τριανταπενταπλάσιες αντίστοιχα στο συμβατικό

χειρισμό, στην αρχή της καλλιεργητικής περιόδου. Οι διαφορές αυτές είναι λογικές, αφού στη πρώτη περίπτωση τα εδαφικά διαλύματα περιλαμβάνουν το διαλυμένο φώσφορο, που συνήθως είναι μικρότερος του 1 mg/l (Θεριός, 1996). Στη δεύτερη περίπτωση, εκτός από το διαλυμένο φώσφορο προσδιορίζεται και ο προσροφημένος (ανταλλάξιμος P) στα εδαφικά κολλοειδή που είναι πολλαπλάσιος του διαλυμένου P.

Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις P στους δυο χειρισμούς, στην αρχή της καλλιεργητικής περιόδου (πίνακας 4.7.1), παρατηρούμε ότι οι τιμές του συμβατικού χειρισμού είναι τριπλάσιες απ' αυτές του βιολογικού στα 30 cm και πενταπλάσιες στα 60 cm. Μια παρόμοια διαφορά παρατηρούμε μεταξύ των δυο χειρισμών στα 30 cm και στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, ενώ η διαφορά 60 cm έχει κατά πολύ μειωθεί.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ανακεφαλαιώνοντας τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο μπορούμε να παρουσιάσουμε τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η διακύμανση της ολικής υπέργειας ξηρής βιομάζας ήταν παρόμοια και στους δυο χειρισμούς, βιολογικό και συμβατικό (σχήμα 4.3.1). Οι αποδόσεις των βλαστών σε ξηρή βιομάζα ήταν πολύ μεγαλύτερες (περίπου 87%) απ' αυτές των φύλλων. Αποτέλεσμα αναμενόμενο και προσδοκώμενο αφού στους βλαστούς συσσωρεύονται τα σάκχαρα. Υπήρξε ένα μικρό προβάδισμα στο βιολογικό χειρισμό τους τρεις πρώτους μήνες (100 μέρες) που αντιστράφηκε κατά την ωρίμανση των φυτών. Πιθανόν κάποιοι παράγοντες (κλιματικοί ή εδαφικοί) να επηρέασαν περισσότερο τα φυτά του βιολογικού χειρισμού στα τελευταία στάδια ανάπτυξης, με αποτέλεσμα να έχουν επισπεύσει την ωρίμανσή τους και να μην έχουν έτσι αποκτήσει τις τελικές δυνητικές παραγωγές βιομάζας. Ανάλογο συμπέρασμα βγαίνει και από τις τιμές του ολικού προσλαμβανόμενου φωσφόρου (σχήμα 4.5.2) που μετά την εκατοστή μέρα αρχίζει να μειώνεται η πρόσληψη P στο βιολογικό χειρισμό ενώ υπάρχει διαθέσιμος P στο έδαφος του βιολογικού χειρισμού (σχήμα 4.7.1). Συγκρίνοντας τις τελικές αποδόσεις και των δυο χειρισμών (24,47 & 23,42 t/ha βιολογικού και συμβατικού αντίστοιχα) με αντίστοιχες συμβατικών καλλιεργειών στη νότια Ευρώπη (13-45 t/ha) διαπιστώνουμε ότι κυμαίνονται μέσα στα αναμενόμενα όρια
- Η εκατοστιαία περιεκτικότητα σε φώσφορο, των υπέργειων τμημάτων των φυτών του γλυκού σόργου κυμάνθηκε μέσα στα όρια επάρκειας (0,2-0,4% P), εκτός από τις περιεκτικότητες των βλαστών του βιολογικού χειρισμού στο τελευταίο στάδιο ανάπτυξης που ήταν λίγο μικρότερες. Η % περιεκτικότητα σε P μειώθηκε εκθετικά με το χρόνο όπως αναφέρεται και σε άλλα πειράματα συμβατικής καλλιέργειας σόργου (σχήμα 4.4.1).
- Η συσσώρευση φωσφόρου από τα φυτά του σόργου κατά την καλλιεργητική περίοδο είναι σιγμοειδούς μορφής (σχήμα 4.5.3) και στους δυο χειρισμούς όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία (Vanderlip, 1993). Με τα φύλλα να συσσωρεύουν περισσότερο P τις 60 πρώτες μέρες και τους βλαστούς να συσσωρεύουν περισσότερο P στα τελευταία στάδια. Στο συμβατικό χειρισμό έχουμε μεγαλύτερη συσσώρευση P απ' ότι στο βιολογικό (Σχήμα 4.5.2). Πιθανόν η οργανική ουσία (τύρφη) που προστέθηκε να μην ήταν επαρκής ή να μην απέδωσε ο εμβολιασμός με μυκόρριζες. Έτσι στα φυτά του βιολογικού χειρισμού παρατηρήθηκε μείωση της συσσώρευσης P κατά την ωρίμανση (Σεπτέμβριο).
- Η πρόσληψη φωσφόρου στο συμβατικό χειρισμό είναι συνεχώς αυξανόμενη, ενώ στο βιολογικό παρουσιάζει μείωση κατά την ωρίμανση των φυτών. Πιθανόν η έλλειψη εδαφικής υγρασίας να ήταν μεγαλύτερη στο βιολογικό χειρισμό και αυτό να επηρέασε την πρόσληψη των φωσφορικών.
- Η συγκέντρωση του P στα εδαφικά διαλύματα ήταν υψηλότερη στο βιολογικό χειρισμό κατά την πρώτη δειγματοληψία. Ενώ στις υπόλοιπες δειγματοληψίες ήταν ελαφρώς υψηλότερες οι τιμές των συμβατικών εδαφικών διαλυμάτων. Γενικά και στους δυο χειρισμούς υπήρξε επάρκεια φωσφορικών στο εδαφοδιάλυμα (σχήμα 4.7.2).
- Οι αναλύσεις εδαφικών δειγμάτων έδωσαν πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις φωσφορικών στο συμβατικό χειρισμό στην αρχή της καλλιεργητικής περιόδου, ειδικά στα πρώτα 30 cm. Τιμές που μειώθηκαν στο 1/3 στο τέλος

της καλλιεργητικής περιόδου (δηλαδή κατά 8,8 mg/l). Ενώ η αντίστοιχη διαφορά στο βιολογικό χειρισμό είναι 2,5 mg/l στα πρώτα 30 cm. Έχοντας υπόψη τις μικρές διαφορές που είχαμε ως προς το διαθέσιμο P στους δυο χειρισμούς (σχήμα 4.7.2) συμπεραίνουμε ότι το μεγαλύτερο ποσό του προσροφημένου P στο συμβατικό τρόπο διαχείρισης εκπλύθηκε στον υδροφόρο ορίζοντα.

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι η βιολογική διαχείριση του φωσφόρου στην καλλιέργεια του γλυκού σόργου έδωσε μεγαλύτερες τελικές αποδόσεις σε εδάφη που είχαν επάρκεια φωσφόρου. Επομένως επιπλέον προσθήκες φωσφορικών λιπασμάτων δεν επηρεάζουν τις τελικές αποδόσεις και οδηγούν σε ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Ανάλογα συμπεράσματα είχε και η έρευνα του Wiedenfeld (1984) στο Τέξας σε καλλιέργεια γλυκού σόργου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν οι μεταβολές του ολικού φωσφόρου σε φυτά γλυκού σόργου (*Sorghum bicolor* (L) Moench) ποικιλίας Keller και του διαθέσιμου φωσφόρου στο έδαφος. Ακολουθήθηκαν δύο χειρισμοί διαχείρισης, ο βιολογικός και ο συμβατικός. Σκοπός της εργασίας ήταν να διαπιστωθεί εάν οι πρακτικές βιολογικής διαχείρισης της γονιμότητας του εδάφους που εφαρμόστηκαν ήταν επαρκείς για την κάλυψη των αναγκών του γλυκού σόργου σε φώσφορο, προκειμένου να επιτευχθούν αποδόσεις που να προσεγγίζουν τις αποδόσεις του συμβατικού τρόπου καλλιέργειας. Τα πειράματα πεδίου πραγματοποιήθηκαν σε αγρόκτημα στο χώρο του Πανεπιστημίου Πατρών (θέση: ΓΠ: 38° 25΄ Β, ΓΜ: 21° 8΄ Α) την περίοδο 2003-2004.

Η συσσώρευση φωσφόρου από τα φυτά του γλυκού σόργου ακολούθησε σιγμοειδή μεταβολή με το χρόνο και στους δυο χειρισμούς όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία. Με τα φυτά του συμβατικού να προσλαμβάνουν λίγο περισσότερο φώσφορο.

Η αύξηση της ξηρής βιομάζας ήταν επίσης σιγμοειδής μεταβολή με το χρόνο και στους δύο χειρισμούς, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. Οι τελικές αποδόσεις ήταν της τάξεως των 24,47 t/ha για το βιολογικό χειρισμό και 23,42 t/ha για το συμβατικό. Τιμές που βρίσκονται στα επίπεδα που αναφέρονται στη βιβλιογραφία για τη συμβατική καλλιέργεια του γλυκού σόργου στη νότια Ευρώπη.

Επομένως ο τρόπος διαχείρισης του εδαφικού φωσφόρου δεν επηρέασε τις τελικές αποδόσεις σε ξηρή υπέργεια βιομάζα στην καλλιέργεια του γλυκού σόργου. Η βιολογική διαχείριση του φωσφόρου στην καλλιέργεια του γλυκού σόργου, σε έδαφος με επάρκεια φωσφόρου έδωσε ικανοποιητικές τελικές αποδόσεις βιομάζας. Ενώ οι επιπλέον προσθήκες φωσφορικών λιπασμάτων στη συμβατική διαχείριση πιθανόν να ήταν πλεονασματικές και να επιβάρυναν το περιβάλλον.

ABSTRACT

In the present work was studied the total phosphorus fluctuation of sweet sorghum plants (*Sorghum bicolor* (L) Moench, variety Keller) and the available phosphorus in the soil. Two treatment practices were followed, the biological and the conventional one. Aim of the study was to ascertain whether the applied soil fertility practices of the biological management were sufficient in terms of the crop's phosphorus nutrition, in order to achieve yields approaching those of the conventional one. Field experiments were conducted at the Patras' University farm (lat. 38° 25′ B, long. 21° 8′A) during the period 2003-2004.

The phosphorus uptake of sweet sorghum plants followed a sigmoid variation with time at both treatments as mentioned in literature with plants under conventional treatment taking up slightly higher amounts of phosphorus.

Dry matter growth followed the same sigmoid variation in time at both treatments, according to literature. The total yields reached 24.47 t/ha for the biological treatment and 23.42 t/ha for the conventional one. These values were within the levels reported in literature for conventional treatment of sweet sorghum in southern Europe.

Thus, soil phosphorus management practices had no effect on total above the ground dry matter yields of sweet sorghum. Biological management of phosphorus in the cultivation of sweet sorghum in a soil sufficient in phosphorus gave satisfactory total dry matter yields. Further addition of phosphates during conventional treatment was possibly excessive and may have harmed the environment.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσσες αναφορές

1. Alexopoulou, E., Kipriotis, M., Christou, M., Zafiris, Ch. 1998. Adaptability and productivity of sweet sorghum in northern Greece. In: 10th European Conference on Biomass for Energy and Industry, Ed. Chartier et al., C.A.R.M.E.N., Press, Germany, pp: 939-942.
2. Alley, M.M., Marvin, E., Martz, J., Davis, H.P., Hammons, L.J. 1997. Virginia State University, Publication Number 424-027, Posted April 1997.
3. Bugg, L.R. 1995. Cover crop biology: A minireview. Part I. In: Sustainable Agriculture Technical Reviews, vol.7, n.4.
4. Busman, L., Lamb, J., Randall G., Rehm, G., Schmitt, M. 2002. The nature of phosphorus in soils. University of Minnesota Extension Service.
5. Camacho, R., Malavolta, E., Guerrero-Alves, J., Camacho, T. 2002. Vegetative growth of grain sorghum in response to phosphorus nutrition. In Scientia Agricola, vol.59, n.4, Oct/Dec., Piracicada, Brazil.
6. Cavigelli, A. M., Thien, J. S. 2003. Phosphorus Bioavailability following incorporation of green manure crops. In Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 1186-1194.
7. Dalianis, C., Sooter, S., Christou, M. 1995. Sweet Sorghum (*Sorghum bicolour*(L) Moench) Biomass Prodyctivity, Sugar Yields and Ethanol Potential in Greece. In: Biomass for Energy, Agriculture and Industry. Proc. 8th EU Biomass Conference. Ed. Chartier, et al., Pergamon Press, Oxford, UK, pp: 622-628.
8. Dalianis, C., Christou, M., Sooter, S., Kyritsis, S., Zafiris, Ch., Samiotakis, G. 1994. Growth and Productivity of Sweet Sorghum in Greece. In: Biomass for Energy and Industry. Proc. 7th EU Biomass Conference.Ed. Hall et al., Ponte Press, Bochum, Germany, pp: 636-642.
9. Dalianis, D.C. 1996. Adaptation, productivity and agronomic aspects of sweet sorghum under EU conditions. In: Proceedings of First European Seminar on Sorghum for Energy and Industry, Toulouse, France- April 1-3. Ed. Institut National de la Recherche Agronomique, France, pp: 15-25.
10. Dercas, N., Kavadakis, G., Nikolaou, A. 2000. Evaluation of productivity, water and radiation use efficiency of two sweet sorghum varieties under Greek conditions. In: 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 5-9 June 2000, pp: 1654-1657.
11. Doggett, H and Joweett D., Yields of maize,sorghum varieties and sorghum hybrids in the cast African lowlands.J. Agric. Sci ,1996,pp:67,31-40.
12. Gerik, T., Bean, W.B., Vanderlip, R. 2003. Sorghum Growth and Development, Texas cooperative. Extension Service. August 2003.
13. Hall, D., Woods, J. 1996. Environment: an agricultural point of view for sweet sorghum production. In: Proceedings of First European Seminar on Sorghum for Energy and Industry, Toulouse, France- April 1-3. Ed. Institut National de la Recherche Agronomique, France, pp: 58-63.
14. Joji, J., Okada, K.N., Johansen, C. 1990. Improvement of soil productivity through legume-based cropping systems in India alfisols and vertisols under semi-acid environments in soil constraints on sustainable plant. Production in the Tropics. Tropical Agriculture Research Series. Japan.

15. Jones A.C. 1983. A survey of the variability in tissue nitrogen and phosphorus concentrations in maize and grain sorghum. Field Crops Research, 6: 133-147.
16. Kamprath, J.E., Beegle, B. D., Fixen, E.P., Hodges, C.S., Joern, C.B., Mallarino, P.O. A., Miller, O.R., Sims, T.J., Ward, D., Wolf, M.A. 2000. Relevance of Soil Testing to Agriculture and the Environment. Issue Paper, Number 15, June 2000.
17. Kavadakis, G., Nikolaou, A., Panoutsou, C., Danalatos, N. 2000. The effect of two irrigation and three fertigation rates on the growth and productivity of two sweet sorghum cultivars, in central Greece. In: 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 5-9 June 2000, pp: 1737-1740.
18. Killham, K. 1995. Soil ecology, Press Cambridge University, pp: 157-166.
19. Lemaire, G. and Chartier, M. 1996. Productivity models of sorghum crops. In: 1st European Seminar on Sorghum for Energy and Industry, Toulouse, France, April 1-3, pp: 42-46.
20. Lockman, B.R.1972. Mineral composition of grain sorghum plant samples, Part III: Suggested nutrient sufficiency limits at various stages of growth. Soil Science and Plant Analysis, 3: 295-303.
21. Medeiros, A.B.C., Clark, B.R., Ellis, R.J. 1994. Growth and nutrient uptake of sorghum cultivated with vesicular-arbuscular mycorrhiza isolates at varying pH, Vol. 4, Issue 5, pp: 185-191. Springer-verlag, Berlin Heidelberg.
22. Mengel, K., Kirkby, A.E. 1978. Principles of plant nutrition.Ed.International Potash Institute, Worblaufen-Bern, Switzerland.
23. Miller, B.L., Parker, B.D., Sweeten, M.J., Robinson, C. 1999. Response of Seven Crops and two Soils toApplication of Beef Cattle Feedyard Effluent. Ανάκτηση από http://www.wtamu.edu/research/feedlot, 6/2/2006.
24. Miller, B.L. 1999. A Greenhouse Study of Land Application of Cattle Feedlot Effluent. Ανάκτηση από http://www.wtamu.edu/research/feedlot, 6/2/2006.
25. Miller, W.R., Donahue, L.R. 1990. Soils an introduction to soils and plant growth. Ed. Prentice-Hall International, pp: 250-260.
26. Mullins, G. 2001. Phosphorus, Agriculture & the Environment. Virginia Cooperative Extension, Number 424-029. Virginia State University.
27. Myers, R.G.K., Foale, M.A., Smith, F.W., Ratcliff, D. 1987. Tissue Concentration of Nitrogen and Phosphorus in Grain Sorghum. Field Crops Res., 17: 289-303.
28. Ortas, I., Rowell, D.L., Haris. P.J. 2004. Effects of mycorrhizae and pH change at the root-soil interface on phosphorus uptake by sorghumusing a rhizocylinder technique. In: Communications in Soil Science and Plant Analusis. 35 (7-8): 1061-1080.
29. Osonubi O.1994. Comparative effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilization on growth and phosphorus uptake of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolour* L.) plants under drought-stressed conditions. In: Biology and Fertility of Soils, 18 (1): 55-59.
30. Randall, G., Mulla, D., Rehm, G., Busman, L., Lamb, j., Schmitt, M. 2002. Phosphorus transport to and availability in surface waters. University of Minnesota Extension Service.
31. Rego, T.J., Nageswara Rao, V., Seeling, B., Pardhasaradhi, B., Kumar Rao, J.V.D.K. 2002. Nutrient balances – a guide to improving sorghum- and groundnut- based dryland cropping systems in semi-arid tropical India. In: Field Crops Research 81: 53-68.

32. Rehm, G., Lamb, J., Schmitt, M., Randall, G., Busman, L. 2002.Agronomic and Environmental Management of Phosphorus. University of Minnesota Extension Service.
33. Schachtman, P.D., Reid, J.R., Ayling, M.S. 1998. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. In: Plant Physiology, 116: 447-453.
34. Sharpley, N.A., Robinson, S.J., Smith, J.S. 1995. Bioavailable phosphorus dynamics in agricultural soil and effects on water quality. In: Geoderma 67: 1-15.
35. Standard Methods for Water and Wastewater. 1995. pp: 420-421.
36. The Analysis of Agricultural Materials, Replaces Technical Bulletin 27, ADAS, pp: 8-11, 156-157.
37. Valentine, J.A. and Cramer, 2001, D.M. Respiratory metabolism of rhizosphere dissolved inorganic carbon in arbuscular mycorrhizal roots under P starvation. University of Stellenbosch, South Africa.
38. Vanderlip, R.L. 1993. How a sorghum plant develops. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Servise, Publication S- 3, January.
39. Wawkins, H.J., George, E. 1997. Hydroponic culture of the mykorrhizal fungus Glomus *mosseae With Linum usitatissimum(L.), Sorghum bicolor (L.) and Triticum* aestivum (L.). Plant Soil 196:143-149.
40. Wiedenfeld, P.r. 1984. Nutrient Requirements and Use Efficiency by Sweet Sorghum. Energy in Agriculture, 3: 49-59.

Ελληνικές αναφορές

1. Αλιφραγκής, Δ.Α. & Παπαμίχος, Ν.Θ. 1995. Περιγραφή – Δειγματοληψία, Εργαστηριακές Αναλύσεις Δασικών Εδαφών και Φυτικών Ιστών. Εκδόσεις Δεδούση, Θεσσαλονίκη.
2. Άλκιμος, Α. 1990. Βιοκαλλιέργειες χωρίς χημικά λιπάσματα, φυτοφάρμακα & ορμόνες. Εκδόσεις Ψυχαλού. Αθήνα.
3. Αναλογίδης, Δ. 2000. Έδαφος, θρεπτικά στοιχεία και φυτική παραγωγή. Εκδόσεις Αγρότυπος α.ε., Αθήνα, σελ.: 243-300.
4. Δαλιάνης, Δ.Κ. 1999. Ανοιξιάτικα Σιτηρά. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.,σελ:312-319.
5. Θεριός, Ν.Ι. 1996. Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. Εκδόσεις Δεδούση, Θεσσαλονίκη.
6. Καβαδάκης, Γ., Νικολάου, Α., Αλεξοπούλου, Ε., Νατιώτη, Ε., Μήτσιου, Χ., Πανούτσου, Κ., Δαναλάτος, Ν. 2000. Ανάπτυξη και παραγωγικότητα βιομάζας και σακχάρων καλλιέργειας γλυκού σόργου (cv. Keller), στην κεντρική Ελλάδα. 2° Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής μηχανικής, 28-30 Σεπτεμβρίου, 2000, Εταιρία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, σελ.: 205-212.
7. Καραμάνος, Ι.Α. 1999. Τα Σιτηρά των Θερμών Κλιμάτων. Αραβόσιτος – Σόργο – Ρύζι – Κεχρί. Εκδόσεις Παπαζήση. Αθήνα.,σελ:202,218-221.
8. Καραταγλής Σ. Στυλιανός, Σεπτέμβριος 1999. Φυσιολογία φυτών. Τρίτη έκδοση. Εκδόσεις ART OF TEXT γραφικές τέχνες Α.Ε. Θεσσαλονίκη,σελ:141-147,151-153.
9. Κουκουλάκης, Π.Χ. & Παπαδόπουλος, Α.Η. 2003. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα, σελ.: 22-23, 33-34 και 49-59.
10. Μαυρογιαννόπουλος, Γ. 1994. Υδροπονικές Καλλιέργειες και Θρεπτικά Διαλύματα, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα, σελ.: 35-38.
11. Νικολάου, Α., Νάματοβ, Ε., Καβαδάκης, Γ., Τσιώτας, Κ., Πανούτσου, Κ., Δαναλάτος, Ν. 2000. Αξιολόγηση της ανάπτυξης και παραγωγικότητας οκτώ γενοτύπων σόργου για την παραγωγή βιομάζας και ενέργειας. 2° Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής μηχανικής, 28-30 Σεπτεμβρίου, 2000, Εταιρία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, σελ.: 197-204.
12. Παπαστεργιάδου, Σ.Ε. 1990. Φυτοκοινωνιολογική και οικολογική μελέτη των υδρόβιων μακρόφυτων (υδρόφυτων), στη βόρεια Ελλάδα. Διδακτορική Διατριβή. Θεσσαλονίκη. Σελ.: 203-205.
13. Σιδηράς, Κ.Ν. 1997. Οργανική λίπανση και αμειψισπορές. Εκδόσεις ΔΗΩ, Αθήνα.
14. Σιδηράς, Κ.Ν. 2005. Βιολογική γεωργία. Φυτική Παραγωγή. Εκδόσεις ΔΗΩ, Αθήνα.
15. Τσαπικούνης, Φ. 1997. Θρέψη – Λίπανση των φυτών. Μέρος Β΄, Πρόσληψη – Κινητικότητα –Συμπτώματα – Ρόλος. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα, σελ., 22-23.
16. Τσιτσίας, Κ. 1997. Λιπασματολογία, ΟΕΔΒ. Αθήνα.
17. Τσιτσίας, Κ. 1996. Εδαφολογία, ΟΕΔΒ. Αθήνα.

Δικτυακές πηγές

1. http://ape.chania.teicrete.gr/ape/biomass/biomass/main-biomass.htm
2. www.cres.gr/kape/energeia-politis/energeia-politis-biomass.htm
3. www.nplilippopoulos.gr
4. http://www.mvd.gr/index.php
5. www.cres.gr/kape/energeia-politis/energeia-politis-biomass-kalier.htm
6. http://www.agrotypos.gr/1synedrio/synedries/synedrio1.asp
7. http://www.agrotypos.gr/default.asp
8. http://www.agr.uoc.edu/users/
9. users.att.sch.gr/xtsamis/biomass.htm

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ