

GEOTECHNICAL SCIENTIFIC ISSUES

GEOTECHNICAL CHAMBER OF GREECE

VOL: 13 - ISSUE I - No 2/2002

ISSN 1105-9478

2/2002

ΤΟΜΟΣ 13
ΣΕΙΡΑ I

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

GEOTECHNICAL SCIENTIFIC ISSUES

GEOTECHNICAL CHAMBER OF GREECE

VOL: 13 - ISSUE I - No 2/2002

ISSN 1105-9478

2/2002

ΤΟΜΟΣ 13
ΣΕΙΡΑ I

**ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ
ΘΕΜΑΤΑ**

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

CONTENTS

SCIENTIFIC PAPERS

<i>Menelaos Zioganas, Anastasios Semos</i>	INTRA - INDUSTRY TRADE ANALYSIS The case of Greek oranges	4-9
<i>A.G. Kanakis, G.G. Henshaw</i>	<i>In vitro</i> adventitious organogenesis in sweet pepper (<i>Capsicum annuum</i> L) I. Some factors affecting the process II. Histological and morphological changes	10-30
<i>Christos G. Karydas, Nikolaos G. Silleos</i>	Development of spectral models for estimation of a wheat crop biomass and canopy cover percentage, using ground remote sensing	31-41
<i>N. K. Moustakas, K. S. Kosmas</i>	Potentially mineralizable nitrogen (No) and pedotransfer functions to predict it, in alluvial soils in Western Greece	42-51
<i>Efstathios Tamoutsidis, Ioannis Tokatlidis, Ioannis Tsialtas, Konstantinos Tzalis</i>	Distribution of micronutrients Mn, Fe, Zn in plant sections of bread wheat	52-56

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Μενέλαος Ζιωγάνας, Αναστάσιος Σέμος	ΕΝΔΟΚΛΑΔΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΕΜΠΟΡΙΟΥ Η περίπτωση των ελληνικών πορτοκαλιών	4-9
Α.Γ. Κανάκης, G.G Henshaw	<i>In vitro</i> επίκτητη οργανογένεση στην πιπεριά (<i>Capsicum annuum</i> L.) I. Επίδραση μερικών παραγόντων και II. Ιστολογικές και μορφολογικές μεταβολές	10-30
Χρήστος Γ. Καρυδάς, Νικόλαος Γ. Συλλαίος	Ανάπτυξη φασματικών μοντέλων φυτομάζας και φυτοκάλυψης σίτου, με επίγεια τηλεπισκόπηση	31-41
Νικ. Κ. Μουστάκας, Κων. Σ. Κοσμάς	Δυναμικώς ανοργανοποιούμενο άζωτο (No) και εδαφосуναρτήσεις υπολογισμού του σε αλλουβιακές αποθέσεις της Δυτικής Ελλάδος	42-51
Ευστάθιος Ταμουτσίδης, Ιωάννης Τοκατλίδης, Ιωάννης Τσιάλτας, Κωνσταντίνος Τζάλης	Κατανομή των ιχνοστοιχείων Mn, Fe, Zn στα υπέργεια τμήματα φυτών μαλακού σίτου	52-56

ΕΝΔΟΚΛΑΔΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΕΜΠΟΡΙΟΥ

Η περίπτωση των ελληνικών πορτοκαλιών

Μενέλαος Ζιωγάνας¹ και Αναστάσιος Σέμος²

Περίληψη⁺

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια ανάλυσης του εμπορίου των αγροτικών προϊόντων και μελετήθηκε η περίπτωση του εξωτερικού εμπορίου των πορτοκαλιών. Εκτιμήθηκαν οι δείκτες Grubel - Lloyd, Κάλυψης Εισαγωγών και Εισαγωγικής Διείσδυσης του εμπορίου πορτοκαλιών ώστε να διαπιστωθεί το είδος και ο χαρακτήρας του εμπορίου αυτού.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το εξωτερικό εμπόριο των ελληνικών πορτοκαλιών χαρακτηρίζεται ως διακλαδικό εμπόριο παραδοσιακής μορφής και με καθαρά εξαγωγικό προσανατολισμό με πολύ μεγάλη υπεροχή των εξαγωγών έναντι των εισαγωγών. Οι δυνάμεις που διαμορφώνουν το εμπόριο είναι κυρίως η διαθεσιμότητα των ευνοϊκών παραγωγικών συντελεστών στην παραγωγή των πορτοκαλιών. Η χώρα παράγει αυτό το αγροτικό προϊόν, όχι για να καλύψει τη ζήτηση της εσωτερικής κατανάλωσης, αλλά κυρίως την ικανοποίηση των εξαγωγών.

Λέξεις κλειδιά: Εξωτερικό εμπόριο πορτοκαλιών, Δείκτες χαρακτηρισμού του εμπορίου, ενδοκλαδικό και διακλαδικό εμπόριο.

Εισαγωγή

Τα ελληνικά εσπεριδοειδή (πορτοκάλια, λεμόνια, μανταρίνια, γκρέϊπ-φρουτ κ.ά.) καλλιεργούνται κυρίως (κατά 94,5% του συνόλου της χώρας) σε περιοχές των νομών Άρτας, Αργολίδας, Λακωνίας και Χανίων. Τα πορτοκάλια καλύπτουν περίπου το 65% σε έκταση και το 80% σε παραγωγή του συνόλου των εσπεριδοειδών.

Η καλλιέργεια της πορτοκαλιάς αποτελεί μια δυναμική δραστηριότητα της ελληνικής γεωργίας, αφού η αξία της παραγωγής συμμετέχει με 2% στο ακαθάριστο εγχώριο γεωργικό προϊόν και αποτελεί σημαντική πηγή συναλλάγματος από τις εξαγωγές πορτοκαλιών (πάνω από 15 δις δρχ. ετησίως). Πιο συγκεκριμένα, σε ετήσια βάση τα πορτοκάλια αποτελούν το μεγαλύτερο όγκο της παραγωγής (1.000.000 τόνους περίπου) και εξαγωγών (300.000 τόνους περίπου). (Πίνακας Ι, Παράρτημα).

Ο μεγαλύτερος όγκος των εξαγωγών των ελληνικών πορτοκαλιών κατευθύνεται προς τρίτες χώρες εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και μάλιστα σε εκείνες με κατευθυνόμενη οικονομία. Δύο είναι κυρίως τα κανάλια διάθεσης της παραγωγής πορτοκαλιών, η εξωτερική αγορά και η εσωτερική αγορά. Για την διάθεση στην εξωτερική αγορά εφαρμόζεται υποχρεωτικά η τυποποίηση με βάση την Κοινοτική νομοθεσία για την ύπαρξη διαφάνειας. Κανένα άλλο μέτρο δεν προβλέπεται για χάραξη εξαγωγικής πολιτικής τόσο σε επίπεδο θεσμών όσο και σε επίπεδο πολιτικής προώθησης των εξαγωγών. Υπάρχουν 200 περίπου εξαγωγικοί φορείς, οι οποίοι δραστηριοποιούνται στο εξωτερικό εμπόριο των πορτοκαλιών αυτόνομα και ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο. Οι εξαγωγές πορτοκαλιών από χώρες της Μεσογείου φθάνουν τα 2,6 εκατ. τόνους περίπου ετησίως. Η μεγαλύτερη εξαγωγική χώρα είναι η Ισπανία, η οποία εξάγει περίπου το 55% του συνόλου των Μεσογειακών χωρών, ενώ ακολουθούν σε εξαγωγές το Μαρόκο (11%), η Ελλάδα (8%), η Τουρκία (7%), το Ισραήλ (5%) κ.ά. χώρες. Τελευταία οι ποικιλίες Navel και Shamouti έχουν παραχωρήσει μερίδιο αγοράς στις όψιμες ποικιλίες, με αποτέλεσμα η εξαγωγική περίοδος να έχει επιμηκυνθεί τουλάχιστο κατά δύο μήνες.

Την εξέλιξη των εξαγωγών των ελληνικών πορτοκαλιών προς τη Δυτική Ευρώπη και την Κεντρική και

¹ Γεωπόνος – Γεωργοοικονομολόγος, Υποψήφιος Διδάκτωρ, Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ., Τ.Θ. 232 - 540 06 Θεσσαλονίκη

² Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ., Τ.Θ. 232 - 540 06 Θεσσαλονίκη, Τηλ 998817, fax 998828, E-mail : semos@agro.auth.gr

+ (JEL F14, F15, F17)

Ανατολική Ευρώπη παρουσιάζει ο πίνακας II του παραρτήματος, κατά την περίοδο 1989 έως 1999. Παρά το γεγονός ότι η Δυτικοευρωπαϊκή αγορά αποτελεί τον καλύτερο πελάτη πορτοκαλιών σε παγκόσμια κλίμακα και απορροφά πάνω από το 70% της Μεσογειακής παραγωγής, εν τούτοις η Ελλάδα δεν μπορεί να την προσεγγίσει με ευκολία, λόγω της γεωγραφικής της θέσης έναντι των αγορών αυτών αλλά κυρίως διότι παρουσιάζει σημαντικές δομικές αδυναμίες στην οργάνωση των εξαγωγών (Σέμος, 1996). Απεναντίας, οι ελληνικές εξαγωγές είχαν μια βαθμιαία άνοδο προς τις χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης και έτσι στο σύνολό τους εξελίχθηκαν ευνοϊκά (Μαγκανάρη, 1996, Σαρρή κ.ά, 1996).

Ήδη από την εφαρμογή της ΚΑΠ στις χώρες της Ε.Ε. προέκυψε η κατάργηση του ελέγχου και του περιορισμού στο εμπόριο, μολοντί προϋπήρξε μια περίοδος προσαρμογής για ορισμένα προϊόντα. Έτσι, παρόλο που η χώρα μας είναι πλεονασματική σε πορτοκάλια, εντούτοις εισάγει κάποιες ποσότητες είτε από τις χώρες-εταίρους της ΕΕ είτε από τις γύρω Μεσογειακές χώρες, με τις οποίες η ΕΕ συνήψε προτιμησιακές εμπορικές σχέσεις.

Στην παρούσα ερευνητική εργασία γίνεται μια προσπάθεια ανάλυσης του εμπορίου ενός αγροτικού προϊόντος, για να διαπιστωθεί ο χαρακτήρας του (ενδοκλαδικό - διακλαδικό), που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι τα πορτοκάλια. Η επιλογή έγινε τυχαία, για να δείχθει ο τρόπος χαρακτηρισμού του εμπορίου μιας και οι κανονισμοί της ΕΕ αλλά και οι συμφωνίες της GATT επιτρέπουν την ελεύθερη διακίνηση των αγροτικών προϊόντων. Για την ανάλυση αυτή χρησιμοποιούνται δείκτες που δείχνουν τη θέση και το ρόλο των εξαγωγών του προϊόντος στο ενδοκοινοτικό εμπόριο της χώρας μας. Η περίοδος που καλύπτεται είναι αυτή της τελευταίας δεκαετίας (1989-1999). Ωστόσο, η εξέταση των εμπορικών δομών (με ειδικούς δείκτες) σε σχέση με τις κύριες ανταγωνίστριες χώρες έχει γίνει σε άλλη εργασία (Ζιωγάνας και Σέμος, 2000), αλλά η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη του ενδοκλαδικού - διακλαδικού εμπορίου, δηλαδή στη μελέτη των εξαγωγών και εισαγωγών ενός μόνο προϊόντος.

Ενδοκλαδική ανάλυση του εμπορίου

Είναι γνωστό ότι μια ολοκληρωμένη ανάλυση εξαγωγικών δομών θα πρέπει να έχει πληροφορίες σχετικά με τις δυνάμεις που διαμορφώνουν το εμπόριο μεταξύ δύο κρατών για ένα συγκεκριμένο προϊόν *i*. Είναι δηλαδή απαραίτητο να γνωρίζουμε ποιες είναι οι βασικές δυνάμεις που προσδιορίζουν και διαμορφώνουν το εμπόριο μεταξύ της Ελλάδας και των χωρών της ΕΕ.

Δύο είναι κυρίως οι περιπτώσεις: α) Το εμπόριο διαμορφώνεται από τις διαφορές που υπάρχουν στις ποσότητες των συντελεστών παραγωγής που διαθέτει κάθε πλευρά. Στην περίπτωση αυτή η δημιουργία του εμπορίου ερμηνεύεται με το θεώρημα των Heckscher-Ohlin (Heckscher-Ohlin trade model) και φυσικά γίνεται λόγος για διακλαδικό εμπόριο, η μελέτη του οποίου βασίζεται σε μια σειρά από υποθέσεις (Södersten, 1985). Στο διακλαδικό εμπόριο γίνονται ανταλλαγές διαφορετικών προϊόντων. β) Το εμπόριο είναι αποτέλεσμα τεχνολογικής έρευνας και οικονομιών κλίμακας, οπότε κυριαρχεί η θεωρητική προσέγγιση του W. Leontief (1953). Στην περίπτωση αυτή έχουμε ενδοκλαδικό εμπόριο, δηλαδή οι εμπορικές ανταλλαγές αφορούν ίδιο ή ομοειδή προϊόντα. Θεωρητικά, σύμφωνα πάντοτε με τη θεωρητική προσέγγιση του W. Leontief, το μέγεθος του ενδοκλαδικού εμπορίου εξαρτάται θετικά από το μέγεθος της αγοράς, την ομοιότητα του επιπέδου ανάπτυξης, το κατά κεφαλήν εισόδημα, το βαθμό ολοκλήρωσης, την ομοιότητα της δασμολογικής και μη δασμολογικής προστασίας και την ομοιότητα της οριζόντιας εξειδίκευσης μεταξύ των δύο μερών. Οι παραπάνω περιπτώσεις μπορούν να διερευνηθούν με τη βοήθεια υποδειγμάτων (εξισώσεων) και την εκτίμηση δεικτών* (Ζιωγάνας και Σέμος, 2000), οι οποίοι περιγράφουν τις συνθήκες εμπορίου του συγκεκριμένου προϊόντος. Επιπλέον, η εξέταση της έκτασης του ενδοκλαδικού ή διακλαδικού εμπορίου ενός προϊόντος μιας χώρας δίνει απαντήσεις για τη διαφοροποίηση των εξαγωγών του προϊόντος αυτού προς μια συγκεκριμένη χώρα και σίγουρα σχετίζεται με την ενδοκλαδική ή την διακλαδική μορφή του εμπορίου (Keesing, 1967). Δηλαδή, μια χώρα επικεντρώνει τις εξαγωγές ενός προϊόντος της σε συγκεκριμένη χώρα είτε γιατί οι εμπορικοί δεσμοί είναι ισχυροί (διακλαδικό εμπόριο) είτε γιατί λόγω του συγκριτικού πλεονεκτήματος που διαθέτει αναπτύσσεται μία μορφή ενδοκλαδικού εμπορίου.

* (κυρίως συγκεντρωτικότητας, ομοιότητας και αποκαλυμμένου συγκριτικού πλεονεκτήματος)

Η ανάλυση του ενδοκλαδικού εμπορίου, δηλαδή του εμπορίου ενός μόνο προϊόντος, γίνεται με τη βοήθεια του δείκτη Grubel - Lloyd (1975). Ο δείκτης αυτός ορίζεται από παραμέτρους των εξαγωγών και εισαγωγών και έχει την παρακάτω μαθηματική έκφραση :

$$B_i = \frac{(X_i + M_i) - |X_i - M_i|}{(X_i + M_i)} \quad (1)$$

όπου:

X_i Οι εξαγωγές (όγκος) ενός προϊόντος i σε συγκεκριμένη αγορά.

M_i Οι εισαγωγές (όγκος) του προϊόντος i από συγκεκριμένη αγορά.

Οι τιμές του δείκτη B_i κυμαίνονται μεταξύ 1 και 0. Για μεγίστη τιμή $B_i = 1$, οι εξαγωγές ενός κλάδου είναι ίσες με τις εισαγωγές, δηλαδή το εμπόριο είναι ενδοκλαδικό. Αντίθετα, όταν έχουμε την ελάχιστη τιμή $B_i = 0$, δηλαδή όταν οι εξαγωγές ή οι εισαγωγές είναι ανύπαρκτες, τότε το εμπόριο είναι ανομοιογενές και έχουμε τελείως διακλαδικό εμπόριο. Όσο μεγαλύτερες είναι οι εξαγωγές ή οι εισαγωγές τόσο το $B_i \rightarrow 0$, γεγονός που σημαίνει ότι το εμπόριο εξηγείται καλύτερα από τις παραδοσιακές μορφές εμπορίου.

Ένα μειονέκτημα του υπολογισμού του ανωτέρω δείκτη με την εξίσωση (1) είναι πως οι προστατευτικές πολιτικές μπορούν να παραμορφώσουν τα αποτελέσματα. Η εργασία όμως αναφέρεται σε χώρες που ισχύουν, σε μεγάλο βαθμό, τα ίδια μέτρα πολιτικής για το εμπόριο. Ο δείκτης Grubel - Lloyd μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για το σύνολο των κλάδων του εμπορίου μιας χώρας, οπότε παίρνει τη μορφή:

$$\sum B_i = \frac{\sum [(X_i + M_i) - |X_i - M_i|]}{\sum X_i + M_i} \quad (1^a)$$

Παράλληλα με τον παραπάνω δείκτη Grubel - Lloyd, χρησιμοποιήθηκαν και οι δείκτες *Κάλυψης Εισαγωγών* (K_x) και *Εισαγωγικής Διείδυσης* (Δ_μ) (Βλάχος και Πατοής, 1998).

Δείκτης Κάλυψης Εισαγωγών (K_x). Ο δείκτης αυτός αναφέρεται στο λόγο της αξίας των εξαγωγών VX_i προς την αξία των εισαγωγών VM_i , δηλαδή μαθηματικά εκφράζεται :

$$K_x = \frac{VX_i}{VM_i} \quad (2)$$

Ο δείκτης αυτός δείχνει το μέρος της αξίας των εξαγωγών που απορροφάται από την αξία των εισαγωγών. Δηλαδή, στο διακλαδικό εμπόριο η αξία των εξαγωγών καλύπτει μέρος ή υπερκαλύπτει την αξία των εισαγωγών. Όσο η κάλυψη των εισαγωγών είναι μεγαλύτερη τόσο περισσότερο η χώρα προσανατολίζεται στην παραγωγή του προϊόντος για εξαγωγή παρά για να καλύψει τις εγχώριες ανάγκες κατανάλωσης.

Δείκτης Εισαγωγικής Διείδυσης (Δ_μ). Ο δείκτης αυτός είναι ο λόγος της αξίας των εισαγωγών VM_i προς την αξία του συνόλου του εμπορίου (εισαγωγών και εξαγωγών) $(VM_i + VX_i)$ του προϊόντος. Η μαθηματική έκφραση του δείκτη είναι :

$$\Delta_\mu = \frac{VM_i}{(VM_i + VX_i)} \quad (3)$$

Η σημασία του δείκτη αυτού έγκειται στο γεγονός ότι δείχνει το ποσοστό της αξίας των εισαγωγών στο συνολικό εμπόριο του συγκεκριμένου προϊόντος και κατ'επέκταση χαρακτηρίζει τη χώρα εάν για το συγκεκριμένο προϊόν είναι καθαρά εισαγωγική ή εξαγωγική ή έχει ισοσκελισμένο εμπορικό ισοζύγιο. Ο δείκτης εισαγωγικής διείδυσης Δ_μ παίρνει τιμές από μηδέν, όταν το προϊόν έχει καθαρά εξαγωγικό χαρακτήρα, έως ένα, όταν το προϊόν εισάγεται αποκλειστικά. Ενώ όταν η τιμή του πλησιάζει στο 0,5, τότε έχουμε ισορροπία, ενώ το ισοζύγιο του εμπορίου πρέπει να τείνει στο μηδέν.

Δεδομένα και αποτελέσματα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα ανάλυση είναι ετήσια στοιχεία εξαγωγών και εισαγωγών, καθώς και η αξία αυτών σε δολάρια Αμερικής, για την περίοδο 1989 - 1999 με τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Πίνακας II του παραρτήματος). Με τα στοιχεία αυτά υπολογίστηκαν ο δείκτης Grubel

- Lloyd, ο δείκτης Κάλυψης Εισαγωγών και ο δείκτης Εισαγωγικής Διείδυσης. Τα μεγέθη αυτών των δεικτών ανά έτος παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Όπως φαίνεται από την δεύτερη στήλη του πίνακα 1, οι τιμές του δείκτη Grubel - Lloyd (B_L) είναι πολύ

Πίνακας 1. Δείκτες Grubel - Lloyd, Κάλυψης Εισαγωγών και Εισαγωγικής Διείδυσης του εμπορίου πορτοκαλιών (1989 - 1999).

Έτος	Δείκτης Grubel - Lloyd (B_L)	Δείκτης Κάλυψης Εισαγωγών (K_X)	Δείκτης Εισαγωγικής Διείδυσης (Δ_μ)
1989	0,069	27,92	0,035
1990	0,043	75,99	0,013
1991	0,045	30,13	0,032
1992	0,042	41,81	0,023
1993	0,051	187,63	0,005
1994	0,546	1,58	0,387
1995	0,132	12,57	0,074
1996	0,138	10,48	0,087
1997	0,034	42,78	0,023
1998	0,093	20,53	0,046
1999	0,055	35,31	0,027

μικρές και σε πολλές περιπτώσεις τείνουν προς το μηδέν. Αυτό σημαίνει δύο πράγματα. Πρώτον, ότι το εμπόριο των πορτοκαλιών είναι ανομοιογενές, δηλαδή οι εισαγωγές είναι πολύ μικρές σε σχέση με τις εξαγωγές οπότε έχουμε διακλαδικό εμπόριο και όχι ενδοκλαδικό.

Δεύτερον, το εμπόριο εξηγείται με τις παραδοσιακές μορφές εμπορίου, δηλαδή η χώρα μας παράγει και εξάγει πορτοκάλια λόγω των ευνοϊκών συνθηκών που διαθέτει και όχι λόγω υπεροχής της τεχνολογικής προόδου.

Στη τρίτη στήλη του ίδιου πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του δείκτη Κάλυψης Εισαγωγών. Οι τιμές του δείκτη αυτού είναι, όπως άλλωστε αναμενόταν, πολύ υψηλές που σημαίνει ότι η παραγωγός χώρα (η Ελλάδα) προσανατολίζεται στην παραγωγή του προϊόντος όχι να καλύψει την εγχώρια κατανάλωση αλλά να αυξήσει τις εξαγωγές της.

Τέλος, η τέταρτη στήλη του πίνακα 1 παρουσιάζει τις τιμές του δείκτη εισαγωγικής διείδυσης. Οι τιμές αυτές είναι πολύ μικρές και τείνουν ουσιαστικά στο μηδέν. Αυτό σημαίνει ότι το προϊόν έχει καθαρά εξαγωγικό χαρακτήρα. Ακόμη, οι πολύ μικρές τιμές του δείκτη αυτού φανερώνουν ότι το εμπορικό ισοζύγιο των πορτοκαλιών για τη χώρα μας είναι θετικό και πολύ ευνοϊκό.

Συμπεράσματα και προτάσεις πολιτικής

Η μέτρηση των δεικτών Grubel - Lloyd, Κάλυψης Εισαγωγών και Εισαγωγικής Διείδυσης του εμπορίου πορτοκαλιών στηρίχθηκε σε δεδομένα της περιόδου της τελευταίας δεκαετίας. Σκοπός της μέτρησης αυτής ήταν ο καθορισμός του χαρακτήρα του εμπορίου των πορτοκαλιών, μιας και η περίοδος αυτή συμπίπτει με την απελευθέρωση του εμπορίου είτε μέσω των συμφωνιών της GATT είτε μέσω των εμπορικών κανόνων και συμφωνιών της ΕΕ. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι:

- 1) Το εξωτερικό εμπόριο των πορτοκαλιών για την Ελλάδα με τις χώρες της ΕΕ είναι διακλαδικό και όχι ενδοκλαδικό.
- 2) Η χώρα μας παράγει και εξάγει πορτοκάλια λόγω των ευνοϊκών συνθηκών παραγωγής που διαθέτει.
- 3) Η παραγωγή είναι προσανατολισμένη στο εξαγωγικό εμπόριο περισσότερο παρά στην ικανοποίηση εσωτερικών αναγκών.

Από τα αποτελέσματα φαίνεται επίσης ότι, παρόλο που οι συνθήκες του διεθνούς εμπορίου επιτρέπουν την διείδυση ξένων πορτοκαλιών στην ελληνική αγορά, η χώρα μας εξακολουθεί να είναι σχεδόν αμιγώς εξαγωγική χώρα στον κλάδο των πορτοκαλιών. Αυτό το γεγονός επιτρέπει να γίνουν δύο προτάσεις για το

εμπόριο των πορτοκαλιών. Πρώτον, η καλή επίδοση στις συνολικές εξαγωγές των πορτοκαλιών πρέπει να γίνει πράξη και στις εξαγωγές πορτοκαλιών και στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η εφαρμογή των ποιοτικών κανόνων της ΕΕ και η παράκαμψη των εμποδίων και των δυσκολιών που δημιουργούνται από την απόσταση της χώρας μας από τις αγορές της ΕΕ με κατάλληλες πολιτικές θα συμβάλει θετικά προς την κατεύθυνση αυτή. Δεύτερον, αφού η Ελλάδα είναι μία από τις χώρες που διαθέτουν συγκριτικό πλεονέκτημα στην παραγωγή φρούτων και ιδιαίτερα πορτοκαλιών και διατηρεί για πολλά χρόνια κυρίαρχο ρόλο στις εξαγωγές, μπορεί να αυξήσει το μερίδιό της έναντι των ανταγωνιστριών της με ουσιαστικές παρεμβάσεις στην οργάνωση και το μάρκετινγκ των πορτοκαλιών, στοιχεία που αποδείχθηκαν πολύ αποδοτικά στην επίτευξη επικερδούς εμπορίου.

Τέλος, η ερμηνεία των αναλύσεων και των αποτελεσμάτων καθώς και των προτάσεων πρέπει πάντα να συνάγονται κάτω από περιορισμούς εφαρμογής τους.

INTRA - INDUSTRY TRADE ANALYSIS The case of Greek oranges

Menelaos Zioganas¹ and Anastasios Semos²

Abstract*

This paper deals with the intra-industry trade analysis using the case of Greek oranges external trade. In the analysis, the Grubel - Lloyd index, the Import Cover index and the index of Import Penetration are used. The results show that for the period 1989 - 1999 these indexes are not stable but are showing a significant fluctuation from year to year. The indexes are also showing that the external trade of Greek oranges is multi - industry trade form with great superiority of exports against imports. The factors that they form the external trade of Greek oranges are mainly the abundance of production factors. Greece is producing oranges not to satisfy the internal demand but mainly the exports.

Key words. External trade of oranges, Indexes of trade definition, Intra - industry and multi-industry trade.

Βιβλιογραφία

- Βλάχος και Η. Πατσής, Π., (1998), "Ποσοτική διερεύνηση της ανταγωνιστικότητας των ελληνικών αγροτικών προϊόντων", Πρακτικά 5^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Αγροτικής Οικονομίας Αθήνα.
- Ζιωγάνης, Μ. και Σέμος, Α. (2000), «Μια ανάλυση των εξαγωγών των ελληνικών πορτοκαλιών στη Γερμανία», *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*, Τόμ. 11, Σειρά VI, σ. 333-345.
- Grubel H.G., Lloyd P.J. (1975), "Intra-Industry Trade", London, MacMillan.
- Keesing, D.B., (1967), "The Impact of Research and Development on United States Trade", *Journal of Political Economy*, Vol.75.
- Μαγκανάρη, Φ. (1996), "Παραγωγή και Εμπορία Νωπών Εσπεριδοειδών", Έκδοση Ι.Ο.Β.Ε., Αθήνα.
- Leontief, W., (1953), "Domestic Production and Foreign Trade", *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 97, September 1953.
- Σαορής, Α., Μέργος, Γ. και Σάρρος, Π. (1996), "Η Συμφωνία του Γύρου της Ουρουγουάης για το Διεθνές Εμπόριο και οι Επιπτώσεις στην Ελληνική Γεωργία", Έκδοση Ι.Ο.Β.Ε. Ειδικές Μελέτες, Αθήνα.
- Σέμος, Α., (1996), Βελτίωση της ανταγωνιστικότητας των αγροτικών προϊόντων μας, ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΤΑΧΥΔΡΟΜΟΣ, Φ. 38 (2211) 19 Σεπτ. 1996.
- Södersten B. (1985), *International Economics*, Second Edition MACMILLAN, London.
- Σύνδεσμος Εξαγωγέων Βορείου Ελλάδος, ενημερωτικά δελτία (ετών 1988 - 96).
- FAO, FAOSTAT, "Database Gateway" (years 1992 - 96).

¹ *Agriculturist - Agroeconomist Postgraduate student in Department of Agricultural Economics of Aristotle University of Thessaloniki.*

² *Assistant Professor in Department of Agricultural Economics of Aristotle University of Thessaloniki*

* (JEL F14, F15, F17)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι. Εξέλιξη παραγωγής, εξαγωγών και εισαγωγών πορτοκαλιών(1989 - 99)

TABLE I. Evolution of production, exports and imports of oranges (1989-99)

Έτος Year	Παραγωγή σε τόνους Production in tones	Εξαγωγές σε τόνους Exports in tones	Αξία σε 1000 Δολ. Value in 1000\$	Εισαγωγές σε Τόνους Imports in tones	Αξία σε 1000 Δολ. Value in 1000\$
1989	932.300	187.994	54.924	2.663	1.276
1990	819.100	258.809	81.770	1801	677
1991	780.000	304.462	84.052	1866	1.289
1992	1.061.000	386.073	112.744	888	483
1993	870.000	420.934	92.963	46	38
1994	1.030.000	555.142	128.602	2.719	1.776
1995	900.000	357.220	72.235	1.370	774
1996	995.000	270.444	94.847	3.039	1.936
1997	1.000.000	349.438	110.871	1.059	709
1998	801.000	291.164	89.056	3.236	2.017
1999	1.118.000	263.922	86.848	1.750	1.081

Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας., FAO.6

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ. Εξέλιξη των εξαγωγών και εισαγωγών πορτοκαλιών προς και από την ΕΕ (1989 - 99)

TABLE II. Evolution of exports and imports of oranges to and from EE (1989-99)

Έτος Year	Εξαγωγές προς την ΕΕ σε τόνους Exports to EU in tones	Αξία σε 1000 Δολ. Value in 1000\$	Εισαγωγές από την ΕΕ σε τόνους Imports from EU in tones	Αξία σε 1000 Δολ. Value in 1000\$
1989	74.345	35.623	2.663	1.276
1990	82.150	51.448	1801	677
1991	80.200	38.834	1866	1.289
1992	41.703	20.193	888	483
1993	17.989	7.130	46	38
1994	7.242	2.805	2.719	1.776
1995	19.353	9.729	1.370	774
1996	40.964	20.281	3.039	1.936
1997	61.260	30.329	1.059	709
1998	66.430	41.406	3.236	2.017
1999	61.785	38.165	1.750	1.081

Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας., FAO.

In vitro επίκτητη οργανογένεση στην πιπεριά (*Capsicum annuum* L.)

I. Επίδραση μερικών παραγόντων και II. Ιστολογικές και μορφολογικές μεταβολές*

A.Γ. Κανάκης¹ και G.G Henshaw²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Έκφυτα κοτυληδόνων και υποκότυλων από ξηρούς σπόρους και από σπορόφυτα διαφόρων ποικιλιών πιπεριάς (*Capsicum annuum* L.) χρησιμοποιήθηκαν ως εργαλεία για τη μελέτη της μορφογενετικής τους συμπεριφοράς. Για το λόγο αυτό, τα ανωτέρω έκφυτα καλλιεργήθηκαν *in vitro* επί βασικού υποστρώματος Murashige και Skoog που περιείχε 100 mg l⁻¹ μυο-ινοσιτόλης και 3% (w/v) σακχαρόζης. Η παρουσία στο βασικό υπόστρωμα μίας κυτοκινίνης, όπως BAP, κινητίνης ή ζεατίνης, ως μόνης ορμόνης σε συγκεντρώσεις 1 έως 10 mg l⁻¹ ή η παρουσία BAP σε συνδυασμό με χαμηλή συγκέντρωση (< 1,75 mg l⁻¹) IAA, προκάλεσε την αναγένεση από τα έκφυτα αρχικώς οφθαλμών και αργότερα βλαστών σε μεγάλη συχνότητα. Η πορεία της αναγένεσης των επίκτητων (adventitious) οφθαλμών επηρεάστηκε σημαντικά από το βλαστικό στάδιο της πηγής-δότη των εκφύτων, από το γονότυπο και από την παρουσία στο υπόστρωμα των οξέων της καζαμίνης και του GA₃. Η παρουσία της GA₃ ως μόνης ορμόνης στο υπόστρωμα σε καμία περίπτωση δεν ευνόησε την αναγένεση οφθαλμών, όμως σε συνδυασμό με την κινητίνη BAP συνέβαλε στην ταχύτερη εξέλιξη των οφθαλμών σε βλαστούς. Έκφυτα κοτυληδόνων από σπορόφυτα ηλικίας περίπου 15 ημερών έχαναν κατά 40-50% την ικανότητά τους να παράγουν βλαστούς. Όμως μέρος της απωλεσθείσας βλαστογένεσης ανακτάτο σε έκφυτα κοτυληδόνων από σπορόφυτα ηλικίας 20 ημερών. Η βλαστογένεση μειώνεται με την ηλικία των *in vitro* καλλιεργειών. Γενικά οι “καυτερές” και οι “επιμηκείς-γλυκές” ποικιλίες πιπεριάς έδειξαν ισχυρότερη βλαστογένεση απ’ ό,τι οι ποικιλίες τύπου “μπανάνας” ή “φλάσκας” (κωδωνοειδείς).

Παρατηρήσεις με ερευνητικό μικροσκόπιο και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (ΗΜΣ) έδειξαν ότι:

- Οι επίκτητοι (adventitious) οφθαλμοί δημιουργούνται στην περιφέρεια της επιφάνειας των τομών των εκφύτων, από επιδερμικά ή υποεπιδερμικά κύτταρα της κοτυληδόνας.
- Ο αριθμός των αναγεννηθέντων οφθαλμών ανά έκφυτο έβαινε μειούμενος σταδιακά από τη μορφολογική βάση προς τη μορφολογική κορυφή του εκφύτου.
- Η επίκτητη βλαστογένεση έλαβε χώρα κατεξοχήν στην κάτω επιδερμίδα των εκφύτων κοτυληδόνων και κυρίως όταν αυτή εφάπτονταν του θρεπτικού υποστρώματος.
- Οι επίκτητοι βλαστοί παράχθηκαν απευθείας από τα κύτταρα του εκφύτου χωρίς τον ενδιάμεσο σχηματισμό ανοργάνωτου κάλου. Δηλαδή βλαστογένεση και καλογένεση ήταν ασυμβίβαστες μορφογενετικές εκφράσεις στο πρωτόκολλο της *in vitro* καλλιέργειας που χρησιμοποιήθηκε.

Λέξεις κλειδιά: *Capsicum annuum*, έκφυτα κοτυληδόνων και υποκότυλων, BAP, κινητίνη, ζεατίνη, GA₃, καζαμίνη, άνω - κάτω επιφάνεια εκφύτου, μορφολογική βάση - μορφολογική κορυφή εκφύτου, άμεση - επίκτητη οργανογένεση, ηλικία εκφύτου, ιστολογικές - μορφολογικές μεταβολές, συμμετρικές - ασύμμετρες κυτταρικές διαιρέσεις.

* Η παρούσα εργασία είναι μέρος της διδακτορικής διατριβής του Δρ Α. Κανάκη, η οποία κατατέθηκε στο Πανεπιστήμιο του Bath (Αγγλία), το 1987.

¹ Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καλαμάτας

² Βιολογική Σχολή του Πανεπιστημίου του Bath, Αγγλία

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Θεωρητικά κάθε σωματικό κύτταρο, κάτω από ιδανικές συνθήκες, έχει τη δυνατότητα να εξελιχθεί, μέσω της αναγέννησής του, σε τέλειο οργανισμό, με την προϋπόθεση ότι το γενετικό του υπόβαθρο παρέμεινε αναλλοίωτο κατά τη διαδικασία της γένεσής του (Sinnott, 1950). Την ικανότητα αυτή έχουν τα διπλοειδή φυτικά κύτταρα, έστω και αν πολλές φορές είναι δύσκολο να αποδειχθεί σε πολλά φυτικά είδη (Henshaw κ.α., 1982). Στις *in vitro* καλλιέργειες η επαγωγή της μορφογενετικής δραστηριότητας των κυττάρων προκύπτει από το κατάλληλο ερέθισμα που ο ερευνητής προσπαθεί να δώσει μέσω της σύνθεσης του θρεπτικού υποστρώματος ή των συνθηκών του περιβάλλοντος στο θάλαμο ανάπτυξης των καλλιεργειών. Από τη στιγμή που το κύτταρο λάβει το ανωτέρω ερέθισμα αρχίζει να πολλαπλασιάζεται και σε ένα επόμενο στάδιο να διαφοροποιείται, έτσι που να δώσει τη μορφογενετική του έκφραση.

Αν και μέχρι σήμερα αρκετά φυτά οικονομικού ενδιαφέροντος, κυρίως καλλωπιστικά, πολλαπλασιάζονται μέσω των *in vitro* καλλιεργειών, δεν υπάρχουν αρκετές μελέτες σχετικά με την απόκτηση πολλαπλασιαστικού υλικού του είδους *Capsicum*, μολονότι παγκόσμια η καλλιέργεια παρουσιάζει οικονομικό ενδιαφέρον. Η απόκτηση σπόρων F_1 υβριδίων πιπεριάς είναι επίπονη εργασία και οι τιμές των σπόρων αυτών υψηλές και για το λόγο αυτό η αναζήτηση μεθόδων *in vitro* καλλιεργειών για την απόκτηση πολλαπλασιαστικού υλικού τέτοιων υβριδίων, με ταχείς ρυθμούς, θα αποτελούσε ένα ισχυρό κίνητρο.

Απόκτηση απλοειδών φυτών πιπεριάς από *in vitro* καλλιέργειες ανθήρων επετεύχθη από τους Wang και τους συνεργάτες του (1973), τους George και Narayanaswany (1973) και τον Dumas De Vault και τους συνεργάτες του (1981). Ο Saxena και οι συνεργάτες του (1981) περιέγραψαν μία τεχνική για την απόκτηση φυτών πιπεριάς από *in vitro* καλλιέργειες πρωτοπλαστών του μεσοφύλλου της ποικιλίας California Wonder. Οι Gunay και Rao (1978) ανέφεραν σποραδική αναγέννηση τυχαίων βλαστών από *in vitro* καλλιέργειες εκφύτων κοτυληδόνων και υποκότυλων από σπορόφυτα παρουσία BAP ή ζεατίνης όχι όμως παρουσία κινετίνης ή αδενίνης. Οι παραπάνω ερευνητές δεν έδωσαν όμως ποσοτικές λεπτομέρειες που να αφορούν την αντίδραση των εκφύτων. Η πληρέστερη εργασία σχετική με την αναγέννηση επίκτητων βλαστών σε *in vitro* καλλιέργειες εκφύτων πιπεριάς είναι κατά τη γνώμη μας αυτή των Phillips και Hubstenberger (1985). Οι ερευνητές αυτοί εργαζόμενοι ταυτόχρονα με μας αλλά στο Νέο Μεξικό διαπίστωσαν ότι η αναγέννηση επίκτητων (τυχαίων) βλαστών από έκφυτα σποροφύτων ήταν έντονη μόνο στην αρχική καλλιέργεια και σταδιακά μειωνόταν στις επόμενες καλλιέργειες, ηλικίας μέχρι τριών μηνών, κάτω από συνθήκες φωτοπεριόδου 12 και 16 ωρών και θερμοκρασίας 25° C. Η ικανότητα παραγωγής επίκτητων οφθαλμών επιμηκύνθηκε μέχρι τους 5 μήνες σε συνθήκες συνεχούς φωτισμού και θερμοκρασίας 25° C και έφθασε μέχρι τους 8 μήνες κάτω από συνθήκες συνεχούς φωτισμού και θερμοκρασίας 28,5° C.

Μέχρι την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας δεν υπάρχουν δημοσιεύσεις που να αφορούν τη μελέτη των ιστολογικών και μορφολογικών αλλαγών που επισυμβαίνουν κατά την πορεία της οργανογενετικής έκφρασης στην πιπεριά. Μια τέτοια μελέτη μπορεί, κατά τους Κανάκη και Henshaw (2001), να απαντήσει σε ερωτήματα όπως:

- Ποιές είναι οι περιοχές του εκφύτου που έχουν την ικανότητα να παράγουν τυχαία όργανα ή σωματικά έμβρυα;
- Τα τυχαίως παραγόμενα όργανα ή σωματικά έμβρυα προέρχονται κατ' ευθείαν από τα κύτταρα των εκφύτων ή από ανοργάνωτο κάλο;
- Πόσα αρχικά κύτταρα συμβάλλουν στο σχηματισμό των οργάνων ή των σωματικών εμβρύων;
- Τι αλλαγές συντελούνται κατά την πορεία των φαινομένων αυτών;

Απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα προσπάθησαν να δώσουν πολλοί ερευνητές, ασχολούμενοι με άλλα φυτικά είδη. Έτσι ο Hicks (1980), συνοψίζοντας τα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνητών, διέκρινε δύο τύπους επίκτητης *in vitro* οργανογένεσης: την "απευθείας" και την "ενδιάμεση" οργανογένεση. Σαν κριτήριο του διαχωρισμού χρησιμοποίησε την απουσία ή την παρουσία αντίστοιχα άμορφου κάλου κατά την πορεία της εκδήλωσης της οργανογένεσης.

Ο αριθμός των κυττάρων που συμβάλλουν στο σχηματισμό ενός τυχαίου οργάνου ή ενός σωματικού εμβρύου έχει χωρίσει τους επιστήμονες σε δύο στρατόπεδα. Εκείνων που ισχυρίζονται ότι τόσο τα τυχαία όργανα όσο και τα σωματικά έμβρυα έχουν την καταγωγή τους μόνο από ένα κύτταρο (Konar και Nataraja,

1965, Vasil και Hildebrandt, 1965, Haccius, 1978) και εκείνων που αντίθετα υποστηρίζουν ότι για το σχηματισμό ιδίως οργάνων συμμετέχουν περισσότερα κύτταρα (Chlyah, 1974α και 1974β, Tran Thanh Van και Drira, 1971). Φαίνεται όμως ότι ανεξάρτητα από τον αριθμό των κυττάρων που αρχικά συμμετέχουν στην εκδήλωση των μορφογενετικών φαινομένων, αργότερα σχηματίζεται μία ομάδα κυττάρων με έντονη μορφογενετική δραστηριότητα και στα οποία εδράζεται ο μηχανισμός της πορείας που θα ακολουθήσει η μορφογένεση (Henshaw κ.α., 1982). Η ομάδα αυτή των κυττάρων ονομάστηκε από τον Torrey (1966) “μεριστωματικό κέντρο” ή απλά “μεριστωματοειδές”. Σε ό,τι αφορά τις ιστολογικές αλλαγές που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια των μορφογενετικών δραστηριοτήτων υπάρχουν πληροφορίες για την κασσάβα (Stamp, 1984), το *Pennisetum americanum* (Vasil και Vasil, 1982), το *Secale cereale* (Lu κ.α., 1984) κ.λπ., αλλά δεν υπάρχει καμία εργασία που να αφορά στην πιπεριά.

Στόχοι της εργασίας αυτής, που διενεργήθηκε τα έτη 1983-1985 στο Πανεπιστήμιο Bath της Αγγλίας, ήταν: α) η διερεύνηση των δυνατοτήτων εδραίωσης μεθόδων *in vitro* καλλιέργειών, που θα εξασφάλιζαν την απόκτηση μεγάλου αριθμού τέλειων φυτών πιπεριάς μέσω της επίκτητης βλαστογένεσης και β) η μελέτη των ιστολογικών και μορφολογικών αλλαγών που συμβαίνουν κατά την πορεία της βλαστογένεσης σε *in vitro* καλλιέργειες εκφύτων πιπεριάς.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

I. Μερικοί παράγοντες που επηρεάζουν την *in vitro* οργανογένεση

Τα έκφυτα κοτυληδόνων και υποκότυλων ώριμων εμβρύων ελήφθησαν από ξηρούς σπόρους, ενώ τα έκφυτα πράσινων κοτυληδόνων ελήφθησαν από σπορόφυτα διαφόρων σταδίων ανάπτυξης. Ανάλογα με την περίπτωση, τα έκφυτα ανήκαν στις ποικιλίες πιπεριάς Red Chili, California Wonder, Jalapeno, Πτ-46, Πτ-14, Πτ-455, Πτ-452, Πτ-824, Πτ-53/13, Pennbell, Hybelle, Tomato-pimento, Propenza και του υβριδίου F₁ Bell Boy. Τόσο η απολύμανση όσο και οι λοιποί χειρισμοί των σπόρων και των καρπών ή άλλων φυτικών μερών διενεργήθηκαν κάτω από συνθήκες σχολαστικής ασηψίας που παρέχονταν από τράπεζα νηματικής ροής αέρα. Η επιφάνεια των φυτικών ιστών και των σπόρων απολυμάνθηκε με τη χρήση διαλύματος 10% έως 15% υποχλωριώδους νατρίου (διαθέσιμο Cl 8%) και για χρόνο 10 έως 15 λεπτών. Ακολούθησαν 4 - 5 αποπλύσεις με αποστειρωμένο νερό, για την απομάκρυνση του απολυμαντικού. Η απόσπαση των εκφύτων έγινε με τη χρήση λαβίδας και νυστεριού κάτω από τον φακό του στερεοσκοπίου. Εκτός των περιπτώσεων σύγκρισης των υποστρωμάτων, χρησιμοποιήθηκε ως βασικό θρεπτικό υποστρώμα το MS (Murashige και Skoog, 1962), που εφοδιάστηκε με 100 mg l⁻¹ μυο-ινοσιτόλης, 3% (w/v) σακχαρόζη και 0,8% (w/v) άγαρ. Το υπόστρωμα αυτό καλείται εφεξής MS3. Σε μία περίπτωση η αποτελεσματικότητα του υποστρώματος MS συγκρίθηκε με τα υποστρώματα SH (Shenk and Hildebrandt, 1972) και B5 (Gamborg κ.α., 1968). Ανάλογα με το σκοπό, χρησιμοποιήθηκαν οι ορμόνες BAP (6-βενζυλ-αμινοπουρίνη), κινητίνη (6-φουρφυλαμινοπουρίνη) και ζεατίνη [6-(4-υδροξυ-3-μεθυλβουτ-2-ενυλο) πουρίνη], οι οποίες προστέθηκαν στο θρεπτικό υπόστρωμα πριν την αποστείρωσή του. Αντίθετα, οι ορμόνες IAA (ινδολύλ-3-οξεικό οξύ) και GA₃ (γιββερελλικό οξύ), που είναι ευαίσθητες στις υψηλές θερμοκρασίες, προστέθηκαν στο υπόστρωμα μετά την αποστείρωσή του με τη βοήθεια μικροφίλτρων, διαμέτρου πόρων 0.2 μm (Sartorius, U.K.). Το pH των θρεπτικών υποστρωμάτων ρυθμίστηκε στο 5,7 με τη βοήθεια διαλυμάτων 0,1 N NaOH ή 0,1 N HCl, πριν την αποστείρωση των υποστρωμάτων, η οποία επιτυγχάνεται σε κλίβανο υδρατμών πίεσης 1,85 bar και θερμοκρασίας 120° C σε χρόνο 17 - 20 λεπτών της ώρας. Ακολούθως τα υποστρώματα διαμοιράστηκαν, υπό συνθήκες ασηψίας, σε πλαστικά τριβλία διαμέτρου 9 cm. Μετά την εμφύτευση των εκφύτων επί των υποστρωμάτων τα τριβλία εκλείοντο με ταινία παραφίνης (parafilm M της American Can Company). Στη συνέχεια οι καλλιέργειες ετοποθετούντο εντός θαλάμων επώασης θερμοκρασίας 25° C και 17 ωρών φωτοπεριόδου. Ο φωτισμός, έντασης περίπου 500 lux (10.2 μE m⁻² sec⁻¹), παρέχονταν από 3 ζεύγη λαμπτήρων φθορίου, ισχύος 65-80 watt κάθε λαμπτήρα. Οι παραπάνω συνθήκες φωτισμού θα αναφέρονται στο εξής ως «συνήθεις ή standard».

Η παραγωγή φυταρίων επιτυγχάνονταν σε δύο στάδια. Στο 1° στάδιο που διαρκούσε 4 εβδομάδες ελάμβανε χώρα η επαγωγή της οφθαλμογένεσης και η ανάπτυξη των βλαστών. Στο τέλος του σταδίου αυτού χωρίζονταν οι αναπαραχθέντες βλαστοί και μεταφέρονταν σε υποστρώματα του 2ου σταδίου για ριζοβόληση, εκτός των περιπτώσεων που μελετήθηκε η επίδραση των ορμονών στη βλαστογένεση στο χρόνο, οπότε τα έκφυτα μεταφυτεύονταν και πάλι σε ίδιας συνθεσης υποστρώματα. Τα αναγεννηθέντα *in vitro* τέλεια φυτά,

όταν ήταν έτοιμα, ξεπλαινόνταν με άφθονο νερό, για να απομακρυνθεί το άγαρ από τις ρίζες τους, μεταφυτεύονταν σε γλαστρίδια που περιείχαν εδαφικό μείγμα Levington και μεταφέρονταν σε θερμοκήπιο θερμοκρασίας 25° C. Εκεί τις πρώτες 8-10 ημέρες καλύπτονταν με πλαστικούς φωτοδιαπερατούς κώδωνες για την εξασφάλιση υψηλής σχετικής υγρασίας. Αργότερα και σταδιακά οι κώδωνες ανασηκώνονταν και όταν τα φυτά αποκτούσαν νέες ρίζες απομακρύνονταν εντελώς. Με την τεχνική αυτή η επιτυχία της σκληραγώγησης και της προσαρμογής των φυτών στις περιβαλλοντικές συνθήκες εξασφαλιζόταν σε επίπεδο υψηλότερο του 95%. Στα πειράματα, τα αποτελέσματα των οποίων θα υφίσταντο στατιστική επεξεργασία, εφαρμόστηκε το σχέδιο των πλήρως τυχαιοποιημένων ομάδων με 4 επαναλήψεις (τριβλία *petri*) ανά επέμβαση. Σε κάθε τριβλίο ετοποθετούντο 15-20 έκφυτα. Για την ανάλυση της παραλλακτικότητας χρησιμοποιήθηκε η δοκιμή F και για τον εντοπισμό των διαφορών μεταξύ των επεμβάσεων η νέα δοκιμή του πολλαπλού εύρους του Duncan.

II. Ιστολογικές και μορφολογικές μεταβολές

Για την παρακολούθηση των μεταβολών που ελάμβαναν χώρα κατά την πορεία της οργανογένεσης, ελαμβάνοντο, σε τακτά χρονικά διαστήματα, δείγματα τα οποία στη συνέχεια προετοιμαζόνταν κατάλληλα για τη λήψη παρατηρήσεων με τη βοήθεια είτε ερευνητικού μικροσκοπίου είτε ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης: ΗΜΣ (*scanning electron microscope*: SEM)

α. Προετοιμασία δειγμάτων για παρατηρήσεις σε ερευνητικό μικροσκόπιο

Χρησιμοποιήθηκε ελαφρώς τροποποιημένη η μέθοδος του Johansen (1940). Τα δείγματα σταθεροποιήθηκαν σε διάλυμα FOA [(φορμόλη, οξείκο οξύ, 70% αιθανόλη), στις αναλογίες 90:5:5, v/v/v] για χρονικό διάστημα τουλάχιστον 24 ωρών και αφυδατώθηκαν με την εμβάπτισή τους σε μία σειρά διαφόρων διαλύσεων της TBA (2-μεθυλπροπαν-2-όλη) με νερό και αιθυλική αλκοόλη. Ακολούθως τα δείγματα εμβαπτιζόνταν σε κορεσμένο διάλυμα ερυθροσύνης σε TBA και παρέμειναν σε φούρνο θερμοκρασίας 70-80 °C τουλάχιστον για 12 ώρες, εμβαπτιζόνταν σε διάλυμα παραφίνης και TBA και αφήνονταν σε φούρνο της ίδιας θερμοκρασίας μέχρι πλήρους εξάτμισης της TBA (4-5 ώρες). Μετά τα δείγματα τεμαχίζονταν με μικροτόμο σε παρασκευάσματα πάχους 10 μm που διαμορφώνονταν σε ταινία. Οι ταινίες των παρασκευασμάτων τοποθετούνταν σε λεκάνη θερμού νερού για τη διάτασή τους και ακολούθως, αφού τεμαχίζονταν σε ανάλογα μεγέθη, ετοποθετούντο επί αντικειμενοφόρων πλακών που είχαν προηγουμένως επαλειφθεί με υγρό του Haupt για τη συγκόλησή τους και επ' αυτού αφηνόταν μία σταγόνα 3% φορμόλης για την περαιτέρω διάταση των ταινιών παραφίνης. Τα παρασκευάσματα, μετά την τοποθέτησή τους επί των αντικειμενοφόρων πλακών, απαλλάσσονταν της παραφίνης με το πέρασμα των πλακών μέσω μίας σειράς διαλυμάτων διαφόρων συγκεντρώσεων ξυλάνης-αιθανόλης και ακολούθως αφυδατώνονταν με σειρά διαλυμάτων διαφόρων συγκεντρώσεων αιθανόλης (Feder και O'Brien, 1968). Τα παρασκευάσματα μετατρέπονταν σε μόνιμα με τη χρήση βάλσαμου του Καναδά και οι παρατηρήσεις ελαμβάνονταν με τη βοήθεια ερευνητικού μικροσκοπίου της Olympus σειράς BH₂ (για περισσότερες πληροφορίες δες Kanakis, 1987).

β. Προετοιμασία δειγμάτων για παρατηρήσεις σε ΗΜΣ

Τα δείγματα σταθεροποιήθηκαν σε διάλυμα 5% γλουταραλδεύδης [ένα μέρος 25% γλουταραλδεύδης με τέσσερα μέρη ρυθμιστικού διαλύματος 0.1 M δισόξινου ορθοφωσφορικού καλίου (KH₂PO₄) pH 6.8] θερμοκρασίας 5° C επί 15 ώρες. Ακολούθως ξεπλύθηκαν τρεις φορές με απεσταγμένο νερό και μετά περάστηκαν από μία σειρά διαλυμάτων κετόνης (20%, 30%, 40%, 50%, 70%, 90%, 95% και 100%), παραμένοντας σε κάθε διάλυμα τουλάχιστον μία ώρα. Το υγρό της καθαρής κετόνης αλλάχτηκε τρεις φορές και στη συνέχεια τα δείγματα αφυδατώθηκαν με υγρό CO₂ για δύο έως τρεις ώρες σε συσκευή κρίσιμου σημείου ξήρανσης (*critical point drying apparatus*). Με το τέλος της αφυδάτωσης τα δείγματα επιχρυσώθηκαν και ακολούθως, ως μόνιμα πλέον παρασκευάσματα, χρησιμοποιήθηκαν για παρατηρήσεις μέσω ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (ΗΜΣ).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

I. Παράγοντες που επηρεάζουν την επίκτητη οργανογένεση

α) Ριζογένεση

Η παρουσία στο θρεπτικό υπόστρωμα της αυξίνης IAA ή μίας των κυτοκινινών BAP, κινητίνη ή ζεατίνη

Πίνακας 1. Ποσοστό (%) εκφύτων κοτυληδόνων και υποκότυλων εμβρύων ποικιλίας "Red Chili" που σχημάτισαν επίκτητες ρίζες, επίκτητους οφθαλμούς και φυλλοειδή (φδ) σε καλλιέργειες ηλικίας 8 ημερών. n = 70.

Table 1. Percentage of embryonic cotyledon and hypocotyl explants of cv. «Red Chili» which formed adventitiously roots, buds and foliar structures (φδ) in 8-day-old cultures. n = 70.

Συγκέντρωση ορμόνης (mg l ⁻¹)		Μορφογενετική συμπεριφορά			
		Επίκτητες ρίζες		Επίκτητοι οφθαλμοί και Φυλλοειδή	
		Χρησιμοποιηθέντα έκφυτα			
IAA	BAP	Κοτυληδόνες	Υποκότυλα	Κοτυληδόνες	Υποκότυλα
--	--	0	69	0	0
1.75	--	7	25	0	0
5.25	--	0	12	0	0
8.75	--	7	7	0	0
--	2.25	0	1	71	98
--	4.50	0	0	65	95
--	9.00	0	0	61	96
1.75	2.25	0	0	96	86
1.75	4.50	0	0	95	93
1.75	9.00	0	0	94	83
5.25	2.25	0	0	94	55
5.25	4.50	0	0	98	66
5.25	9.00	0	0	96	46
8.75	2.25	0	0	86	31
8.75	4.50	0	0	70	31
8.75	9.00	0	0	83	32

Βασικό υπόστρωμα: MS3. Θερμοκρασία: 25° C

Συνθήκες φωτισμού: τις πρώτες 5 ημέρες συνεχές σκότος, μετά συνήθης φωτισμός.

Τα στοιχεία πάρθηκαν με τη βοήθεια στερεοσκοπίου (μεγέθυνση 10x).

δεν ευνόησε το σχηματισμό επίκτητων (τυχαίων) ριζών από έκφυτα εμβρυακών κοτυληδόνων των ποικιλιών Red Chili και California Wonder (Πίνακες 1 και 2). Αντίθετα, έκφυτα εμβρυακών υποκότυλων της ποικιλίας Red Chili που υποβλήθηκαν στην επίδραση της αυξίνης IAA, σε συγκεντρώσεις μεταξύ 1,75 και 8,75 mg l⁻¹, δεν έχασαν την ικανότητά τους για παραγωγή επίκτητων ριζών, αν και η ένταση του φαινομένου μειώνονταν καθώς η συγκέντρωση της ορμόνης αυξάνονταν. Τα ίδια έκφυτα της αυτής ποικιλίας επέδειξαν αυξημένη ικανότητα σχηματισμού ριζών σε όλα τα υποστρώματα, σε σχέση με τα έκφυτα κοτυληδόνων (Πίνακας 1).

Σε προκαταρκτικά πειράματα διαπιστώθηκε ότι έκφυτα υποκότυλων των ποικιλιών Red Chili και California Wonder παρήγαγαν σε πολύ μεγάλο ποσοστό επίκτητες ρίζες σε υποστρώματα που δεν περιείχαν καμιά κυτοκινίνη. Στα πειράματα της παρούσας εργασίας, η παρουσία BAP σε συγκεντρώσεις μεταξύ 2,25 και 9 mg l⁻¹ παρεμπόδιζε εντελώς τη ριζογένεση σε ίδια έκφυτα της ποικιλίας Red Chili (Πίνακας 1). Η παρουσία χαμηλών συγκεντρώσεων (0,1 - 1,0 mg l⁻¹) κινητίνης στο υπόστρωμα δε μείωσε σημαντικά την τυχαία ριζογένεση σε έκφυτα εμβρυονικών υποκότυλων της ποικιλίας California Wonder, ενώ υψηλές συγκεντρώσεις (5,0 - 10,0 mg l⁻¹) κινητίνης ή η παρουσία 0,1 - 1,0 mg l⁻¹ ζεατίνης ανάσχεσαν την τυχαία ριζογένεση στα ίδια έκφυτα και οι υψηλές συγκεντρώσεις (5,0 - 10,0 mg l⁻¹) ζεατίνης εμπόδισαν παντελώς το σχηματισμό τυχαίων ριζών σε έκφυτα εμβρυακών υποκότυλων της ίδιας ποικιλίας (Πίνακας 2).

β) Βλαστογένεση

Η παρουσία στο υπόστρωμα μίας κυτοκινίνης (BAP, κινητίνη, ζεατίνη) ως μοναδικής ορμόνης συντέτεινε στο σχηματισμό επίκτητων (τυχαίων) οφθαλμών από έκφυτα εμβρυακών κοτυληδόνων και υποκότυλων των

ποικιλιών Red Chili και California Wonder (Πίνακες 1 και 2). Η ταυτόχρονη παρουσία της κυτοκινίνης BAP και της αυξίνης IAA είχε σαν αποτέλεσμα τον σχηματισμό μεγάλου αριθμού επίκτητων οφθαλμών και φυλλοειδών σε έκφυτα εμβρυακών κοτυληδόνων και υποκότυλων της ποικιλίας Red Chili (Πίνακας 1).

Αντίθετα, η παρουσία $3 \text{ mg l}^{-1} \text{ GA}_3$ στα θρεπτικά υποστρώματα ως μοναδικής ορμόνης, ανεξάρτητα από το χρόνο εισαγωγής της, δεν είχε καμιά επίδραση επί του φαινομένου της βλαστογένεσης (Πίνακας 3). Παρατηρήθηκε, χωρίς όμως να καταγραφούν τα στοιχεία, ότι ο συνδυασμός $3 \text{ mg l}^{-1} \text{ GA}_3$ με 2.25 ή 4.5 mg l^{-1} BAP μείωσε τον αριθμό των επίκτητων οφθαλμών ανά έκφυτο, αλλά ευνόησε την ανάπτυξη των τυχαίων οφθαλμών σε βλαστούς επί εκφύτων κοτυληδόνων της ποικιλίας California Wonder.

Η παρουσία 100 mg l^{-1} οξέων της καζαμίνης στο βασικό θρεπτικό υπόστρωμα MS3, που περιείχε την ορμόνη BAP, αύξησε σημαντικά το ποσοστό των εκφύτων εμβρυακών κοτυληδόνων των ποικιλιών California Wonder και Red Chili που παρήγαγαν επίκτητους οφθαλμούς σε συνθήκες 16 ωρών φωτοπεριόδου από την

Πίνακας 2. Μορφογενετική συμπεριφορά εκφύτων κοτυληδόνων και υποκότυλων εμβρύων της ποικιλίας "California Wonder" σε θρεπτικά υποστρώματα εφοδιασμένα με κινητίνη ή ζεατίνη. $n = 20$.

Table 2. The morphogenic response of embryonic cotyledon and hypocotyl explants of cv. "California Wonder" to media supplemented with kinetin or zeatin. $n = 20$.

Συγκέντρωση ορμόνης (mg l^{-1})	Ποσοστό % Εκφύτων κοτυληδόνων σχηματιζόντων		Ποσοστό % εκφύτων υποκότυλων σχηματιζόντων	
	οφθαλμούς	ρίζες	οφθαλμούς	Ρίζες
	Κινητίνη	0	0	20
"	0	0	0	84
"	50	0	58	37
"	50	0	79	10
Ζεατίνη	0	0	16	44
"	35	0	55	20
"	95	0	90	0
"	95	0	90	0

πρώτη τους ημέρα. Αντίθετα δεν παρουσιάστηκε σημαντική διαφορά στην εκδήλωση του φαινομένου σε καλλιέργειες των ίδιων εκφύτων που τις πρώτες 10 ημέρες εκτέθηκαν σε συνεχές σκότος (Πίνακας 4).

Βασικό υπόστρωμα : MS3
 Θερμοκρασία : 25° C
 Συνθήκες φωτισμού : Τις πρώτες 5 ημέρες πλήρες σκότος, μετά συνήθης φωτισμός.
 Διάρκεια καλλιέργειας : 28 ημέρες

Η επαπτόμενη στο θρεπτικό υπόστρωμα επιφάνεια εκφύτων κοτυληδόνων από σποροφύτα των ποικιλιών Jalapeno και Red Chili καθώς και του υβριδίου F1 Bell Boy επηρέασε σημαντικά την ένταση του φαινομένου της επίκτητης βλαστογένεσης. Έτσι, όταν η κάτω επιδερμίδα των κοτυληδόνων εφάπτονταν επί του βασικού υποστρώματος (MS3, B5, SH) που περιείχε 2.25 mg l^{-1} BAP, η βλαστογένεση έλαβε χώρα σε σημαντικά υψηλότερα επίπεδα εκείνης που η πάνω επιφάνεια του έκφυτου εφάπτονταν του υποστρώματος (Σχ. 1).

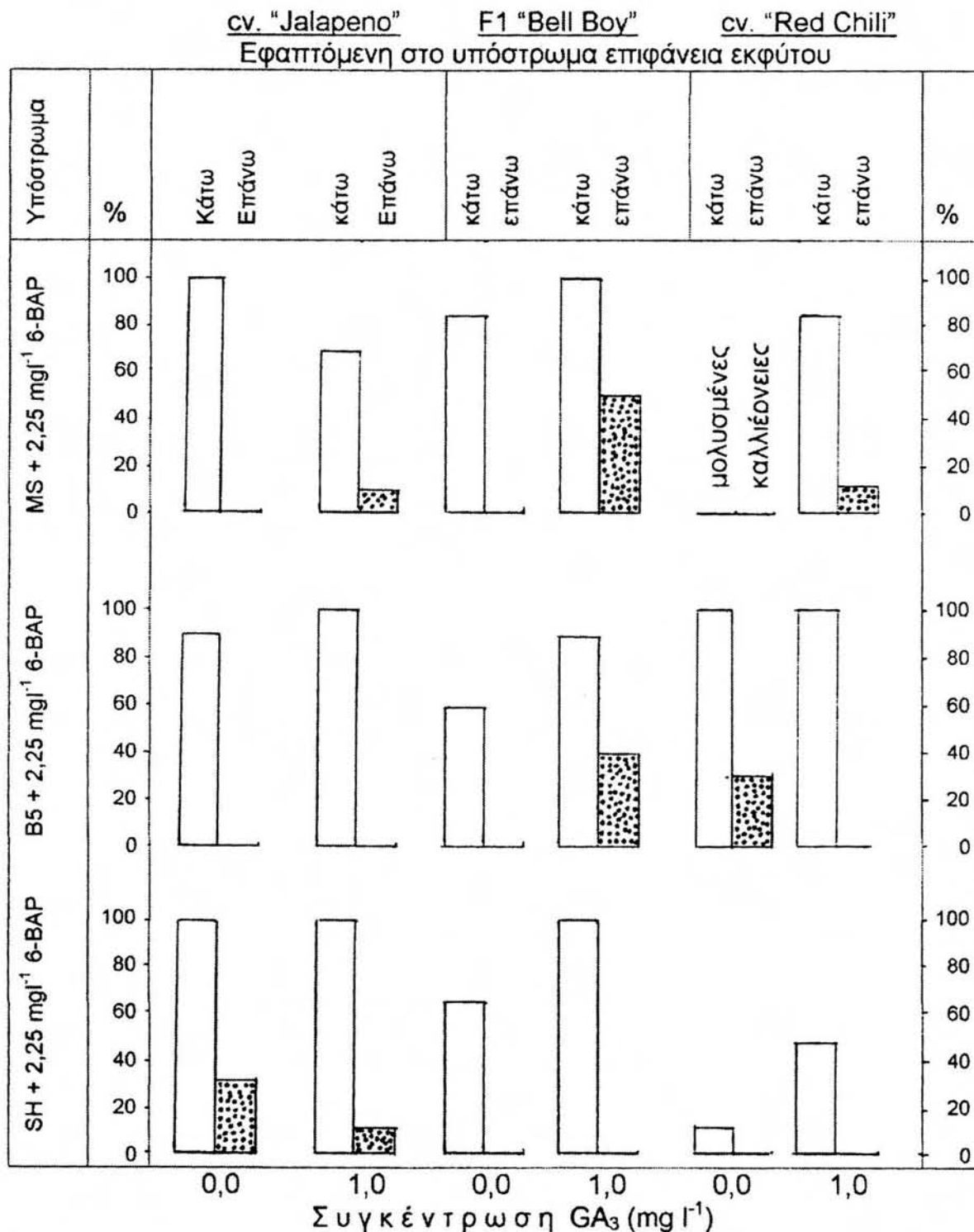
Έκφυτα εμβρυακών κοτυληδόνων ως και κοτυληδόνων σποροφύτων ηλικίας 5-10 ημερών παρουσίασαν εντονότερα την βλαστογένεση απ' ό,τι έκφυτα κοτυληδόνων σποροφύτων μεγαλύτερης ηλικίας (Πίνακας 5). Τέλος η επίκτητη βλαστογένεση επηρεάστηκε σημαντικά από το γονότυπο (Πίνακας 6).

II. Ιστολογικές και μορφολογικές μεταβολές

Τη στιγμή λήψεως των εκφύτων, πριν τον εμβολιασμό τους στα θρεπτικά υποστρώματα, οι εμβρυακές κοτυληδόνες είχαν μήκος 1-2 mm και χρώμα λευκό. Τόσο η πάνω όσο και η κάτω επιδερμίδα του ελάσματος

Σχήμα 1. Επίδραση της επαπτόμενης με το υπόστρωμα επιφάνειας του έκφυτου επί της αναγέννησης επίκτητων οφθαλμών από κοτυληδόνες σποροφύτων ηλικίας 28 ημερών. n = 15-20.

Figure 1. The effect of the explant's surface in contact with the medium on the adventitious shoot regeneration from cotyledons of 28-day-old seedlings. n = 15-20.



Συγκέντρωση σακχαρόζης : 2% (w/v). Διάρκεια καλλιέργειας: 28 ημέρες.
 Συνθήκες καλλιέργειας : συνήθειες (standard).

Πίνακας 3. Επίδραση του χρόνου εφαρμογής της GA_3 επί της αναγέννησης επίκτητων οφθαλμών και βλαστών από έμφυτα κοτυληδόνων σποροφύτων ποικιλίας "California Wonder" ηλικίας 26 ημερών. $n = 15 - 20$.

Table 3. The effect of the time of GA_3 incorporation on the bud-shoot regeneration from cotyledon explants taken from 26-day-old seedlings of cv. "California Wonder". $n = 15 - 20$.

Συγκέντρωση ορμόνης $mg\ l^{-1}$		Ποσοστό (%) εκφύτων που σχημάτισαν φυλλοειδή (φδ), οφθαλμούς και βλαστούς									
		1° Στάδιο 28 μέρες		2° Στάδιο 12 ημέρες		Χρονική περίοδος καλλιέργειας					
BAP	GA_3	BAP	GA_3	10 ημέρες (φδ) Οφθαλμοί		15 ημέρες (φδ) Οφθαλμοί		40 ημέρες Οφθαλμοί Βλαστοί			
Χρονος εφαρμογής της GA_3 στο υπόστρωμα	1 ^η ημέρα	--	--	--	--	0	0	0	0	0	0
		2.25	--	2.25	--	50	0	50	0	60	40
		4.5	--	4.5	--	42	0	56	0	60	56
		--	3	--	3	0	0	0	0	0	0
		2.25	3	2.25	3	40	10	50	10	60	60
		4.5	3	4.5	3	20	10	40	10	60	60
	3 ^η ημέρα	--	--	--	3	0	0	0	0	0	0
		2.25	--	2.25	3	45	0	70	0	70	50
		4.5	--	4.5	3	30	0	50	0	60	60
	6 ^η ημέρα	--	--	--	3	0	0	0	0	0	0
		2.25	--	2.25	3	0	0	20	0	30	30
		4.5	--	4.5	3	40	0	50	0	60	60
	10 ^η ημέρα	--	--	--	3	0	0	0	0	0	0
		2.25	--	2.25	3	30	0	30	0	60	60
		4.5	--	4.5	3	30	0	40	0	60	60
	15 ^η ημέρα	--	--	--	3	--	--	0	0	0	0
		2.25	--	2.25	3	--	--	40	0	70	70
		4.5	--	4.5	3	--	--	40	0	60	60

Βασικό υπόστρωμα: MS3. Συνθήκες καλλιέργειας: συνήθεις (standard).

(-): επέμβαση που δεν πραγματοποιήθηκε.

ήταν λείες και ομοιόμορφες στη διάταξη των κυττάρων καθ' όλη την επιφάνεια. Παρατηρήσεις εγκάρσιων τομών κοτυληδόνων έδειξαν ότι οι ιστοί των κοτυληδόνων αυτών αποτελούνταν από κύτταρα ομοιόμορφα, διατεταγμένα πολύ κοντά μεταξύ τους έτσι που να μην αφήνουν ελεύθερο χώρο. Οι πυρήνες των κυττάρων δεν ήταν ευδιάκριτοι και τα κύτταρα περιείχαν μεγάλο αριθμό αμυλοκόκκων (Φωτ. 1: A,B). Δε διαπιστώθηκε

Πίνακας 4. Επίδραση των οξέων της καζαμίνης επί του σχηματισμού τυχαίων οφθαλμών και βλαστών από καλλιέργειες εκφύτων κοτυληδόνων εμβρύων ηλικίας 30 ημερών. n = 25 - 30.

Table 4. The effect of casaminoacids on the formation of adventitious shoot-bud from embryonic cotyledon explants in 30-day-old cultures. n = 25 - 30.

Ποικιλία	Απουσία οξέων της καζαμίνης		100 mg l ⁻¹ οξέων της καζαμίνης	
	Πρώτες 10 ημέρες Συνεχές σκότος, Μετά 16 ώρες Φωτοπερίοδος	Φωτισμός 16 ωρών ανά ημέρα από το ξεκίνημα	Πρώτες 10 ημέρες συνεχές σκότος, μετά 16 ώρες Φωτοπερίοδος	Φωτισμός 16 ωρών ανά ημέρα από το ξεκίνημα
	Ποσοστό (%) αντιδρώντων εκφύτων	Ποσοστό (%) αντιδρώντων εκφύτων	Ποσοστό (%) αντιδρώντων εκφύτων	Ποσοστό (%) αντιδρώντων εκφύτων
California Wonder	73	62	76	93
Red Chili	71	12	85	70

Βασικό θρεπτικό υπόστρωμα: MS3 + 4.5 mg l⁻¹ BAP.

Υπόλοιπες συνθήκες καλλιέργειας: συνήθειες (standard).

Πίνακας 5. Επίδραση της ηλικίας του εκφύτου επί της αναγέννησης επίκτητων βλαστών από έκφυτα κοτυληδόνων ποικιλίας "California Wonder". n = 20

Table 5. The effect of explants on the adventitious-shoot regeneration process from cotyledon explants of cv. "California Wonder". n = 20.

Ποσοστό (%) αντιδρώντων εκφύτων	
Προέλευση κοτυληδόνων	Επίκτητοι βλαστοί
Ξηροί καρποί	96 (εξ)
Σπορόφυτα 5 ημερών	100 (εξ)
Σπορόφυτα 10 ημερών	90 (πκ)
Σπορόφυτα 15 ημερών	55 (κ)
Σπορόφυτα 20 ημερών	80 (μ)
Σπορόφυτα 25 ημερών	70 (μ)

Βασικό υπόστρωμα: MS3 + 4.5 mg l⁻¹

Συνθήκες καλλιέργειας: συνήθειες (standard).

Διάρκεια καλλιέργειας: 28 ημέρες.

(εξ): βλαστοί με 2 πραγματικά φύλλα διακρινόμενα σε μεγέθυνση 4χ

(πκ): » με 1 » » » σε » 4χ

(κ): » με 1 » » » σε » 10χ

(μ): » με μικρότερα φύλλα.

η ύπαρξη στοματίων ούτε στην πάνω ούτε στην κάτω επιδερμίδα των κοτυληδόνων (Φωτ. 1: C). Στις *in vitro* καλλιέργειες, μετά από την πάροδο 2 ή 3 ημερών, στα κύτταρα των εκφύτων των κοτυληδόνων οι αμυλόκοκκοι εξαφανίστηκαν, οι πυρήνες ήταν πιο ευδιάκριτοι, καταλάμβαναν το μεγαλύτερο μέρος των κυττάρων και κάθε πυρήνας περιείχε τουλάχιστον έναν πυρηνίσκο. Ταυτόχρονα παρατηρήθηκαν και οι πρώτες μιτωτικές

Πίνακας 6. Επίδραση του γονοτύπου επί της αναγέννησης τυχαίων οφθαλμών και βλαστών από έκφυτα κοτυληδόνων εμβρύων.

Table 6. The effect of genotype on the adventitious-shoot regeneration from embryonic cotyledon explants.

Ποικιλία Ή Υβρίδιο	Αρχική καλλιέργεια			Επόμενη καλλιέργεια			
	Αριθμός χρησιμο- ποιηθέντων εκφύτων	Έκφυτα που σχημάτισαν τυχαίους οφθαλμούς		Έκφυτα που ανάπτυξαν τυχαίους οφθαλμούς		Αριθμός βλαστών ανά έκφυτο	
		Αριθμός	%	Αριθμός	%	Αριθμός	Μέσος όρος
Πτ-46	22	22	100 γ	22	100 δ	5	3.09 γ
Πτ-14	24	24	100 γ	21	88 γδ	7	2.00 β
Hybelle	32	22	69 β	22	100 δ	4	1.95 β
Πτ-455	23	19	83 γ	15	79 γδ	3	1.93 β
Πτ-824	7	7	100 γ	6	86 γδ	3	1.67 β
Pennbell	24	19	79 βγ	13	68 γ	2	1.23 α
Πτ-452	24	17	71 βγ	7	41 β	1	1.14 α
Tomato- pimento	24	7	29 α	2	28 αβ	1	1.00 α
Ρτ-53/13	25	23	92 γ	2	10 α	2	1.50 αβ
Propenza	29	13	49 αβ	2	15	1	1.00 α

Βασικό υπόστρωμα: MS3 + 4.5 mg l⁻¹ BAP. Θερμοκρασία: 25° C και στα δύο στάδια.

Συνθήκες φωτισμού: τις πρώτες 5 ημέρες σκότος, μετέπειτα συνήθεις (standard) και στα δύο στάδια της καλλιέργειας. Διάρκεια καλλιέργειών: 56 ημέρες.

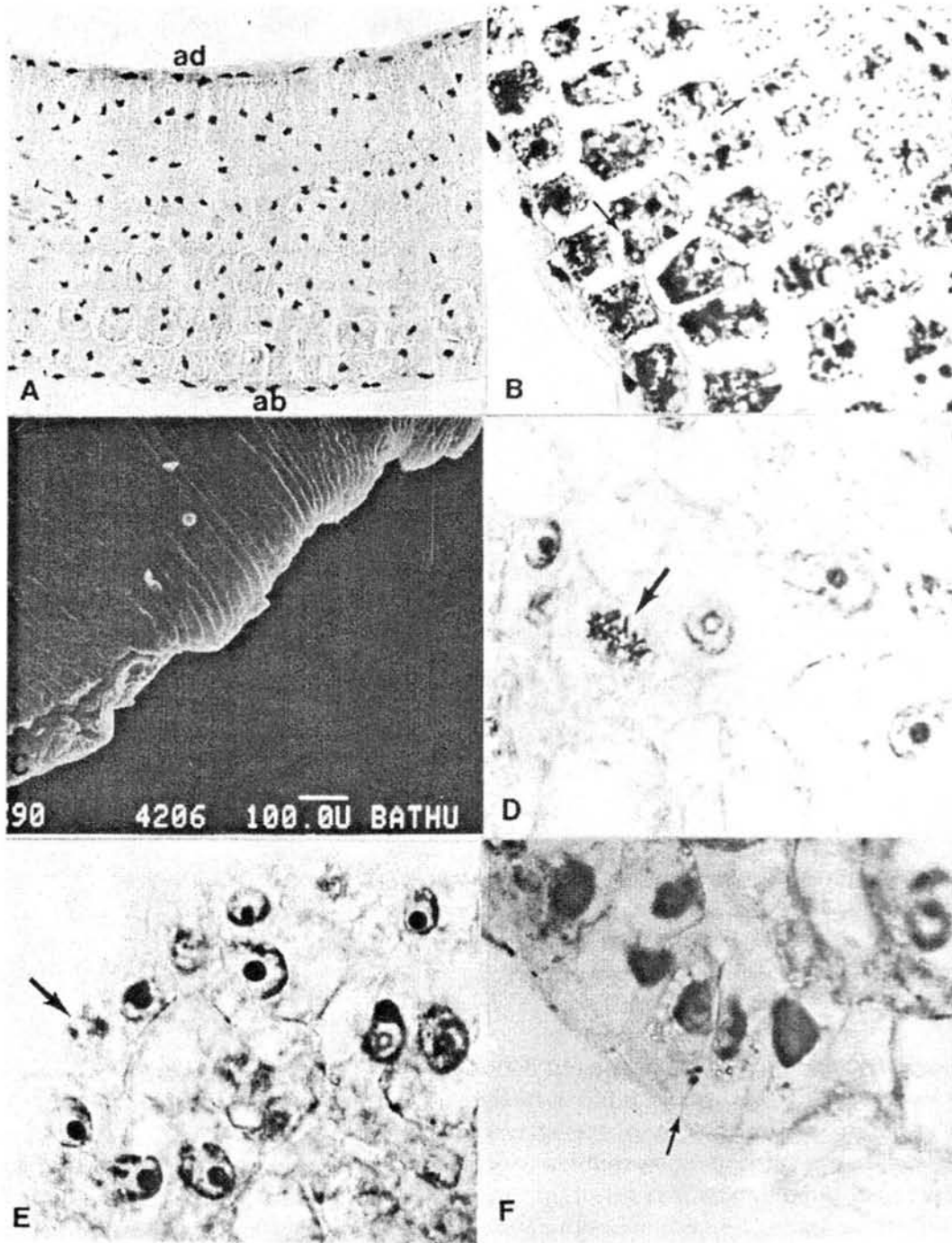
Ο εντοπισμός των διαφορών μεταξύ των γονοτύπων έγινε με τη νέα δοκιμή του πολλαπλού εύρους του Duncan ($\alpha=0,05$).

δραστηριότητες σε κύτταρα τόσο της επιδερμίδας όσο και της υπο-επιδερμίδας (Φωτ. 1: D,E).

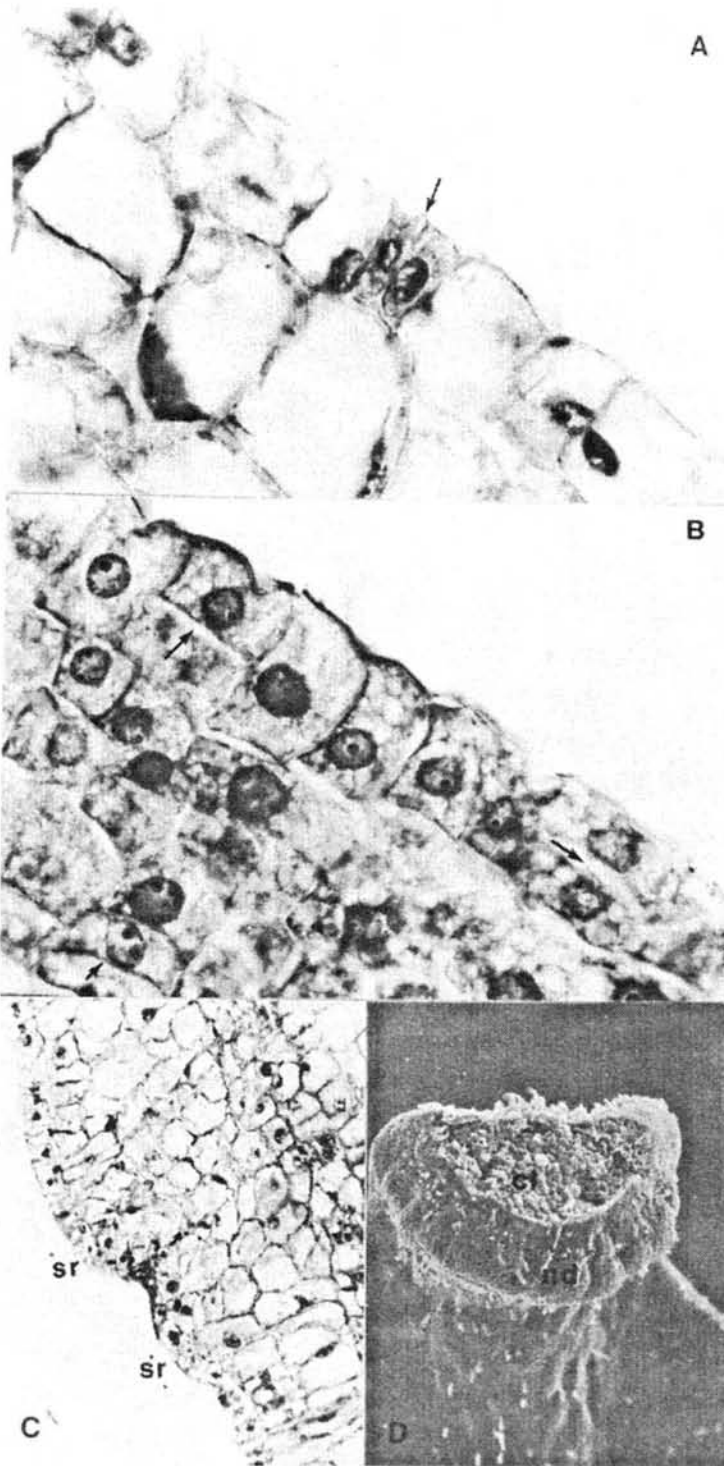
Το σπουδαιότερο κυτταρολογικό συμβάν που έλαβε χώρα σε έκφυτα καλλιέργειών ηλικίας 2 έως 4 ημερών ήταν εκείνο της ταυτόχρονης διενέργειας αντίκλινων (Φωτ. 1:F και Φωτ. 2:A) και περίκλινων (Φωτ. 2:B) διαιρέσεων τόσο στα επιδερμικά όσο και στα υποεπιδερμικά κύτταρα. Μερικές από τις διαιρέσεις αυτές ήταν ασύμμετρες και χαρακτηρίστηκαν έτσι από τη θέση του νεοσχηματισθέντος κυτταρικού τοιχώματος. Τέτοιες κυτταρικές διαιρέσεις αρχικά κατανέμονταν τυχαίως επί της επιδερμίδας, αλλά από την 5η ημέρα και μετά ελάμβαναν χώρα κυρίως σε περιοχές προς τη μορφολογική βάση του έκφυτου και της κάτω επιδερμίδας.

Σαν αποτέλεσμα των συνεχών περίκλινων και αντίκλινων κυτταρικών διαιρέσεων, σχηματίστηκαν στην περιφέρεια του εκφύτου διογκωμένες σφαιροειδείς περιοχές τα "φυμάτια". Τα φυμάτια αυτά εντοπίστηκαν σχετικά νωρίς, δηλαδή σε καλλιέργειες διάρκειας μόνο 5 ημερών. Τα κύτταρα των φυματίων ήταν σχετικά μικρά σε μέγεθος, περιείχαν πυκνό κυτταρόπλασμα, είχαν λεπτά κυτταρικά τοιχώματα και η χωροταξική κατανομή τους ακολουθούσε μία ορισμένη τάξη (Φωτ. 2: C,D). Σε αντίθεση με αυτά, τα κύτταρα του κάλου περιείχαν μεγάλα χυμοτόπια και λίγο πρωτόπλασμα, προέρχονταν μόνο από την επιφάνεια της τομής, κατανέμονταν χωρίς τάξη και μεταξύ τους άφηναν μεγάλους μεσοκυττάρους χώρους.

Κατά την ίδια περίοδο των *in vitro* καλλιέργειών τα έκφυτα επιμηκύνθηκαν και διογκώθηκαν χάρη τόσο στις κυτταρικές διαιρέσεις (απόκτηση περισσότερων κυττάρων) όσο και στη διόγκωση των κυττάρων λόγω απορρόφησης νερού από το υπόστρωμα. Μερικές περιοχές του εκφύτου και ειδικά εκείνες στις οποίες υπήρ-



- Φωτ. 1.** Μελέτη, μέσω ερευνητικού μικροσκοπίου και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (ΗΜΣ), της τυχαίας βλαστογένεσης σε έκφυτα κοτυληδόνων πιπεριάς ποικιλίας California Wonder.
- A και B Ημέρα 0. Εγκάρσια τομή δεικνύουσα την ομαλή και λεία κάτω (ab) και πάνω (ad) επιδερμίδα καθώς και την ύπαρξη αμυλοκόκκων (βέλος) σε υποεπιδερμικά κύτταρα. A x 200, B x 400. (παρατήρηση με ερευνητικό μικροσκόπιο)
- C. Ημέρα 0. Μικρογραφία ΗΜΣ δεικνύουσα την κανονικότητα της διάταξης των επιδερμικών κυττάρων και την ομαλότητα της άνω επιδερμίδας.
Γραμμή μεγέθυνσης = 100 μm.
- D και E Ημέρα 2η. Εγκάρσια τομή δεικνύουσα τις πρώτες μιτωτικές δραστηριότητες (βέλος) σε υποεπιδερμικά (D) και επιδερμικά (E) κύτταρα. D και E x 750.
- F Ημέρα 3η. Εγκάρσια τομή δεικνύουσα ασύμμετρη αντίκλινη κυτταρική διαίρεση (βέλος) στην κάτω επιδερμίδα. x 1000.



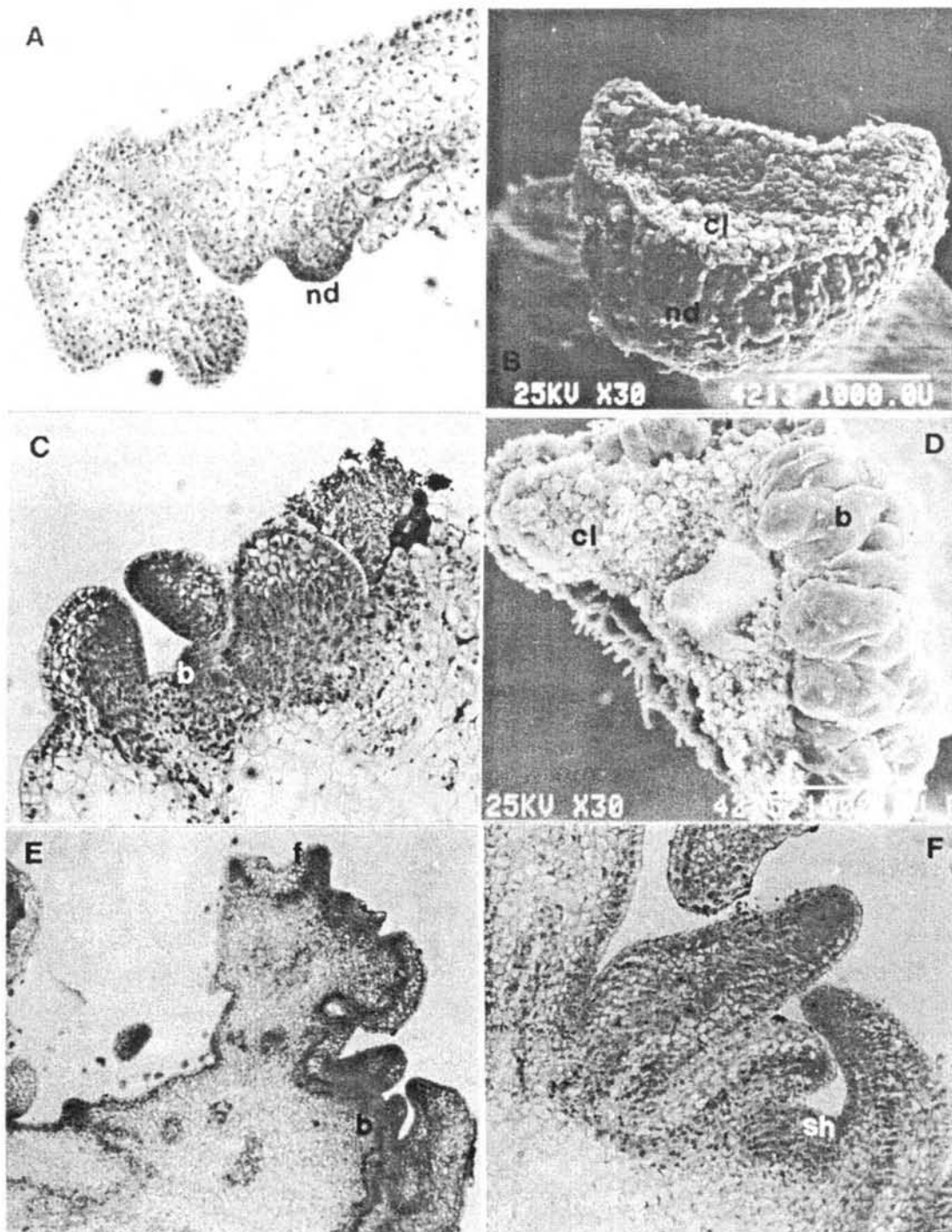
- Φωτ. 2** Μελέτη, μέσω ερευνητικού μικροσκοπίου και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (ΗΜΣ), της τυχαίας βλαστογένεσης σε έκφυτα κοτυληδόνων πιπεριάς ποικιλίας California Wonder.
- A** Ημέρα 4η. Εγκάρσια τομή δεικνύουσα ασύμμετρη αντίκλινη κυτταρική διαίρεση (βέλος) στην κάτω επιδερμίδα.
- B** Ημέρα 3η. Εγκάρσια τομή δεικνύουσα συμμετρική περίκλινη κυτταρική διαίρεση (βέλος) στην επιδερμίδα και ασύμμετρη περίκλινη κυτταρική διαίρεση (βέλος) τόσο στην επιδερμίδα όσο και στην υποεπιδερμίδα.
- C** Ημέρα 5η. Εγκάρσια τομή δεικνύουσα διογκωμένες περιοχές (sr) σχηματισθείσες στην επιφάνεια της κάτω επιδερμίδας.
- D** Ημέρα 5η. Μικρογραφία ΗΜΣ δεικνύουσα το σχηματισμό:
α) φυματίων (nd) στη μορφολογική βάση της κοτυληδόνας και
β) κάλου (cl) στην επιφάνεια της τομής.
Γραμμή μεγέθυνσης = 1000 μm

χαν τα φυμάτια, απόκτησαν πράσινο χρώμα, γεγονός που δεικνύει φωτοσυνθετική δραστηριότητα. Μετά 8 ημέρες καλλιέργειας, τα φυμάτια διογκώθηκαν και πρασίνισαν περισσότερο (Φωτ. 3: A,B).

Περί την 10η ημέρα της καλλιέργειας τα έκφυτα των εμβρυακών κοτυληδόνων απέκτησαν το πράσινο χρώμα σε όλη την επιφάνειά τους και σχεδόν έφθαναν το τελικό στάδιο διόγκωσής τους. Περί την 12η ημέρα της καλλιέργειας διακρίνονταν καθαρά αν τα φυμάτια εξελίσσονταν σε οφθαλμούς ή φυλλοειδή (Φωτ. 3: C,D,E). Τα κύτταρα των οφθαλμών και κυρίως αυτά που αποτελούσαν τον κώδωνα είχαν όλα τα χαρακτηριστικά των μεριστωματικών κυττάρων, δηλαδή μεγάλο πυρήνα στο κέντρο τους, πολλούς μικρούς πυρηνίσκους, πυκνό κυτταρόπλασμα, ελάχιστο χυμοτόπιο και

καθόλου αμυλόκοκκους. Η εξέλιξη τόσο των οφθαλμών όσο και των φυλλοειδών ήταν συνεχής και ταχεία και περί της 15η ημέρα είχαν αναπτυχθεί αρκετά ώστε να καθίστανται ευδιάκριτα τα πρώτα πραγματικά φύλλα των τυχαίων οφθαλμών (Φωτ. 3: F και Φωτ. 4: A και C).

Μετά από 38 έως 40 ημέρες καλλιέργειας οι τυχαίοι οφθαλμοί εξελίχθηκαν σε βλαστούς με στέλεχος που έφερε 3 έως 4 πραγματικά φύλλα (Φωτ. 4: D). Οι βλαστοί αυτοί όταν μεταφέρονταν σε υποστρώματα που στερούνταν οποιουδήποτε αυξητικού παράγοντα (ορμόνης) ριζοβολούσαν με μεγάλη ευκολία και παρήγαγαν τέλεια φυτά (Φωτ. 4: E). Αυτά, με τη σειρά τους, όταν μεταφέρονταν σε εδαφικά μείγματα, μετά τη σκληραγώγηση, εγκλιματίζονταν εύκολα στο περιβάλλον (Φωτ. 4: F).



- Φωτ. 3** Μελέτη, μέσω ερευνητικού μικροσκοπίου και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (ΗΜΣ), της τυχαίας βλαστογένεσης σε έκφυτα κοτυληδόνων πιπεριάς ποικιλίας California Wonder.
- A Ημέρα 8η. Εγκάρσια τομή δεικνύουσα περισσότερο αναπτυγμένα φυμάτια (nd) στην κάτω επιφάνεια.
- B Ημέρα 8η. Μικρογραφία ΗΜΣ δεικνύουσα το σχηματισμό:
α) φυματίων (nd) στη μορφολογική βάση της κοτυληδόνας και
β) κάλου (cl) στην τομή του εκφύτου.
Γραμμή μεγέθυνσης = 1000μm.
- C και E Ημέρα 12η. Σχηματισμός τυχαίων οφθαλμών (b) και φυλλοειδών (f) σε έκφυτα κοτυληδόνων. C x 90, E x 36.
- D Ημέρα 12η. Μικρογραφία ΗΜΣ δεικνύουσα σχηματισμό οφθαλμών (b) και κάλου (cl). x 1000.
- F Ημέρα 15η. Εγκάρσια τομή δεικνύουσα το σχηματισμό τυχαίων βλαστών (sh). x 150.



Φωτ. 4

A και B Ημέρα 15η. Μικρογραφίες ΗΜΣ δεικνύουσες αναγεννημένους τυχαίους βλαστούς (sh), πραγματικά φύλλα (f), φυλλοειδή (lf) και κάλο (cl) από έκφυτα κοτυληδόνων. Γραμμή μεγέθυνσης = 100 μ m.

C Ημέρα 21η. Μικρογραφία ΗΜΣ δεικνύουσα πραγματικά φύλλα τυχαίων οφθαλμών παραχθέντων από έκφυτα κοτυληδόνων, ab=κάτω επιφάνεια, ad=άνω επιφάνεια ελάσματος. Γραμμή μεγέθυνσης = 100 μ m.

D Ημέρα 38η. Βλαστός που παράχθηκε από *in vitro* καλλιέργειες εκφύτων κοτυληδόνας της ποικιλίας Red Chili. Γραμμή μεγέθυνσης = 1 mm.

E Τέλειο φυτό πιπεριάς της ποικιλίας California Wonder, το οποίο παράχθηκε από έκφυτο κοτυληδόνας που καλλιεργήθηκε αρχικά σε θρεπτικό υπόστρωμα MS συμπληρωμένο με 2.25 mg l⁻¹ BAP για το σχηματισμό βλαστών και ακολούθως σε υπόστρωμα B5 χωρίς ορμόνες για την παραγωγή ριζών. Γραμμή μεγέθυνσης = 10 mm.

F Το ανωτέρω φυτό μετά τη μεταφύτευσή του σε γλαστρίδιο.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

I. Παράγοντες που επηρεάζουν την επίκτητη βλαστογένεση

Υψηλά επίπεδα επίκτητης (τυχαίας) βλαστογένεσης παρατηρήθηκαν σε έκφυτα εμβρυακών κοτυληδόνων και υποκότυλων καθώς και έκφυτα υποκότυλων σπορόφυτων, όλων των δοκιμασθέντων γονοτύπων πιπεριάς, εμφυτευθέντων επί υποστρωμάτων που εφοδιάστηκαν με μία από τις κυτοκινίνες BAP, κινητίνη και ζεατίνη σε συγκεντρώσεις από 1 έως 10 mg l⁻¹. Από τις κυτοκινίνες αυτές, η BAP και η ζεατίνη ήταν οι πιο δραστηκές, με άριστο επίπεδο συγκέντρωσης που κυμάνθηκε μεταξύ 1 και 5 mg l⁻¹. Η παρουσία της αυξίνης IAA, ως μοναδικής ορμόνης στο υπόστρωμα, δεν προκάλεσε βλαστογένεση σε οποιοδήποτε επίπεδο συγκέντρωσης και

αν εφαρμόστηκε. Μόνο συγκέντρωση IAA μικρότερη του $1,75 \text{ mg l}^{-1}$ σε συνδυασμό με BAP οδήγησε σε σχηματισμό μεγαλύτερου αριθμού επίκτητων οφθαλμών ανά έκφυτο από,τι η BAP μόνη της (Kanakis, 1987), αλλά ο συνδυασμός αυτός είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του ρυθμού εξέλιξης των οφθαλμών σε βλαστούς. Τα ανωτέρω αποτελέσματα συμφωνούν με εκείνα που παρουσιάστηκαν από τους Phillips και Hubstenberger (1985) και αφορούσαν βλαστογένεση από έκφυτα κοτυληδόνων πιπεριάς. Η θετική επίδραση των κυτοκινινών στην αναγένεση επίκτητων βλαστών από έκφυτα πιπεριάς επιβεβαιώθηκε σε μεταγενέστερο χρόνο και από εργασίες άλλων ερευνητών (Arroyo κ.α. 1991, Binzel κ.α. 1996, Christopher και Rajam 1994, Prakash κ.α. 1997, Sadhana κ.α. 1989 και 1998).

Η προσθήκη μόνο GA_3 στο υπόστρωμα δεν ευνόησε το σχηματισμό επίκτητων οφθαλμών, αλλά όμως η παρουσία της στις *in vitro* καλλιέργειες, από την αρχή του 1ου σταδίου, σε συνδυασμό με BAP, επιτάχυνε την εξέλιξη των οφθαλμών σε βλαστούς και έτσι μείωσε κατά 20 περίπου ημέρες τον απαιτούμενο χρόνο για την απόκτηση βλαστών τέτοιου μεγέθους που να επιτρέπει τη μεταφορά τους σε υποστρώματα ριζοβόλησης. Το μόνο μειονέκτημα της παρουσίας της GA_3 στο υπόστρωμα ήταν η μείωση του αριθμού των βλαστών ανά έκφυτο. Από τις παρατηρήσεις αυτές συνάγεται το συμπέρασμα ότι αν στόχος μας είναι η ταχεία απόκτηση, έστω και μικρότερου αριθμού φυτών, τότε η εισαγωγή της GA_3 στο υπόστρωμα μπορεί να γίνει από την αρχή της *in vitro* καλλιέργειας αντίθετα αν ενδιαφερόμαστε για την απόκτηση μεγάλου αριθμού φυτών, χωρίς να μας ενδιαφέρει ο χρόνος, τότε η εισαγωγή της GA_3 πρέπει να γίνει στο 2° στάδιο της *in vitro* καλλιέργειας. Το ότι η παρουσία GA_3 στο υπόστρωμα δεν επηρέασε το σχηματισμό τυχαίων οφθαλμών σε έκφυτα πιπεριάς έρχεται να επιβεβαιώσει τα αποτελέσματα του Jarret και των συνεργατών του (1981) που αφορούσαν έκφυτα πατάτας ποικιλίας "Superior". Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που η παρουσία της GA είναι εντελώς απαραίτητη στην επαγωγή και την εξέλιξη της επίκτητης βλαστογένεσης. Έτσι, ο Grout κ.α. (1977) διαπίστωσαν ότι σε *in vitro* καλλιέργεια κάλου *Solanum x curtilobum* παράχθηκαν τυχαίοι οφθαλμοί παρουσία GA ως μόνης ορμόνης. Ο Thorpe (1980) υπέθεσε ότι η διέγερση της *in vitro* οργανογένεσης δια της GA δεικνύει χαμηλά επίπεδα ενδογενούς GA στο έκφυτο, ενώ η παρεμπόδιση της οργανογένεσης δια της εξωγενούς GA πιθανόν να είναι το αποτέλεσμα υπερβολικών ποσοτήτων ενδογενούς ορμόνης στα κύτταρα των ιστών.

Παρατηρήσαμε επίσης ότι σ'όλες τις ανωτέρω αναφερθείσες περιπτώσεις τυχαίας οργανογένεσης, η συχνότητα παραγωγής επίκτητων βλαστών μειώνονταν στις επόμενες ανακαλλιέργειες. Έτσι περισσότεροι από 75% των βλαστών παράγονταν στην 1η καλλιέργεια, τα επιπλέον 20 - 25% των βλαστών παράγονταν στη 2η ανακαλλιέργεια και οι υπόλοιποι βλαστοί παράγονταν πολύ αργότερα. Εάν οι βλαστοί δεν απομακρύνονταν στο τέλος της 1ης καλλιέργειας και το όλο έκφυτο, μαζί με τους φερόμενους επ' αυτού βλαστούς, μεταφέρετο αυτούσιο στα υποστρώματα της 2ης ανακαλλιέργειας τότε ο αριθμός των ληφθέντων οφθαλμών στα τέλη της 2ης ανακαλλιέργειας δε ξεπερνούσε τον αριθμό των οφθαλμών που είχαν σχηματιστεί στο τέλος της 1ης καλλιέργειας. Μπορούμε να υποθέσουμε λοιπόν ότι οι βλαστοί που παράχθηκαν στην 1η καλλιέργεια ασκούσαν κάποια επικυριαρχία στους υπόλοιπους οφθαλμούς και δεν τους επέτρεπαν να εξελιχθούν και αυτοί σε βλαστούς. Παρόμοια αποτελέσματα δημοσιεύτηκαν το 1985 από τους Phillips και Hubstenberger όταν έκφυτα πιπεριάς καλλιεργούνταν κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Όμως οι ανωτέρω ερευνητές δεν αναφέρουν αν οι βλαστοί που αποκτήθηκαν στο 2° ή και στο επόμενο στάδιο της *in vitro* καλλιέργειας προέρχονταν από την αναγένεση νέων οφθαλμών ή από την ανάπτυξη των ήδη σχηματισθέντων οφθαλμών στο 1° στάδιο. Στη δική μας περίπτωση οι βλαστοί του 2ου και των επόμενων σταδίων προέρχονταν από την ανάπτυξη των ήδη σχηματισθέντων οφθαλμών κατά τη διάρκεια των 20 πρώτων ημερών του 1ου σταδίου, και η ανάπτυξή τους οφείλετο στην απομάκρυνση της επικυριαρχίας μετά την αφαίρεση των ήδη αναπτυγμένων βλαστών.

Η αναγένεση επίκτητων οφθαλμών από έκφυτα κοτυληδόνων και υποκότυλων εμβρύων μειώθηκε σημαντικά όταν οι καλλιέργειες δέχονταν το φωτισμό από την πρώτη ημέρα της επώασης, έναντι των καλλιεργειών που τις πρώτες 5 - 10 ημέρες διατηρούνταν σε συνεχές σκότος. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλετο στην δυσκολία προσαρμογής των ιστών των εκφύτων στη μεταβολή της κατάστασης από το πλήρες σκότος (εντός των σπόρων) στο φωτισμό (θάλαμος επώασης). Άρση αυτού του αρνητικού φαινομένου έλαβε χώρα όταν το θρεπτικό υπόστρωμα ήταν εφοδιασμένο με 100 mg l^{-1} οξέων της καζαμίνης (Πίνακας 4). Η παρουσία της ίδιας συγκέντρωσης των οξέων της καζαμίνης σε υποστρώματα που ήταν εμβολιασμένα με ίδια έκφυτα αλλά που οι καλλιέργειες διατηρήθηκαν τις πρώτες 5 - 10 ημέρες σε συνεχές σκότος δεν επέδειξε καμία αρνητική ή θετική δράση.

Η εφραπτόμενη επιφάνεια του εκφύτου επί του υποστρώματος διεδραμάτισε έναν από τους σπουδαιότερους ρόλους στο σχηματισμό τυχαίων οφθαλμών. Έτσι, όταν η κάτω επιφάνεια των εκφύτων κοτυληδόνων πιπεριάς ερχόταν σε επαφή με το θρεπτικό υπόστρωμα, τότε η συχνότητα της οφθαλμογένεσης αυξάνονταν θεαματικά, σε σύγκριση με τη συχνότητα οφθαλμογένεσης από την ίδια επιφάνεια, όταν αυτή ευρίσκετο σε αντιδιαμετρική τοποθέτηση, ή σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που έδιδε η πάνω επιδερμίδα σε επαφή με το υπόστρωμα (Σχ. 1). Η εκδήλωση πολικότητας στην οργανογένεση που παρατηρήθηκε μεταξύ της κάτω και επάνω επιδερμίδας των εκφύτων κοτυληδόνων πιπεριάς δεν είναι ασυνήθιστο φαινόμενο και παρόμοια αποτελέσματα έχουν παρατηρηθεί από πολλούς ερευνητές και αφορούν άλλα φυτικά είδη (Haydu και Vasil, 1981· Vasil και Vasil, 1982· Raju and Mann, 1970· Gleddie κ.α., 1983).

Η ηλικία του βλαστικού τμήματος του φυτού από το οποίο ελήφθησαν τα έκφυτα έπαιξε επίσης ένα σημαντικό ρόλο στη συχνότητα και την ένταση της οργανογένεσης. Έκφυτα εμβρυακών κοτυληδόνων ή κοτυληδόνων σποροφύτων μικρής ηλικίας (έως 10 ημερών) έδειξαν σημαντικά υψηλότερη συχνότητα οφθαλμογένεσης σε σύγκριση με έκφυτα κοτυληδόνων σποροφύτων ηλικίας 15 ημερών (Πίνακας 5). Η μείωση αυτή θα μπορούσε να οφείλετο στον ανεπαρκή εφοδιασμό των εκφύτων σε θρεπτικά στοιχεία μιας και από παρατηρήσεις μας διαπιστώθηκε σταδιακή μείωση των αμιλοκόκκων στις κοτυληδόνες προοίους της ηλικίας και το πλείστο των ενδογενών σακχάρων χρησιμοποιήθηκαν κατά τη βλάστηση των σπόρων και τη τροφοδοσία των νεαρών σποροφύτων. Πράγματι σε σπορόφυτα ηλικίας 15 περίπου ημερών τα πραγματικά φύλλα δεν είχαν ακόμη εκπτυχθεί και οι κοτυληδόνες είχαν μία εμφάνιση κιτρινοπράσινου χρώματος. Σε σπορόφυτα ηλικίας 20 και πάνω ημερών τα πραγματικά φύλλα είχαν εκπτυχθεί αρκετά και η φωτοσυνθετική τους δραστηριότητα ήταν αυξημένη. Έτσι οι παραγόμενοι υδατάνθρακες αποκατέστησαν σταδιακά και κατά το μεγαλύτερο μέρος την ισορροπία των παρεχόμενων θρεπτικών στοιχείων και της ενέργειας στις κοτυληδόνες, με ορατό αποτέλεσμα την επαναφορά του πράσινου χρώματος στις κοτυληδόνες. Από το στάδιο αυτό και αργότερα, μέχρι ηλικίας 28 ημερών, το ποσοστό και η ένταση της τυχαίας οργανογένεσης σε έκφυτα κοτυληδόνων άρχισε και πάλι να αυξάνει και να πλησιάζει το ποσοστό των εμβρυακών κοτυληδόνων (Πίνακας 5). Όμως οι αλλαγές αυτές που συνόδευσαν την αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας δεν αποκατέστησαν πλήρως τη μορφογενετική ικανότητα των εκφύτων και επιπλέον θα μπορούσε κανείς να υποθέσει ότι ο πλήρης εφοδιασμός σε θρεπτικά στοιχεία παρείχετο από τα θρεπτικά υποστρώματα. Η επίδραση της ηλικίας των εκφύτων πιπεριάς (κατά την ημέρα της απόσπασής τους από το δότη) επί της οργανογένεσης επιβεβαιώθηκε αργότερα και από τους Mirza και Narkhede (1996).

Οι Biondi και Thorpe (1982), εργαζόμενοι με έκφυτα κοτυληδόνων της *Pinus radiata*, διαπίστωσαν ότι τα κύτταρα της επιδερμίδας και υποεπιδερμίδας περισσότερο ηλικιωμένων κοτυληδόνων είχαν τόσο πολύ διαφοροποιηθεί μέχρι σημείου που να έχουν απωλέσει τη μορφογενετική τους ικανότητα. Επίσης ο Yeung και οι συνεργάτες του (1981) υπέθεσαν ότι οι μικρής ηλικίας κοτυληδόνες του ίδιου είδους ήταν φυσιολογικά καλύτερα έκφυτα επειδή τα επιδερμικά και υποεπιδερμικά κύτταρά τους δεν ήταν πλήρως «προοδιορισμένα», με συνέπεια να μπορούν ευκολότερα να δρομολογηθούν σε εναλλακτικές μορφογενετικές πορείες που εκφράζονταν με την εκδήλωση ικανότητας βλαστογένεσης. Είναι επίσης γνωστό ότι οι εμβρυακοί ιστοί και μάλιστα από ανώριμα ζυγωτά έμβρυα, εκδηλώνουν εύκολα και με ένταση τη μορφογενετική τους ικανότητα (Dale, 1980· Pence κ.α., 1980).

Η ικανότητα των εκφύτων κοτυληδόνων και υποκότυλων πιπεριάς για τυχαία οργανογένεση επιβεβαιώθηκε αργότερα και από άλλους ερευνητές (Αργγογ και Revilla 1991, Ezura κ.α. 1993, Mirza και Narkhede, 1996).

Η παρούσα εργασία δεικνύει ότι ο γονότυπος υπήρξε ένας από τους σπουδαιότερους παράγοντες που επηρέασαν τη βλαστογένεση (Πίνακας 6). Γενικά οι “καυτερές” ποικιλίες Red Chili και Jalapeno και οι “επιμήκεις-γλυκές” ποικιλίες Πτ-46 και Πτ-14 επέδειξαν πολύ ισχυρότερη βλαστογένεση απ’ ό,τι οι τύπου “μπανάνας” ή “φλάσκας” όπως οι Πτ-55, Πτ-824, Πτ-452, California Wonder, Worldbeater, Hybelle, Pennbell και το υβρίδιο F₁ Bell Boy. Οι ελάχιστες ανταποκρινόμενες στη βλαστογένεση ποικιλίες ήταν οι Sweet Banana, Πτ-53/13, Tomato-Pimento και Propensa. Η σπουδαιότητα του ρόλου που παίζει ο γονότυπος στην τυχαία οργανογένεση έχει αποδειχθεί επίσης και από τους Gunay και Rao (1978), Bahetee κ.α. (1994), Binzel κ.α. (1996), Rogozinska και Tobolewska (1992) και Szasz κ.α. (1995) για την πιπεριά, το Gleddie κ.α. (1983) για τη μελιτζάνα και τους Brown και Atanassov (1985) για τη μηδική.

Διαπιστώθηκε αλληλεπίδραση μεταξύ βασικού θρεπτικού υποστρώματος, GA_3 και γονοτύπου (Σχ. 1). Έτσι το υπόστρωμα SH, καίτοι λιγότερο κατάλληλο για αναγένεση βλαστών από έκφυτα κοτυληδόνων της ποικιλίας Red Chili, ήταν το ίδιο κατάλληλο με τα υποστρώματα MS και B5 για αναγένεση βλαστών από την κάτω επιφάνεια εκφύτων κοτυληδόνων της ποικιλίας Jalapeno και του υβριδίου Bell Boy και το πλέον κατάλληλο για αναγένεση βλαστών από την κάτω επιφάνεια των εκφύτων της ποικιλίας Jalapeno. Αντίθετα τα υποστρώματα MS και B5 ήταν τα πλέον δραστικά στην αναγένεση βλαστών από την κάτω επιφάνεια των εκφύτων του υβριδίου Bell Boy και της ποικιλίας Red Chili, ιδιαίτερα παρουσία $1,0 \text{ mg l}^{-1} GA_3$ στο υπόστρωμα, ενώ το υπόστρωμα SH δεν είχε καμία θετική δράση. Αλληλεπίδραση γονοτύπου και υποστρώματος έχει αναφερθεί από το πλείστον των ερευνητών που ασχολήθηκαν με την *in vitro* οργανογένεση.

Γενικά η τυχαία βλαστογένεση έλαβε χώρα κυρίως, όχι όμως αποκλειστικά, στη μορφολογική βάση και την περίμετρο των τομών εκφύτων κοτυληδόνων, είτε αυτά προέρχονταν από το έμβρυο είτε από το σπορόφυτο. Η συχνότητα και η ένταση της βλαστογένεσης μειώνονταν δραματικά σε περιοχές που απείχαν περισσότερο από το σημείο επαφής του ελάσματος με το μίσχο της κοτυληδόνας.

II. Ιστολογικές και μορφολογικές μεταβολές

Η υδρόλυση των αμυλοκόκκων, που παρατηρήθηκε τις πρώτες ώρες μετά την μεταφορά των εκφύτων κοτυληδόνας στο θρεπτικό υπόστρωμα, πιθανόν να προσέφερε την αναγκαία ενέργεια για το ξεκίνημα της βλαστογένεσης ή τουλάχιστον για το ξεκίνημα των κυτταρικών διαιρέσεων. Υδρόλυση των αμυλοκόκκων κατά τη διάρκεια των πρώτων ημερών της *in vitro* καλλιέργειας παρατηρήθηκε επίσης σε έκφυτα κοτυληδόνων *Pinus radiata* (Yeung κ.α., 1981) και κασσάβας (Stamp, 1984).

Αναφέρθηκε ήδη ότι τις πρώτες ημέρες της *in vitro* καλλιέργειας παρατηρήθηκαν στα επιδερμικά και υποεπιδερμικά κύτταρα ασύμμετρες διαιρέσεις, οι οποίες, κατά τον Chlyah (1984b), πιθανόν να οφείλονται σε φυσικές ή βιοχημικές διαφορές εντός των θυγατρικών κυττάρων-προϊόντων της πρώτης κυτταρικής διαίρεσης. Οι ασύμμετρες διαιρέσεις ήταν τόσο αντίκλινες όσο και περίκλινες και η συχνότητα εμφάνισής τους αυξάνονταν όταν η μορφολογική βάση και η κάτω επιδερμίδα των κοτυληδόνων έρχονταν σε επαφή με το θρεπτικό υπόστρωμα. Οι ανωτέρω αναφερθείσες ασύμμετρες κυτταρικές διαιρέσεις είναι εκείνες που φανερώνουν ότι τα επιδερμικά κύτταρα **αλλάζουν το "ρόλο"** τους και μπορούν, ως εκ τούτου, να οδηγήσουν στην επαγωγή μιας κάποιας μορφογενετικής έκφρασης (οργανογένεσης ή σωματικής εμβρυογένεσης). Περίκλινες ασύμμετρες κυτταρικές διαιρέσεις έχουν παρατηρηθεί σε πολλά *in vivo* μορφογενετικά φαινόμενα όπως π.χ. στο σχηματισμό των καταφρακτικών κυττάρων στα στομάτια (Kaufman κ.α., 1970), στο σχηματισμό των ριζικών τριχιδίων (Cutter και Hung, 1972), στο σχηματισμό των γυρεοκόκκων (Angold, 1968) και στο σχηματισμό του ζυγωτού εμβρύου (Jensen, 1964). Σ' όλα τα παραπάνω παραδείγματα εκείνο που οδήγησε στο σχηματισμό του εξειδικευμένου οργάνου ήταν το μικρότερο θυγατρικό κύτταρο-προϊόν της ασύμμετρης κυτταρικής διαίρεσης. Το κύτταρο αυτό καλύπτεται σχεδόν στο σύνολό του από πυκνό κυτταρόπλασμα και ονομάστηκε από τον Bunning (1952) "μερισωματοειδές". Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης δεν είμαστε σε θέση να βεβαιώσουμε αν το μικρότερο θυγατρικό κύτταρο οδήγησε στη βλαστογένεση, αν και αυτό παρουσίαζε όλα τα παραπάνω μορφολογικά χαρακτηριστικά. Ο περιορισμός των κυτταρικών διαιρέσεων στα περιφερειακά κύτταρα τόσο της επιδερμίδας όσο και της τομής, πιθανό να σχετίζεται με αλληλεπιδράσεις πολλών παραγόντων όπως π.χ. του φωτισμού, της μεγάλης διαθεσιμότητας οξυγόνου, της ταχύτερης διαφυγής του CO_2 και των πτητικών παρεμποδιστών, της μεγαλύτερης διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων από το υπόστρωμα και της αντίδρασης των κυττάρων στο ερέθισμα της πληγής (Yeoman, 1970). Παρόμοια αποτελέσματα βλαστογενετικής ικανότητας σε περιφερειακά κύτταρα ελήφθησαν από έκφυτα κοτυληδόνων των ειδών *Pinus radiata* (Yeung κ.α., 1981) και *Pseudotsuga menziesii* ή Douglas-fir (Cheah και Cheng, 1978).

Παρατηρήσαμε ότι οι περιοχές του εκφύτου από τις οποίες σχηματίζονταν οι σφαιροειδείς κατασκευές (τα φυμάτια), που οδηγούσαν στην παραγωγή επίκτητων οφθαλμών και εκείνες από τις οποίες σχηματίζονταν κάλος ήταν εντελώς ευδιάκριτες μεταξύ τους και σε καμία περίπτωση δεν παράχθηκαν οφθαλμοί από κύτταρα κάλου. Εκτός τούτου τα μεν κύτταρα των φυματίων ήταν μερισωματικά τα δε κύτταρα του κάλου ήταν παρεγχυματικά. Οι παραπάνω διαφορές δείχνουν ότι τα φυμάτια, άρα και οι οφθαλμοί που παράγονταν από αυτά, προέρχονταν απευθείας από τα κύτταρα του έκφυτου, χωρίς τη μεσολάβηση κυττάρων του κάλου. Παρατηρήθηκε δηλαδή το φαινόμενο της απευθείας μορφογένεσης (στην παρούσα περίπτωση της βλαστογέ-

νεσης). Αυτό σημαίνει ότι η βλαστογένεση και η καλογένεση στην πιπεριά είναι ασυμβίβαστες μορφογενετικές εκφράσεις τουλάχιστον στο πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Το γεγονός της απευθείας βλαστογένεσης στην πιπεριά επιβεβαιώθηκε μεταγενέστερα και από τους Sadhana κ.α. (1989).

Από τις ανωτέρω παρατηρήσεις δεν είναι δυνατό να καθοριστεί αν κάθε μεριστωματική περιοχή προήλθε από τη διαίρεση ενός ή ταυτόχρονα περισσοτέρων κυττάρων, επειδή ο σχηματισμός των μεριστωματικών ιστών έλαβε χώρα καθόλη την επιφάνεια της μορφολογικής βάσης των εκφύτων κοτυληδόνων.

Τα φυλλοειδή συνιστούσαν πράσινες κατασκευές χωρίς στομάτια (φωτ. 4: Β). Μερικές από τις κατασκευές αυτές έφεραν ένα πολύ μικρό μίσχο και ένα κεντρικό νεύρο, πλην όμως στερούνταν δευτερογενούς δικτύου νεύρων και οφθαλμού στη βάση τους. Δεν υπήρξαν ενδείξεις που να οδηγούν στην υπόθεση ότι τα φυλλοειδή θα μπορούσαν να εξελιχθούν σε πραγματικά φύλλα. Επιπλέον, δε φαίνεται να υπάρχει κάποια συσχέτιση των φυλλοειδών με τα μεριστώματα ή με τις βλαστικές καταβολές οι οποίες σχηματίστηκαν ταυτόχρονα με αυτά. Τα φυλλοειδή σχηματίζονταν ανεξάρτητα από τα μεριστώματα, έστω και αν οι περιοχές σχηματισμού και των δύο μορφών βρίσκονταν πολύ κοντά ή σε επαφή μεταξύ τους. Η εξέλιξη και ανάπτυξη των φυλλοειδών υπήρξε ταχύτερη από ό,τι εκείνη των βλαστών κατά τις πρώτες 20 ημέρες και συνεπώς μπορούσαν να διακριθούν με γυμνό μάτι νωρίτερα από ό,τι οι βλαστοί. Παρόμοια αποτελέσματα σχετικά με την προέλευση και τα χαρακτηριστικά των φυλλοειδών κατασκευών παρατηρήθηκαν σε έκφυτα κοτυληδόνων κασσάβας (Stamp, 1984). Οι ίδιες ιστολογικές και μορφολογικές αλλαγές παρατηρήθηκαν κατά την πορεία βλαστογένεσης και στην περίπτωση που ως έκφυτα χρησιμοποιήθηκαν βλαστικές κορυφές πιπεριάς (Kanakis, 1987).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε θερμά το Δρ J. Stamp και τη Δρ J. O'Hara για τη συνεχή βοήθειά τους καθόλη τη διάρκεια της προετοιμασίας των παρασκευασμάτων και τον κ. P. Clark για τη φροντισμένη λήψη και εκτύπωση των φωτογραφιών. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλονται στο Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών Ελλάδος για τη χρηματοδότηση της εργασίας αυτής. Τέλος εκφράζουμε τις ευχαριστίες μας στην κ. Ευφροσύνη Κανάκη για την επιμεμελή δακτυλογράφηση του κειμένου και των πινάκων.

In vitro adventitious organogenesis in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.)

I. Some factors affecting the process

II. Histological and morphological changes

A.G. Kanakis¹ and G.G. Henshaw²

SUMMARY

Cotyledonous and hypocotylous explants of various genotypes of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) were taken from dry seeds and seedlings and were used as a tool for studying their morphogenic response. For that reason, the above explants were cultured *in vitro* on the Murashige and Skoog medium supplemented with 100 mg l⁻¹ myo-inositol and 3% (w/v) sucrose (MS3 medium). The presence into the medium of a cytokinin like BAP, kinetin or zeatin, as a sole hormone at a concentration between 1 and 10 mg l⁻¹ or the presence of BAP in combination with a low (< 1,75 mg l⁻¹) concentration of IAA, initiate primarily bud regeneration and later shoot production from the explants in a high frequency. The course of the adventitious bud regeneration process was significantly affected by the presence into the medium of the casamino acids and GA₃ (gibberellic acid) as well as by the developmental stage of the seedling (explant's donor) and by the genotype. The presence of GA₃ as a unique hormone into the medium did not encourage in any case the bud regeneration process, but in combination with BAP it accelerated the bud development into shoots. Explants of 15-day-old seedlings had lost 40-50% of their shoot regeneration competence. But part of the above loss was compensated in cotyledonous explants from 20-day-old seedlings. Shoot regeneration was reduced in aged cultures. Generally speaking, chilli or sweet-elongated type cultivars responded stronger than banana or bell type of sweet pepper genotypes in

¹ Technological Educational Institution of Kalamata, Greece

² Biological School of University of Bath, England

producing adventitious shoots.

Observations under a research microscope as well as a scanning electron microscope (SEM) showed that:

- a. The adventitiously regenerated shoots were risen from epidermal and/or hypoepidermal cells at the periphery of the cut surfaces of the cotyledonous explants.
- b. The number of the regenerated shoots per explant was gradually reduced from the proximal to the distal part of the cotyledonous explants.
- c. The adventitious regeneration process took place strongly on the abaxial epidermis of the explants and mainly when this epidermis was in touch with the medium.
- d. The adventitious shoots were initiated directly from the epidermal cells of the explant without any formation of callus. In other words, organogenesis and callogenesis were two incompatible processes, at least under the circumstances of the used protocol.

Key words: *Capsicum annuum*, cotyledon-hypocotyl explants, BAP, kinetin, zeatin, GA₃, casamino acid, abaxial-abaxial explant surface, proximal-distal part of explant, direct adventitious organogenesis, explant age, histological-morphological changes, symmetrical-assymetrical cell divisions.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ANGOLD, R.E., 1968. The formation of the generative cell in the pollen grain of *Endymion non-scriptus* L. *J. Cell Sci.* **3**: 573-578.
- ARROYO, R. and REJILLA, M. A., 1991. *In vitro* plant regeneration from cotyledon and hypocotyl segments in two bell pepper cultivars. *Plant Cell Reports*, **10** (8): 414-416
- BAHETEE, C. J., DHUMALE, D. B. and NERCAR, P. D. 1994. Plant regeneration in tissue cultures of pepper (*Capsicum annuum* L.) hybrids and varieties. *Capsicum and Eggplant Newsletter*, **13**: 65-67.
- BINZEL, M. L., SANKHLA, N., JOSHI, S. and SANKHLA, D. 1996. *In vitro* regeneration in chile pepper (*Capsicum annuum* L.) from "half-seed explants. *Plant Growth Regulation*, **20** (3): 287-293.
- BIONDI, S. and THORPE, T. A., 1982. Growth regulator effects, metabolite changes and respiration during shoot initiation in cultured cotyledon explants of *Pinus medica*. *Bot. Gaz.*, **143**: 20-25.
- BROWN, D.C.W. and ATANASSOV, A., 1985. Role of genetic background in somatic embryogenesis in *Medicago*. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, **4**: 111-122.
- BUNNING, E., 1952. Morphogenesis in plants. *Surv. Biol. Prog.*, **26**: 105-140.
- CHEAH, K.T. and CHENG, T-Y., 1978. Histological analysis of adventitious bud formation in cultured Douglas-fir cotyledon. *Am. J. Bot.*, **65**: 845-49.
- CHLYAH, H., 1974a. Inter-tissue correlation in organ fragments. Organogenetic capacity of tissues excised from stem segment of *Torenia fournieri* Lind cultured separately *in vitro*. *Plant Physiol.*, **54**: 341-48.
- CHLYAH, H., 1974b. Formation and propagation of cell division-centers in the epidermal layer of internodal segments of *Torenia fournieri* grown *in vitro*. Simultaneous surface observations of all the epidermal cells. *Can. J. Bot.*, **52**: 867-872.
- CUTTER, E.G. and HUNG, C-Y. 1972. Symmetric and asymmetric mitosis and cytokinesis in the root tip of *Hydrocharis morsus-ranae* L. *J. Cell Sci.*, **11**: 723-37.
- CHRISTOPHER, T. and RAJAM, M.V., 1994. *In vitro* clonal propagation of *Capsicum* spp. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, **38** (1): 25-29.
- DALE, P.J., 1980. Embryoids from cultured immature embryos of *Lolium multiflorum*. *Z. Pflanzenphysiol.*, **100**: 73-77.
- DUMAS DE VAULT, R., CHAMBONNET, D. and POCHARD, E., 1981. *In vitro* culture of pepper (*Capsicum annuum*) anthers: high rate plant production from different genotypes by 35° C treatment. *Agronomie*, **1**: 859-864.
- EZURA, H., NISHIMIYA, S. and KASUMI, M., 1993. Efficient regeneration of plants independent of exogenous growth regulators in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plant Cell Reports*, **12**: 676-680.
- FEDER, N. and O'BRIEN, T.P., 1968. Plant microtechnique: some principles and new methods. *Am. J. Bot.*,

55: 123-142.

- GAMBORG, O.L., MILLER, R.A. and OSIMA, K. 1968. Nutrient requirement of suspension cultures of soybean root cells. *Exper. Cell Res.*, **50**: 151-158.
- GEORGE, L., NARAYANASWAMY, S., 1973. Haploid *Capsicum* through experimental androgenesis. *Protoplasma*, **78**: 467-470.
- GLEDDIE, S.L., KELLER, W. and SETTERFIELD, G., 1983. Somatic embryogenesis and plant regeneration from leaf explants and cell suspensions of *Solanum melongena* (eggplant). *Can. J. Bot.*, **61**: 656-666.
- GROUT, B.W.W., WESTCOTT, R.J. and HENSHAW, G.G., 1977. Scanning electron microscope studies of multiple shoot production by meristem tip cultures of *Solanum x curtilobum*. *Ann. Bot.*, **41**: 1113-1116.
- GUNAY, A.L. and RAO, P.S. 1978. *In vitro* plant regeneration from hypocotyl and cotyledon explants of red pepper (*Capsicum*). *Plant Sci. Lett.*, **11**: 365-372.
- HACCIUS, B., 1978. Question of unicellular origin of non-zygotic embryos in callus cultures. *Phytomorphology*, **28**: 74-81.
- HAYDU, Z. and VASIL, Z.K., 1981. Somatic embryogenesis and plant regeneration from leaf tissues and anthers of *Pennisetum purpureum* Schum. *Theor. Appl. genet.*, **591**: 269-273.
- HENSHAW, G.G., O'HARA, J.F. and WEBB, K.J., 1982. Morphogenetic studies in plant tissue cultures. *In Differentiation in vitro: British Society for Cell Biology Symposium 4*, Yeoman, M.M. and TRUMAN, D.E.S. (eds), pp. 321-251. Cambridge University Press, Cambridge.
- HICKS, G.S., 1980. Patterns of organ development in plant tissue culture and the problem of organ determination. *The Bot. Rev.*, **46**(1): 1-23.
- JARRET, R.L., HASEGAWA, P.M. and BRESSEN, R.A., 1981. Gibberelic acid regulation of adventitious shoot formation from tuber discs of potato. *In vitro*, **17**: 825-830.
- JENSEN, W.A., 1964. Cell development during plant embryogenesis. *Brook-haven Symp. Biol.*, **16**: 179-202.
- JOHANSEN, D.A., 1940. Plant Microtechnique. McGraw-Hill, New York.
- KANAKIS, A.G., 1987. *In vitro* plant regeneration studies with *Capsicum annuum*. Ph.D. Thesis, University of Bath, England.
- KANAKHS, A.G. και HENSHAW, G.G. 2001. *In vitro* σωματική εμβρυογένεση στην πιπεριά (*Capsicum annuum* L.). I. Μερικοί παράγοντες που την επηρεάζουν και II. Ιστολογικές και μορφολογικές μεταβολές. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ - ΣΕΙΡΑ Ι - ΤΟΜΟΣ 12 - ΤΕΥΧΟΣ 4/2201, σελ. 268-288.
- KAUFMAN, P.B., PETERING, L.B., YOKUM, C.S. and BAIC, D., 1970. Ultrastructural studies on stomata development in internodes of *Avena sativa*. *Am. J. Bot.*, **57**: 33 - 49.
- KONAR, R.N. and NATARAJA, K., 1965. Experimental studies in *Ranunculus scleratus* L. Development of embryos from the stem epidermis. *Phytomorphology*, **15**: 132-37.
- LU, C.-Y., CHANDLER, S.F. and VASIL, I.K., 1984. Somatic embryogenesis and plant regeneration from cultured immature embryos of rye (*Secale cereale* L.). *J. Plant Physiol.*, **115**: 237-244.
- MIRZA, M. N., and NARKHEDE, M. N., 1996. Shoot tip culture in chilli (*Capsicum annuum* L.). *Ann. Plant Physiol.*, **10** (2): 148-152.
- MURASHIGE, T. and SKOOG, F., 1962. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.*, **15**: 473-497.
- PENCE, V.C., HASEGAWA, P.M. and JANICK, J., 1980. Initiation and development of asexual embryos of *Theobroma cacao* L. *in vitro*. *Z. Pflanzenphysiol.* **98**: 1-14.
- PHILLIPS, G.C. and HUBSTENBERGER, J.F., 1985. Organogenesis in pepper tissue cultures. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, **4**: 261-269.
- PRAKASH, A. H., RAO, K. S. and KUMAR, M. U., 1997. Plant regeneration from protoplasts of *Capsicum annuum* L. cv. California Wonder. *J. Bioscie.*, **22** (3): 339-344.
- RAJU, M.V.S. and MANN, H.E., 1970. Regenerative studies on the detached leaves of *Echeveria elegans*. Anatomy and regeneration of leaves in sterile culture. *Can. J. Bot.*, **28**: 1887-1891.
- ROGOZINSKA, J. and TOBOLEWSKA, G., 1992. Genotypic variation in organogenesis of six cultivars of pepper, *Capsicum annuum* L. *Genetica Polonica*, **33** (3): 213-217.

- SADHANA, A., CHANDRA, N. and KOTHARI, S. L. 1989. Plant regeneration in tissue cultures of pepper (*Capsicum annuum* L.) cv. Mathania. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, **16** (1): 47-55.
- SADHANA, A., CHANDRA, N. and KOTHARI, S. L. 1998. Shoot tip culture of pepper for micropropagation. *Current Science*, **57** (24): 1347-1349.
- SAXENA, P.K., GILL, R., RASHID, A. and MAHESHWARI, S.C., 1981. Isolation and culture of protoplasts of *Capsicum annuum* L. and their regeneration into plants flowering *in vitro*. *Protoplasma*, **108**: 357-360.
- SCHENK, R.U. and HILDEBRANDT, A.C., 1972. Medium and techniques for induction and growth of monocotyledonous and dicotyledonous plant cell cultures. *Can. J. Bot.*, **50**: 199-204.
- SINNOTT, E.W., 1950. *Cell and Psyche. The Biology of Purpose*. Chapel-Hill, University of North Carolina Press.
- STAMP, J.A., 1984. *In vitro* plant regeneration studies with cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Ph.D. Thesis, University of Birmingham.
- SZASZ, A., NERVO, G. and FARI, M., 1995. Screening for *in vitro* shoot forming capacity of seedling explants in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes and efficient plant regeneration using thidiazuron. *Plant Cell Reports*, **14** (10): 666-669.
- THORPE, T. A., 1980. Organogenesis *in vitro*. Structural, physiological and biochemical aspects. *Int. Rev. Cyt. Suppl.*, **11A**: 77-111.
- TORREY, J. G., 1966. The initiation of organized development in plants. *Adv. Morphogenesis*, **5**: 39-91.
- TRAN THANH VAN, K.M. and DRIRA, A., 1971. Definition of a simple experimental system of directed organogenesis de nuevo: Organ neof ormation from epidermal tissue of *Nautocalyx lynchei*. In *Les Cultures des Tissus des Plantes. Colloques Internationaux CNRS No. 193*, pp. 169-176, Paris.
- VASIL, V. and HILDEBRANDT, A.C., 1965. Differentiation of tobacco plants from single, isolated cells in microcultures. *Science*, **150**: 889-892.
- VASIL, V. and VASIL, I. K., 1982. The ontogeny of somatic embryos of *Pennisetum americanum* (L.) Schum. I. In cultured immature embryos. *Bot. Gaz.*, **143**: 454-465.
- WANG, Y.Y., SUN, C.S., WANG, C.C. and CHIEN, N.F., 1973. The induction of pollen plantlets of *Triticale* and *Capsicum annuum* from anther culture. *Sci. Sin.*, **18**: 147-151.
- YEOMAN, M.M., 1970. Early development in callus cultures. *Int. Rev. Cyt.*, **29**: 383-409.
- YEUNG, E. C., AITKEN, J., BIONDI, S. and THORPE, T. A., 1981. Shoot histogenesis in cotyledon explants of radiata pine. *Bot. Gaz.*, **142**: 494-501.

Ανάπτυξη φασματικών μοντέλων φυτομάζας και φυτοκάλυψης σίτου, με επίγεια τηλεπισκόπηση

Χρήστος Γ. Καρυδάς¹, Νικόλαος Γ. Συλλαίος²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη αυτή έγινε στα πλαίσια της ανάγκης για παραγωγή γρήγορων και φθηνών πολυφασματικών δεδομένων, κατά τα πρώιμα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας σίτου. Σκοπός της μελέτης ήταν η ανάπτυξη φασματικών μοντέλων υπολογισμού φυτομάζας και ποσοστού φυτοκάλυψης καλλιέργειας σίτου κατά το στάδιο του αδελφώματος. Χρησιμοποιήθηκε ειδική κάμερα ερυθρού-υπερύθρου (Red-NIR), σε συνδυασμό με μετρήσεις φυτομάζας, σε πειραματικό αγροτεμάχιο. Η εργασία ολοκληρώθηκε σε τρία στάδια: Αρχικά, ελήφθησαν εικόνες δειγμάτων της καλλιέργειας, με παράλληλη συλλογή και ζύγιση της φυτομάζας των δειγμάτων αυτών. Ακολούθησε ψηφιακή ανάλυση των εικόνων, των οποίων, τέλος, τα αποτελέσματα συνδυασμένα με τις μετρήσεις φυτομάζας αναλύθηκαν στατιστικά.

Αναπτύχθηκαν τρία μοντέλα: Με το πρώτο υπολογίζεται η φυτομάζα από το δείκτη βλάστησης NDVI και είναι εκθετικής μορφής, με το δεύτερο υπολογίζεται η φυτοκάλυψη από το δείκτη βλάστησης SAVI και είναι πολυωνυμικής μορφής 3^{ης} τάξης και με το τρίτο υπολογίζεται η φυτοκάλυψη από τη φυτομάζα και είναι επίσης πολυωνυμικής μορφής 3^{ης} τάξης. Για την τροφοδοσία του πρώτου και δεύτερου μοντέλου απαιτείται η δειγματοληπτική μόνο φωτογράφιση της καλλιεργούμενης έκτασης με την ειδική κάμερα, ενώ για την τροφοδοσία του τρίτου μοντέλου απαιτείται η δειγματοληπτική μόνο μέτρηση της φυτομάζας.

Η χρησιμότητα των μοντέλων βρίσκεται κυρίως στην ταχύτητα εκτίμησης της κατάστασης της καλλιέργειας, στο πρώιμο και κρίσιμο στάδιο ανάπτυξης στο οποίο αναφέρονται (στάδιο αδελφώματος), στο χαμηλό κόστος τόσο της ειδικής κάμερας όσο και της όλης διαδικασίας και στην χωρίς περιορισμούς κλίμακα καταγραφής. Επιπλέον, η δυνατότητα δημιουργίας Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS), μετά από συνδυασμό των εξερχόμενων από τα μοντέλα τιμών με πληροφορία για τη θέση των δειγμάτων, δημιουργεί ένα εργαλείο κατάλληλο για εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας (Precision Agriculture).

Λέξεις κλειδιά: Κάμερα Red-NIR, Δείκτες βλάστησης, Φασματικά μοντέλα, Γεωργία Ακριβείας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η φασματική συμπεριφορά του σίτου σε αδρή και μέση κλίμακα και κυρίως στα τελευταία καλλιεργητικά στάδια έχει μελετηθεί διεξοδικά (από τους Brunnschweiler, 1957, Goodman, 1959, Steiner, 1970, Howard, 1970, Colwell, 1971, Estes και Segner, 1974, American Society of Photogrammetry, 1975, και Siegal, 1980) (Συλλαίος, 1990). Δημιουργήθηκαν φασματικά μοντέλα πρόβλεψης παραγωγής και εκτίμησης ζημιών με βάση κυρίως πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες (από τους Pearson, Tucker and Miller, 1976, Quarmby et al., 1990, Bast and Palm, 1990 και Conese et al., 1990). Μελετήθηκαν, επίσης, η αναγνώριση ασθενειών (από τους Collwell, 1956, Meyer and Calprouzos, 1968, Mac Donald et al., 1972, κ.ά.) και η παρακολούθηση της ανάπτυξης των καλλιεργειών (από τους Thomas et al., 1971, Millard et al., 1978, κ.ά.) και προωθήθηκε η δημιουργία αρχείου φασματικών ταυτοτήτων για την υποστήριξη των γεωργικών στατιστικών (πρόγραμμα MARS από το Joint Research Center, περίοδος 1989-1998) (Συλλαίος, 1990, 2000).

Σε κλίμακα αγροτεμαχίου, όμως, και για κρίσιμα σημεία ανάπτυξης της καλλιέργειας (κυρίως πρώιμα στάδια) ή για συνθήκες έντασης της καλλιέργειας, η τρέχουσα εξυπηρέτηση από τους υπάρχοντες εμπορικούς δορυφόρους (με προϋπόθεση τη διατήρηση του κόστους σε χαμηλά επίπεδα) είναι ανεπαρκής. Μία πρόσφατη έρευνα έδειξε ότι λιγότερες από το 25% των κρίσιμων παραμέτρων της καλλιέργειας που είναι απαραίτητες

¹ Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων

² Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

στους γεωργούς, μπορούν να αποκτηθούν με χρήση των σημερινών εμπορικών δορυφορικών δεδομένων (Servilla, 1998). Το πρόβλημα αυτό οφείλεται, τόσο στη μικρή χωρική ανάλυση (ευκρίνεια), όσο και στη μικρή χρονική περιοδικότητα καταγραφής από τους σημερινούς δορυφόρους, ενώ όπου υψηλή ανάλυση και μεγάλη περιοδικότητα εξασφαλίζονται το κόστος ανέρχεται σε πολύ υψηλά επίπεδα. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα, θα πρέπει να καταστεί δυνατή η παραγωγή γρήγορων και φθηνών πολυφασματικών δεδομένων, ενώ ταυτοχρόνως θα πρέπει να καταδειχθούν και τα οικονομικά οφέλη από τη χρήση των δεδομένων αυτών (Anderson et al., 1999). Επίσης, η προσοχή θα πρέπει να στραφεί στα πρώιμα στάδια της καλλιέργειας, ώστε να είναι δυνατές παρεμβάσεις και προσαρμογή της διαχείρισης στις μεταβαλλόμενες ανάγκες της καλλιέργειας. Μια τέτοια προσέγγιση επιχειρήθηκε στην παρούσα μελέτη.

Σκοπός της μελέτης ήταν η ανάπτυξη φασματικών μοντέλων υπολογισμού φυτομάζας και ποσοστού φυτοκάλυψης καλλιέργειας σίτου, κατά το στάδιο του αδελφώματος. Η βασική υπόθεση της μελέτης είναι ότι με τα μοντέλα αυτά μπορεί να υπολογίζεται η φυτομάζα ή η φυτοκάλυψη μιας έκτασης σίτου στο στάδιο του αδελφώματος, μέσω της δειγματοληπτικής και μόνο φωτογράφισης της έκτασης αυτής με ειδική κάμερα, είτε ο υπολογισμός της φυτοκάλυψης μιας έκτασης μέσω της δειγματοληπτικής μέτρησης της φυτομάζας. Το μοντέλο αυτά προσφέρονται για ταχεία εκτίμηση της κατάστασης της καλλιέργειας κατά το στάδιο του αδελφώματος σε κλίμακα αγροτεμαχίου και με διατήρηση του κόστους σε πολύ χαμηλό επίπεδο. Αναδεικνύεται, επίσης, η χρησιμότητα των μοντέλων αυτών σε εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η πειραματική διαδικασία περιελάμβανε την καταγραφή παραμέτρων της καλλιέργειας, είτε τηλεπισκοπικά, με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή ερυθρού-εγγύς υπέρυθρου (κάμερα Red-NIR), είτε με άμεσες μετρήσεις. Η ανάλυση αφορούσε την ψηφιακή επεξεργασία των εικόνων και τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων, ενώ τα αποτελέσματα είχαν μορφή εικόνων, αριθμητική μορφή, ή μορφή γραφικών παραστάσεων. Οι περισσότεροι αξιόπιστες συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων προτείνονται ως φασματικά μοντέλα.

Από την πληροφορία που προέρχεται από τις εικόνες, εξήχθησαν οι δείκτες βλάστησης, η φυτοκάλυψη και η χαρακτηριστική ευθεία του εδάφους. Με τον όρο “δείκτες βλάστησης” εννοούνται διάφορες μορφές του λόγου “εγγύς υπέρυθρο/ερυθρό” (NIR/Red) μιας πολυφασματικής εικόνας, ο οποίος αποδεδειγμένα εκφράζει αναλογική σχέση με τον όγκο της υγιούς βλάστησης. Ένας τρόπος έκφρασης του όγκου της υγιούς βλάστησης είναι ο δείκτης υγιούς φυλλώδους επιφάνειας (LAI). Τα υγιή φύλλα ανακλούν λίγο στην κόκκινη περιοχή του φάσματος (Red) και ισχυρά στην εγγύς υπέρυθρη (NIR), ενώ στην περίπτωση μη υγιούς βλάστησης παρατηρείται μείωση της ανάκλασης στο εγγύς υπέρυθρο και αύξηση της ανάκλασης στο ερυθρό, δηλαδή μείωση της τιμής του λόγου NIR/Red. Οι πιο γνωστοί δείκτες βλάστησης είναι οι RVI (από τους Jordan, 1969 και Pearson and Miller, 1972), NDVI (από τους Krieger et al., 1969 και Rouse et al., 1973), IPVI (από τον Crippen, 1990), SAVI (από τον Huete, 1988), DVI (από τους Lillesand and Kiefer, 1994), PVI (από τους Richardson and Wiegand, 1977), WDV (από τον Clevers, 1988), κ.ά. (Gibson and Power, 2000). Με τον όρο “φυτοκάλυψη” εννοείται το επί τοις εκατό ποσοστό κάλυψης από τη βλάστηση (canopy cover percentage), δηλαδή το ποσοστό της καλλιεργούμενης επιφάνειας που είναι καλυμμένο με βλάστηση (Gibson and Power, 2000). Η “χαραριστική ευθεία του εδάφους” είναι μία μοναδική για κάθε έδαφος υποθετική ευθεία γραμμή στο φασματικό επίπεδο Red-NIR, η οποία αντιπροσωπεύει τη φασματική ταυτότητα του εδάφους και η μελέτη της δείχνει τις πιθανές φασματικές του ιδιαιτερότητες. Κατασκευάζεται με εντοπισμό τυχαίου πλήθους εικονοστοιχείων (pixel) γυμνού εδάφους στην εικόνα και εφαρμογή γραμμικής παλινδρόμησης των ραδιομετρικών τιμών (δηλαδή των τιμών ανάκλασης) των δειγμάτων αυτών (Gibson and Power, 2000). Τέλος, οι άμεσες μετρήσεις αφορούσαν κυρίως τη φυτομάζα, δηλαδή τη συνολική υπέργεια μάζα του φυτού.

Η εργασία πραγματοποιήθηκε σε τρία στάδια:

- Φωτογραφικές λήψεις δειγμάτων με κάμερα Red-NIR σε πειραματικό αγροτεμάχιο, με παράλληλη συλλογή της φυτομάζας ανά δείγμα. και ζύγιση στο εργαστήριο.
- Ψηφιακή ανάλυση των εικόνων.
- Στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, αξιολόγησή τους και εξαγωγή των φασματικών μοντέλων.

Περιοχή μελέτης

Το πειραματικό αγροτεμάχιο με την καλλιέργεια σίτου ήταν έκτασης 15 στρεμμάτων και βρίσκεται στο Αγρόκτημα του Α.Π.Θ., στη Μίκρα Θεσ/νίκης. Οι φωτογραφικές λήψεις έγιναν από 19-02-2000 έως 04-04-2000, χρονική περίοδο κατά την οποία ο σίτος βρισκονταν στο στάδιο του αδελφώματος. Τα στοιχεία της καλλιέργειας και το ημερολόγιο των καλλιεργητικών εργασιών φαίνονται στον Πίνακα Ι (πηγή: Αγρόκτημα Πανεπιστημίου Θεσ/νίκης). Όπως φαίνεται σε αυτόν, κατά το χρονικό διάστημα διεξαγωγής του πειράματος δεν εφαρμόστηκε άρδευση, ενώ το συνολικό ύψος βροχής ανήλθε σε 18,5 mm (πηγή: Ινστιτούτο σιτηρών).

Πίνακας Ι. Στοιχεία της καλλιέργειας και καλλιεργητικές φροντίδες
Table I. Information on the crop and the cultivation schedule

Ημερομηνία σποράς	26-11-1999
Ποικιλία	Yecora (μαλακός, βασικός σπόρος)
Καλλιεργητικές φροντίδες	1) Λίπανση (12 μονάδες αζώτου, 6 μονάδες φωσφόρου) στη σπορά 2) Ζιζανιοκτονία μεταφυτρωτική 3) Άρδευση 30 m ³ / στρ. (5-5-2000)
Ημερομηνία θερισμού	15-6-2000
Απόδοση	421 kg / στρέμμα

(πηγή: Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης)

Όσον αφορά το έδαφος του αγροτεμαχίου, προκειμένου να ανιχνευθούν πιθανές φασματικές ιδιαιτερότητές του, έγινε εδαφολογική ανάλυση (Pantén et al., 1998), τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στον Πίνακα ΙΙ. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι πρόκειται για ένα αμμο-αργιλλο-πηλώδες έδαφος, με συνηθισμένο για τα ελληνικά δεδομένα ποσοστό οργανικής ουσίας και ότι καμία από τις μετρημένες εδαφολογικές παραμέτρους δεν επηρεάζει ιδιαίτερα το φασματικό του χαρακτήρα.

Πίνακας ΙΙ. Αποτελέσματα εδαφολογικής ανάλυσης του αγροτεμαχίου
Table II. Results of soil analysis of the parcel

Μηχανική σύσταση (%)	Αργίλλος=24, Ιλύς=22, Άμμος=54
Οργανική ουσία (%)	1,73
Σύνολο διαλυτών αλάτων (%)	0,05
PH	7,8
Χρώμα (Munshel soil color chart)	10 YR @ 4/2

Δειγματοληψία

Για τη λήψη των εικόνων χρησιμοποιήθηκε η ψηφιακή κάμερα ADC (DYCAM Inc). Τα φασματικά χαρακτηριστικά της κάμερας είναι:

- Φασματική ευαισθησία: 600-1000 nm, σε δύο φασματικούς διαύλους α) 600-750 (Red) και β) 750-1000 nm (NIR).
- Ανάλυση εικόνας: 496x365 εικονοστοιχεία (pixel).
- Ανάλυση χρώματος: 8 bit/διάυλο.
- Δείκτες βλάστησης που υποστηρίζονται: NDVI, IPVI, SAVI.

Το λογισμικό που συνοδεύει την κάμερα παρέχει τη δυνατότητα αναγωγής σε κοινές συνθήκες φωτισμού, των εικόνων που λαμβάνονται κάτω από διαφορετικές συνθήκες και με αυτόν τον τρόπο τη δυνατότητα σύγκρισής τους. Προϋποτίθεται μόνο η λήψη εικόνας βαθμονόμησης (calibration image), με τη βοήθεια ειδικής πλακέτας διάχυσης (calibration diffuser).

Για τη διεξαγωγή του πειράματος, έγιναν πέντε επισκέψεις, σε διαφορετικές ημερομηνίες (κατά προσέγ-

γηση ανά 9 ημέρες) και σε κάθε επίσκεψη ελήφθησαν πέντε δείγματα (δηλαδή, συνολικά εικοσιπέντε δείγματα). Η επιλογή των δειγμάτων έγινε με τυχαία συστηματική δειγματοληψία, δηλαδή από τυχαίες θέσεις μέσα στο αγροτεμάχιο, οι οποίες όμως ήταν αντιπροσωπευτικές διαφορετικών καταστάσεων της καλλιέργειας.

Οι δειγματοληπτικές επιφάνειες ήταν εμβαδού 0,185 m² (50 x 37 cm) και φωτογραφήθηκαν κατακόρυφα. Στα σιτηρά η κατακόρυφη φωτογράφιση είναι επιβεβλημένη, για δύο λόγους: α) διότι η απόκλιση της γωνίας παρατήρησης από την κατακόρυφο αυξάνει την φασματική αντιπροσώπευση της βλάστησης εις βάρος της αντιπροσώπευσης του εδάφους και β) διότι στο ναδίρ της λήψης ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις από την ακανόνιστη κατανομή της ανάκλασης στα διάφορα μήκη κύματος (Lucht et al., 2000). Το φαινόμενο της ακανόνιστης κατανομής της ανάκλασης είναι πολύ σημαντικό στις εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας, όπου η απόδοση ή η βιομάζα εκτιμώνται μέσω φασματικών δεικτών, ιδιαίτερα αν η συνάρτηση της ανάκλασης δεν είναι σταθερή ως προς το μήκος κύματος (Anderson et al., 1999). Η φωτογράφιση γινόταν από τις ώρες 14:00 έως 15:00, ενώ το ύψος φωτογράφισης ήταν 1,4 m. Για το ύψος αυτό η χωρική ανάλυση στο έδαφος (μέγεθος εικονοστοιχείου – pixel) για κάθε εικόνα υπολογίζεται στα 1,1 mm². Εφαρμόστηκε φίλτρο για μείωση της συνολικής έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στο 25% της εισερχόμενης (κωδικός ND-4) και φίλτρο για την μείωση της μπλε και πράσινης με ταυτόχρονη ενίσχυση της ερυθρής και υπέρυθρης ακτινοβολίας (κωδικός R1). Τέλος, ελήφθη εικόνα βαθμονόμησης.

Αμέσως μετά από κάθε φωτογραφική λήψη γινόταν συλλογή της φυτομάζας των δειγμάτων και τοποθέτηση της σε αεροστεγείς σάκους. Στη συνέχεια, οι σάκοι μεταφέρονταν στο εργαστήριο, όπου οι ποσότητες της φυτομάζας ζυγίζονταν με το σύνολο της περιεχόμενης υγρασίας τους, δηλαδή κατά προσέγγιση στη φυσική τους κατάσταση. Κατόπιν, ξηραίνονταν σε πυριαντήριο (60 °C επί 48 ώρες) και ζυγίζονταν για δεύτερη φορά. Η αφαίρεση των τιμών της ξηρής φυτομάζας από τις τιμές της υγρής έδειξε ελάχιστη διακύμανση στην περιεχόμενη υγρασία της φυτομάζας, ώστε η περιεχόμενη υγρασία θεωρήθηκε ότι ήταν σταθερή κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας (περί το 80%) και ότι δεν επηρεάζει τη σχέση της φυτομάζας με τις άλλες παραμέτρους.

Ψηφιακή ανάλυση εικόνων

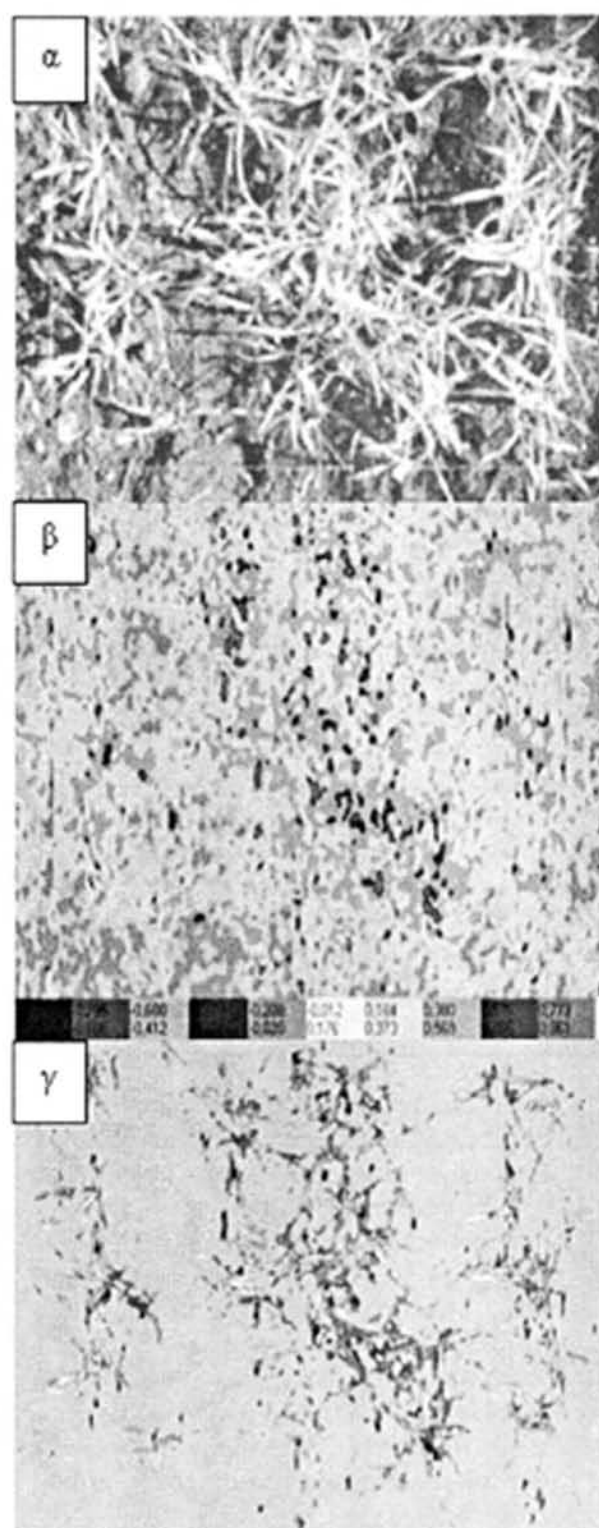
Η επεξεργασία των φασματικών δεδομένων βασίστηκε στο λογισμικό της κάμερας ADC, το οποίο αποτελείται από τα προγράμματα Dycam-PictureViewer και Briv32. Με το Dycam-PictureViewer έγινε η εμφάνιση και οπτική μελέτη των εικόνων, καθώς και η αναγωγή τους σε κοινές συνθήκες φωτισμού με βάση την εικόνα βαθμονόμησης. Με το Briv32 δημιουργήθηκαν και αναλύθηκαν οι εικόνες των δύο φασματικών διαύλων Red και NIR, οι εικόνες NDVI, IPVI και SAVI για κάθε δείγμα, από τις οποίες στη συνέχεια υπολογίστηκαν και οι αριθμητικές τιμές των δεικτών, καθώς και οι εικόνες φυτοκάλυψης. Ο δείκτης SAVI είναι ο μόνος, από τους προαναφερθέντες δείκτες βλάστησης που λαμβάνει υπόψη του τον παράγοντα “έδαφος”. Ο παράγοντας έδαφος εκφράζεται με το συντελεστή L και παίρνει τιμές από 0 έως 1, (0 για πλήρη κάλυψη με βλάστηση και 1 για γυμνό έδαφος). Στο συντελεστή L δόθηκε η τιμή 0,5, η οποία ενδείκνυται για ενδιάμεσες πυκνότητες βλάστησης, όπως στην περίπτωση της παρούσας μελέτης. Όσον αφορά το δείκτη υγιούς φυλλώδους επιφάνειας (LAI), ο οποίος δεν υπολογίζεται από το λογισμικό, υπολογίστηκε ως λόγος NIR/Red από τις αντίστοιχες εικόνες των δύο φασματικών διαύλων (NIR και Red).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η πειραματική διαδικασία έδωσε αποτελέσματα σε οπτική, αριθμητική και γραφική μορφή. Στα οπτικά αποτελέσματα περιλαμβάνονται η πηγαία (αρχική) εικόνα κάθε δείγματος, οι εικόνες των φασματικών δεικτών βλάστησης NDVI, IPVI και SAVI και οι εικόνες φυτοκάλυψης, στις οποίες διακρίνονται η βλάστηση από το γυμνό έδαφος (Εικόνα 1).

Τα αριθμητικά αποτελέσματα περιλαμβάνουν την τιμή της φυτομάζας των δειγμάτων στη φυσική τους κατάσταση (δηλαδή, με την περιεχόμενη υγρασία τους), τις ανά εικόνα ραδιομετρικές τιμές τους στους διαύλους Red και NIR, τις τιμές των δεικτών LAI (τιμές από 0 έως +∞), NDVI (τιμές από -1 έως +1), και SAVI (τιμές από -1,5 έως +1,5), και τις τιμές φυτοκάλυψης (ως ποσοστό % του εμβαδού του δείγματος) (Πίνακας ΙΙΙ).

Οι γραφικές παραστάσεις δείχνουν τη φυτομάζα και τη φυτοκάλυψη σε σχέση με κάθε έναν από τους δείκτες βλάστησης, καθώς και τη φυτομάζα σε σχέση με τη φυτοκάλυψη και αντιστρόφως. Σχεδιάστηκαν



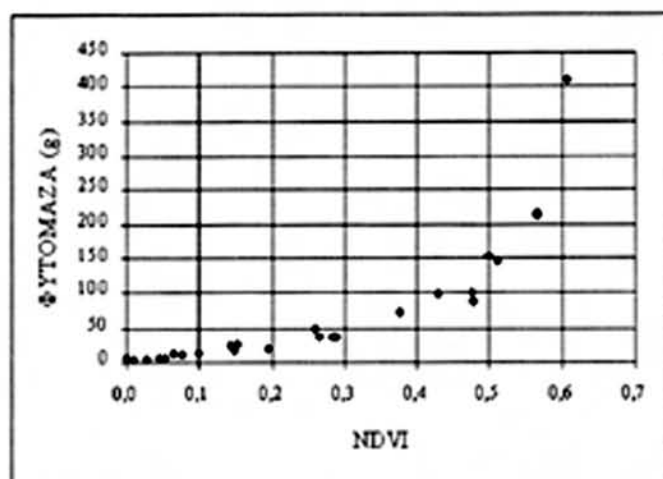
Εικόνα 1. α) Αρχική (πηγαία) εικόνα δείγματος, β) εικόνα NDVI του ίδιου δείγματος, γ) εικόνα διαχωρισμού βλάστησης - εδάφους

Picture 1. α) Original image of a sample, β) NDVI image of the same sample, γ) vegetation-soil discrimination image

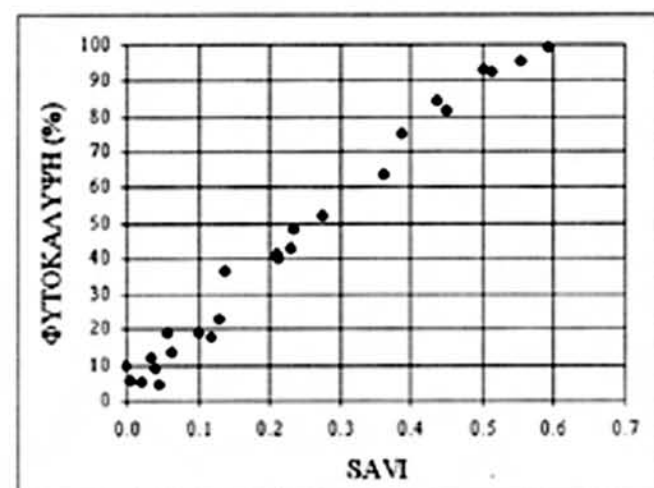
δηλαδή, γραφικές παραστάσεις Φυτομάζας - NDVI (Σχήμα 1), Φυτομάζας - SAVI, Φυτοκάλυψης - NDVI, Φυτοκάλυψης - SAVI (Σχήμα 2), Φυτοκάλυψης - Φυτομάζας, κλπ.

Στατιστική επεξεργασία

Η στατιστική επεξεργασία των αριθμητικών αποτελεσμάτων περιελάμβανε τις τιμές φυτομάζας, φυτοκάλυψης και δεικτών βλάστησης, οι οποίες εκτιμήθηκαν ως προς το βαθμό συσχέτισής τους (regression analysis), με βαθμό βεβαιότητας 95%. Χρησιμοποιήθηκαν η ευθύγραμμη, η πολωνυμική 2^{ου} και 3^{ου} βαθμού, η ύψωση σε δύναμη, η εκθετική και η λογαριθμική μορφή συσχέτισης και προέ-



Σχήμα 1. Γραφική παράσταση φυτομάζας - NDVI
Figure 1. Graphical representation of biomass - NDVI

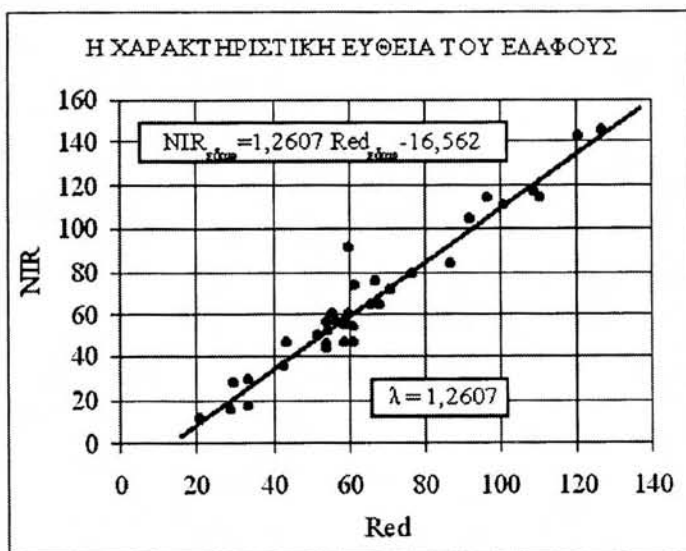


Σχήμα 2. Γραφική παράσταση φυτοκάλυψης - SAVI
Figure 2. Graphical representation of canopy cover percentage - SAVI

Πίνακας III. Αριθμητικά αποτελέσματα

Table III. Numeric results

Δείγμα	Φυτομάζα (g/δείγμα)	Ραδιομετρικές τιμές		Δείκτες βλάστησης			Φυτοκάλυψη (ποσοστό %)
		Red	NIR	LAI	NDVI	SAVI	
1	13.3	61	73	1.197	0.100	0.047	5
2	3.3	59	60	1.017	0.026	0.019	5
3	9.8	75	85	1.133	0.076	0.063	14
4	5.9	62	69	1.113	0.053	0.041	9
5	25.8	63	103	1.635	0.153	0.119	18
6	34.9	43	78	1.814	0.289	0.211	41
7	07.2	77	84	1.091	0.043	0.036	12
8	03.1	61	62	1.016	0.008	0.006	6
9	16.2	46	62	1.348	0.148	0.102	19
10	89.2	35	98	2.800	0.479	0.362	64
11	48.9	71	121	1.704	0.261	0.232	43
12	14.1	96	109	1.135	0.063	0.059	19
13	06.8	100	100	1.000	0.000	0.000	10
14	22.1	89	120	1.348	0.143	0.138	36
15	153.3	59	183	3.102	0.500	0.503	93
16	97.7	52	133	2.558	0.430	0.389	75
17	36.5	57	102	1.789	0.283	0.235	48
18	19.4	41	61	1.488	0.196	0.130	23
19	71.2	38	84	2.211	0.377	0.276	52
20	213.8	43	155	3.605	0.566	0.515	92
21	212.0	52	182	3.500	0.565	0.554	95
22	102.0	53	144	2.717	0.475	0.437	85
23	37.0	57	97	1.702	0.266	0.215	40
24	147.0	49	142	2.898	0.509	0.451	82
25	410.0	48	192	4.000	0.607	0.592	100

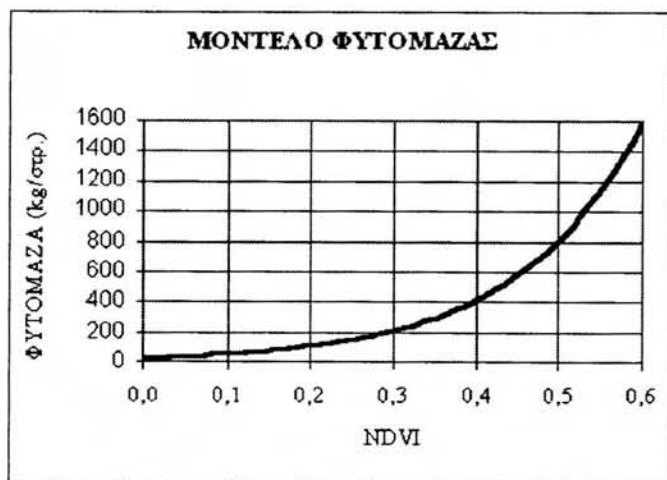


Σχήμα 3. Η χαρακτηριστική ευθεία εδάφους του αγροτεμαχίου
Figure 3. The soil line of the parcel

κυφαν σαράντα περιπτώσεις. Επίσης, υπολογίσθηκε η χαρακτηριστική ευθεία του εδάφους, με γραμμική στατιστική προσαρμογή μεγάλου αριθμού ραδιομετρικών τιμών εικονοστοιχείων γυμνού εδάφους από τις εικόνες. Η χαρακτηριστική ευθεία είναι η: $NIR_{\text{εδαφ}} = 1,2607 Red_{\text{εδαφ}} - 16,562$ ($R^2 = 0,9399$), με κλίση $\lambda = 1,2607$ (Σχήμα 3) και από τη μελέτη της προκύπτει ότι ο φασματικός χαρακτήρας του εδάφους δεν παρουσιάζει ιδιαιτερότητες, κάτι που συμφωνεί και με την εκτίμηση που προέκυψε με βάση τα αποτελέσματα της εδαφολογικής ανάλυσης.

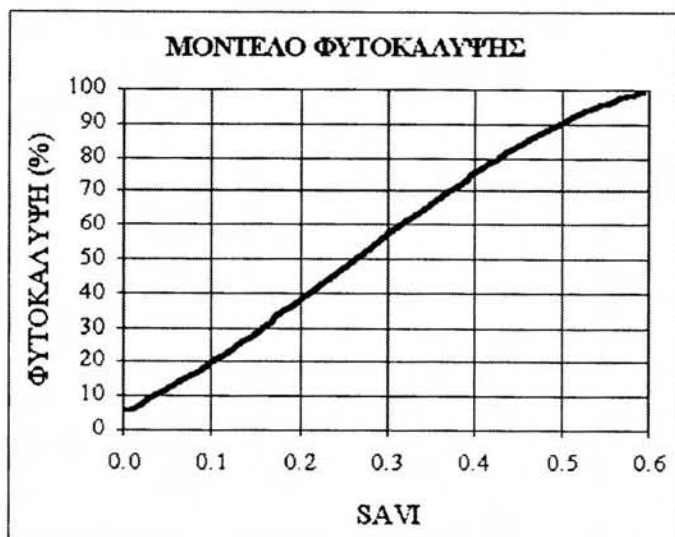
Φασματικά μοντέλα

Με κριτήρια το συντελεστή συσχέτισης (R^2) και το βαθμό συμβατότητας των εξισώσεων με τη φυσική σημασία των μεταβλητών τους, επι-



Σχήμα 4. Μοντέλο υπολογισμού φυτομάζας με φωτογραφικά δείγματα

Figure 4. Model for biomass estimation with photographic samples



Σχήμα 5. Μοντέλο υπολογισμού φυτοκάλυψης με φωτογραφικά δείγματα

Figure 5. Model for canopy cover percentage estimation with photographic samples

λέχθηκαν οι πιο αξιόπιστες εξισώσεις από αυτές που προέκυψαν από τη στατιστική επεξεργασία, για τον υπολογισμό της φυτομάζας και της φυτοκάλυψης σε καλλιέργεια σίτου κατά τη φάση του αδελφώματος, τόσο σε μεμονωμένο δείγμα, όσο και σε ολόκληρο αγροτεμάχιο:

1) Για τον υπολογισμό της φυτομάζας (ΦΜ) ενός μεμονωμένου δείγματος από το δείκτη NDVI, προτείνεται η εξίσωση (Σχήμα 4):

$$\Phi\text{Μ (g/m}^2\text{)} = 29,7562 e^{6,6262 \text{NDVI}} \quad (R^2=0,9534)$$

Η συνολική φυτομάζα ($\Phi\text{Μ}_{\text{ολ}}$) ενός αγροτεμαχίου, το οποίο μπορεί να χωρισθεί νοητά σε ν περιοχές παραλλακτικότητας (δηλαδή, περιοχές όπου επικρατούν διαφορετικές καλλιεργητικές συνθήκες), υπολογίζεται με τη λήψη φωτογραφικού δείγματος από κάθε μια από αυτές τις περιοχές και την ακόλουθη σχέση:

$$\Phi\text{Μ}_{\text{ολ}} \text{ (kg/στρέμμα)} = \frac{\sum_{\kappa=1}^{\nu} \alpha_{\kappa} \Phi\text{Μ}_{\kappa}}{\kappa=1} / 100$$

όπου ν : ο αριθμός των περιοχών παραλλακτικότητας, α_{κ} : έκταση της κ περιοχής ως % ποσοστό στο σύνολο της έκτασής του και $\Phi\text{Μ}_{\kappa}$: φυτομάζα του δείγματος κ , η οποία υπολογίζεται από το σχήμα 4. Ισχύει για τιμές από 0 έως 0,6.

Παράδειγμα: Έστω αγροτεμάχιο, το οποίο μπορεί να χωρισθεί εμπειρικά σε τρεις περιοχές ως προς την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Η πρώτη καταλαμβάνει το 50% της έκτασής του, η δεύτερη το 30% και η τρίτη το 20%. Με την ειδική κάμερα φωτογραφίζεται ένα δείγμα από κάθε μία από τις περιοχές αυτές και με το λογισμικό Brin32 υπολογίζεται ο NDVI για κάθε δείγμα. Έστω ότι το πρώτο δίνει NDVI 0,3, το δεύτερο 0,4 και το τρίτο 0,5. Από το Σχήμα 4 βρίσκουμε τις τιμές φυτομάζας που αντιστοιχούν στις παραπάνω τιμές NDVI, που είναι: 200, 400 και 800 kg/στρέμμα, αντίστοιχα. Η μέση φυτομάζα του αγροτεμαχίου θα είναι: $(50 \times 200 + 30 \times 400 + 20 \times 800) / 100 = 380$ kg/στρέμμα.

2) Για τον υπολογισμό της φυτοκάλυψης (ΦΚ) ενός μεμονωμένου δείγματος από το δείκτη SAVI, προτείνεται η εξίσωση (Σχήμα 5):

$$\Phi K(\%) = -294,23 \text{ SAVI}^3 + 215,27 \text{ SAVI}^2 + 134,66 \text{ SAVI} + 5,8643 \quad (R^2=0,9908)$$

Η συνολική φυτοκάλυψη ($\Phi K_{\text{ολ}}$) ενός αγροτεμαχίου, το οποίο μπορεί να χωριστεί νοητά σε n περιοχές παραλλακτικότητας, υπολογίζεται με τη λήψη φωτογραφικού δείγματος από κάθε μια από αυτές τις περιοχές και την ακόλουθη σχέση:

$$\Phi K_{\text{ολ}} (\%) = \left(\sum_{\kappa=1}^n \alpha_{\kappa} \Phi K_{\kappa} \right) / 100$$

όπου n : αριθμός των δειγμάτων, α_{κ} : έκταση της κάθε περιοχής του αγροτεμαχίου από την οποία ελήφθη το δείγμα κ ως το ποσοστό % στο σύνολο της έκτασής του και ΦK_{κ} : φυτοκάλυψη του δείγματος κ , η οποία υπολογίζεται από το σχήμα 5. Ισχύει για τιμές από 0 έως 0,6.

Τα δύο παραπάνω φασματικά μοντέλα είναι ανεξάρτητα από το μέγεθος του λαμβανόμενου δείγματος. Συνιστάται πάντως να υπάρχει ικανός αριθμός δειγμάτων μεγάλης επιφάνειας, ώστε να αντιπροσωπεύεται η γενική κατάσταση του αγροτεμαχίου. Η φωτογράφιση θα πρέπει να ακολουθεί τις προδιαγραφές και παραδοχές του πειράματος (κατακόρυφη λήψη, τις μεσημβρινές ώρες και λήψη εικόνας βαθμονόμησης).

3) Για τον υπολογισμό της φυτοκάλυψης (ΦK) ενός μεμονωμένου δείγματος από τη φυτομάζα, προτείνεται η εξίσωση (Σχήμα 6):

$$\Phi K (\%) = 0,000005 \Phi M^3 - 0,0043 \Phi M^2 + 1,0874 \Phi M + 4,7329 \quad (R^2=0,9711)$$



Σχήμα 6. Μοντέλο υπολογισμού φυτοκάλυψης χωρίς φωτογραφικά δείγματα

Figure 6. Model for canopy cover percentage estimation without photographic samples

0,185 m², ενώ στην αντίθετη περίπτωση θα πρέπει το βάρος της φυτομάζας που συλλέγεται να διαιρείται με τη σχέση του εμβαδού του δείγματος προς τον παραπάνω αριθμό.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σίτος είναι καλλιέργεια, η οποία περνά από ειδικά στάδια ανάπτυξης και όπου η πληροφορία για την

Η συνολική φυτοκάλυψη ($\Phi K_{\text{ολ}}$) ενός αγροτεμαχίου, το οποίο μπορεί να χωριστεί νοητά σε n περιοχές παραλλακτικότητας, υπολογίζεται με τη λήψη φωτογραφικού δείγματος από κάθε μια από αυτές τις περιοχές και την ακόλουθη σχέση:

$$\Phi K_{\text{ολ}} (\%) = \left(\sum_{\kappa=1}^n \alpha_{\kappa} \Phi K_{\kappa} \right) / 100$$

όπου n : αριθμός των δειγμάτων, α_{κ} : έκταση της κάθε περιοχής του αγροτεμαχίου από την οποία ελήφθη το δείγμα κ ως το ποσοστό % στο σύνολο της έκτασής του ΦK_{κ} : φυτοκάλυψη του δείγματος κ και ΦM_{κ} : φυτομάζα του δείγματος κ , οποία υπολογίζεται με ζύγιση. Ισχύει για τιμές από 0 έως 400 g.

Για τη χρησιμοποίηση του τρίτου μοντέλου απαιτείται μόνο η συλλογή και ζύγιση φυτικών δειγμάτων στη φυσική τους κατάσταση ώστε να βρεθεί η φυτομάζα τους (δηλ. δεν απαιτούνται φωτογραφικά δείγματα). Σημειωτέον όμως, ότι τα δείγματα πρέπει να είναι εμβαδού

κατάλληλη χρονική στιγμή εφαρμογής διαφόρων καλλιεργητικών επεμβάσεων, όπως λίπανση, άρδευση, ζιζανιοκτονία, κλπ είναι κρίσιμη, όσο σημαντική είναι επίσης και η ομοιομορφία του αγροτεμαχίου, τόσο πριν όσο και μετά από την εφαρμογή των επεμβάσεων αυτών (Anderson et al., 1999). Επίσης, η απόδοση της καλλιέργειας σίτου συνδέεται με την ανάπτυξη της βλάστησης και συνεπώς οι διάφοροι δείκτες βλάστησης, οι οποίοι εκφράζουν την ανάπτυξη της, μπορούν να συσχετισθούν με την απόδοση. Έτσι, από τη στιγμή που δημιουργείται μία σχέση ανάμεσα στην απόδοση και το δείκτη, ο γεωργός μπορεί να προβλέψει σχετικά νωρίς την απόδοση και έτσι μπορούν να επιτευχθούν καλύτερη διαχείριση συγκομιδής, σχεδιασμός των εισροών για την τρέχουσα ή την επόμενη καλλιεργητική περίοδο, κ.ά. (Zhang et al., 1998). Η απαραίτητη αυτή γνώση της γενικής κατάστασης της καλλιέργειας, αλλά και της ανάπτυξης της βλάστησης, η οποία θα βοηθήσει να ληφθούν οι κατάλληλες διαχειριστικές αποφάσεις μπορεί να προσφερθεί από τα προτεινόμενα στην μελέτη αυτή φασματικά μοντέλα, αφού δίνουν τη δυνατότητα για ταχύτατη εκτίμηση της φυτομάζας και της φυτοκάλυψης ενός αγροτεμαχίου, με τη λήψη ορισμένων μόνο φωτογραφικών (ή φυτικών, για το τρίτο μοντέλο) δειγμάτων.

Γεωργία Ακριβείας

Προκειμένου η καλλιέργεια του σίτου να αντιμετωπισθεί σε συνάρτηση με τη θέση της μέσα στο αγροτεμάχιο, οι φωτογραφικές λήψεις από κάθε σημείο μπορούν να συνδυασθούν με ταυτόχρονη λήψη γεωγραφικών συντεταγμένων από το σημείο. Για το σκοπό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS), ή ένα σύστημα ενδειξιών των θέσεων στο έδαφος. Εφόσον τα δείγματα πληρούν τις κατάλληλες προϋποθέσεις (πλήθος, κατανομή, κλπ), τα στοιχεία μπορούν να εισαχθούν σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) και με μεθόδους παρεμβολής (interpolation) να προκύψουν χάρτες φυτομάζας ή χάρτες φυτοκάλυψης. Η χρησιμότητα των χαρτών αυτών βρίσκεται στην ανίχνευση και τον εντοπισμό της χωρικής παραλλακτικότητας (spatial variability) στο αγροτεμάχιο κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, οπότε είναι δυνατές παρεμβάσεις για προσαρμογή της περαιτέρω διαχείρισης στη διαφοροποιημένη ανάπτυξη της καλλιέργειας. Ήδη, η χρήση κάμερας Red-NIR συνδυασμένη με Συστήματα Εντοπισμού Θέσης (GPS) έχει προταθεί για την ανίχνευση μεμονωμένων ανωμαλιών και προβληματικών σημείων ή περιοχών εντός του αγροτεμαχίου (Γήτας, κ.ά., 2000).

Εκτός όμως από την καταγραφή της χωρικής πληροφορίας, φωτογραφικές λήψεις σε σταθερά σημεία του αγροτεμαχίου επί σειρά καλλιεργητικών περιόδων, ή κατά τη διάρκεια της ίδιας καλλιεργητικής περιόδου, μπορούν να δώσουν χρονική σειρά δεδομένων φυτομάζας και φυτοκάλυψης για κάθε σημείο και με αυτόν τον τρόπο να προσφέρουν στην ανίχνευση της χρονικής παραλλακτικότητας (temporal variability) των δύο αυτών παραμέτρων εντός του αγροτεμαχίου.

Η γεωργική διαχείριση που λαμβάνει υπόψη της τη χωρική ή χρονική παραλλακτικότητα των διαφόρων παραμέτρων της καλλιέργειας σε ένα αγροτεμάχιο, ονομάζεται Γεωργία Ακριβείας. Σε αντίθεση δηλαδή με την παραδοσιακή γεωργία, η οποία αντιμετωπίζει τα αγροτεμάχια ως ομοιόμορφα και σταθερά (βασισμένη σε καταγραφή των μέσων όρων των ιδιοτήτων τους, ή ακόμη χειρότερα στη μη καταγραφή τους), η Γεωργία Ακριβείας αναγνωρίζει, καταγράφει και διαχειρίζεται την εγγενή ή επίκτητη, ως προς το χώρο και το χρόνο, παραλλακτικότητά τους (Καρυδάς & Συλλαίος, 2000). Η Γεωργία Ακριβείας στοχεύει στην προσαρμογή ή εναρμόνιση της καλλιεργητικής διαχείρισης στις ανάγκες των φυτών εντός ετερογενών αγροτεμαχίων (Bouma, 1997), ενώ συνδυάζει ιδανικά τη βελτίωση των οικονομικών αποτελεσμάτων της γεωργικής παραγωγής με την προστασία του γεωργικού και κατ' επέκταση του όλου περιβάλλοντος, αφού με τη λεπτομερή διαχείριση αποφεύγονται η υπέρμετρη ή άσκοπη χρησιμοποίηση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και άλλων γεωργικών εφοδίων (Stein et al., 1997).

Η Τηλεπισκόπηση είναι ένας από τους πλέον κατάλληλους τρόπους για την ανίχνευση και καταγραφή της παραλλακτικότητας εντός του αγροτεμαχίου και το τελευταίο διάστημα έχει την ευκαιρία να παίξει καθοριστικό ρόλο στη Γεωργία Ακριβείας (Anderson et al., 1999), αρκεί η απαραίτητη πληροφορία να μπορεί να παράγεται γρήγορα και φθηνά, να παρουσιάζεται με κατανοητό τρόπο και η συμβολή της στην αύξηση της παραγωγικότητας και την προστασία του περιβάλλοντος να είναι πειστική. Στην περίπτωση του σίτου στη φάση του αδελφώματος, τα φασματικά μοντέλα που παρουσιάζονται στην παρούσα μελέτη, συνδυαζόμενα με την καταγραφή γεωγραφικής πληροφορίας, πληρούν τις προϋποθέσεις αυτές, όμως η βελτίωσή τους και η γενίκευ-

σή τους, υπό την έννοια της χρησιμοποίησης δείγματος μεγαλύτερου σε αριθμό, αλλά και ευρύτερου, ως προς τους τύπους και τα στάδια του σίτου και τους τύπους και τις ιδιότητες των εδαφών, κρίνεται απαραίτητη.

Development of spectral models for estimation of a wheat crop biomass and canopy cover percentage, using ground remote sensing

Christos G. Karydas¹, Nikolaos G. Silleos²

Abstract

This study responds to the needs for rapid and cheap multi-spectral products during the early stages of a wheat crop. The aim of the study was to develop spectral models, to be used for biomass and canopy cover percentage estimation of wheat crop at tillering stage. Both, a special Red-NIR camera and biomass measurements were used, in an experimental parcel. The work was carried out in three stages: First, an image of each experimental plot was taken and the biomass in it was cut, collected and weighted. Image analysis followed and its results combined with biomass measurements were then statistically analyzed.

Three models were developed: By the first model, which is of exponential type, biomass can be estimated from NDVI, by the second model, which is of 3rd order polynomial type, canopy cover percentage can be estimated from SAVI and by the third, which is also of 3rd order polynomial type, canopy cover percentage can be estimated from biomass. For the feed of the first and second models, pictures of the plots from the cultivated area are only needed, while for the feed of the third model, biomass measurements of the sampling plots from the cultivated area are only needed.

The usefulness of these models lies on rapid estimation of wheat crop state, on early and crucial stage of wheat crop (tilling stage), on their cost effectiveness and on unconditional recording scale. Moreover, use of the output of the models together with spatial information of the plots in Geographical Information Systems (GIS), forms a very suitable tool for Precision Agriculture applications.

Key words: Red-NIR camera, Vegetation indices, Spectral models, Precision Agriculture.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anderson, J.E., Fischer, R.L., and Deloach, S.R. 1999. "Remote sensing and precision agriculture: Ready for harvest or still maturing?" *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67/10:1119-1122.
- Bouma, J. 1997. "Precision agriculture: spatial and temporal variability of environmental quality – Precision agriculture: introduction to spatial and temporal variability of environmental quality". Έκδοση Wiley, 5-17.
- Γήτας, Ι.Ζ., Συλλαίος, Ν.Γ., και Adediran, Α.Ο. 2000. "Η χρήση των Συστημάτων Ανάλυσης Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) και των Δορυφορικών Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης (GPS) σε εφαρμογές Γεωργίας Ακριβούς Διαχείρισης (Precision Agriculture)", στα Πληροφοριακά Συστήματα στον Αγροτικό Τομέα (πρακτικά του 2^{ου} Ειδικού Συνεδρίου της Ελληνικής Εταιρείας Επιχειρησιακών Ερευνών), 147-151.
- Gibson, P.J. and Power, C.H. 2000. "Introductory remote sensing – Digital image processing and applications". Έκδοση Routledge, 115-120.
- Καρυδάς, Χ.Γ. και Συλλαίος, Ν.Γ. 2000. "Γεωργία Ακριβείας: Περιγραφή της μεθόδου – Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές", στα Πληροφοριακά Συστήματα στον Αγροτικό Τομέα (πρακτικά του 2^{ου} Ειδικού Συνεδρίου της Ελληνικής Εταιρείας Επιχειρησιακών Ερευνών), 134-146.
- Lucht, W., C.B. Schaaf, A.H. Strahler, and R. P. d'Entremont. 2000. "Remote sensing of albedo using the BRDF in relation to land surface properties". *Observing Land From Space: Science, Customers and Technology*, Advances in Global Change Research Book Series, 4:175-186.

¹ *Mediterranean Agronomic Institute of Chania*

² *Aristotle University of Thessaloniki*

- Panten, K., Haneklaus, S., Schroeder, E., Schnug, E., Vanoverstraeten, M. 1998. "Remote sensing as an aid for the spatial management of nutrients", in Proceedings of the 4th International Conference on Precision Agriculture, B:1501.
- Servilla, M. 1998. "Agricultural remote sensing: Part two". Modern Agriculture. Vol. 1(7), 18-21.
- Stein, A., Hoosbeek, M.R., Sterk, G. 1997. "Precision agriculture: spatial and temporal variability of environmental quality – Space-time statistics for decision support to smart farming". Έκδοση Wiley, 120-133.
- Συλλαίος, Ν.Γ. 1990. "Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης στη Γεωργία". Έκδοση Γιαχούδη-Γιαπούλη, 131-133.
- Συλλαίος, Ν.Γ. 2000. "Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση και στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών". Έκδοση Γιαχούδη-Γιαπούλη, 172-173.
- Zhang M., Hendley, P., Drost, D., O'Neil, M. and Ustin, S. 1998. "Corn and soybean yield indicators using remotely sensed vegetation index", in Proceedings of the 4th International Conference on Precision Agriculture, B:1475.

Δυναμικώς ανοργανοποιούμενο άζωτο (No) και εδαφосунарτήσεις υπολογισμού του σε αλλουβιακές αποθέσεις της Δυτικής Ελλάδος

Νικ. Κ. Μουστάκας¹ και Κων. Σ. Κοσμάς¹

Περίληψη

Από δύο πρόσφατα αλλουβιακά πεδία, με διαφορετική προέλευση αλλουβιακών υλικών, ελήφθησαν εδαφικά δείγματα από τον ορίζοντα καλλιέργειας (Ap). Από το 1^ο αλλουβιακό πεδίο, όπου κυριαρχούν λεπτόκοκκα εδάφη ελήφθησαν 17 δείγματα, ενώ από το 2^ο αλλουβιακό πεδίο, στο οποίο κυριαρχούν χονδρόκοκκα εδάφη ελήφθησαν 12 δείγματα και προσδιορίστηκαν οι εξής ιδιότητες: κοκκομετρική σύσταση, οργανικός άνθρακας (O.C), ολικό άζωτο (Ns), ισοδύναμο CaCO₃ και pH. Έγινε επώαση των εδαφικών δειγμάτων στο εργαστήριο για 24 εβδομάδες, σύμφωνα με την προτεινόμενη διαδικασία από τους Stanford and Smith (1972), για υπολογισμό του αθροιστικά ανοργανοποιούμενου αζώτου (Nt). Με την εφαρμογή μη γραμμικής παλινδρόμησης στην εξίσωση $N_t = N_o (1 - e^{-kt})$, προσδιορίστηκε το δυναμικώς ανοργανοποιούμενο αζώτο (No) και ο ρυθμός ανοργανοποίησης (k). Η προσαρμογή των δεδομένων μας στο μοντέλο ήταν πολύ ικανοποιητική και μπορεί να λεχθεί ότι στα μελετηθέντα εδάφη η εξίσωση $N_t = N_o (1 - e^{-kt})$ μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την εκτίμηση των παραμέτρων No και k. Η εφαρμοζόμενη τεχνική για τον προσδιορισμό των παραμέτρων αυτών είναι η πολλαπλή παλινδρόμηση με είσοδο των ανεξάρτητων μεταβλητών κατά στάδια (stepwise multiple regression), με την οποία ορίζεται η καλύτερη εδαφосунарτηση (ΕΔΣ), που εκτιμά με ακρίβεια τις παραμέτρους No και k, από τις βασικές εδαφικές ιδιότητες. Έτσι η προτεινόμενη ΕΔΣ για τα εδάφη του 1^{ου} αλλουβιακού πεδίου (λεπτόκοκκα εδάφη) είναι: $No = -1174.3 + 449.97(Ns) + 163.72(pH) + 2.3(\text{άργιλο } \%)$ ($R^2 = 0.85$, $P = 0.03$, $n = 17$), ενώ για τα εδάφη του 2^{ου} αλλουβιακού πεδίου (χονδρόκοκκα εδάφη) είναι: $No = 52.11 + 474.96(Ns)$ ($R^2 = 0.79$, $P = 0.001$, $n = 12$). Συνδυάζοντας όλα τα εδάφη μαζί βρέθηκε ότι η ΕΔΣ: $No = 43.7 + 609.32(Ns)$ εκτιμά με ικανοποιητική ακρίβεια την παράμετρο No ($R^2 = 0.84$, $P = 0.001$, $n = 29$), ανεξάρτητα από το είδος των φυτικών υπολειμμάτων, την κοκκομετρική σύσταση, το pH και την περιεκτικότητα σε O.C. Επίσης η ΕΔΣ: $k = 0.38 - 0.04(pH)$ βρέθηκε ότι εκτιμά με ικανοποιητική ακρίβεια την παράμετρο k ($R^2 = 0.71$, $P = 0.000$, $n = 29$), ανεξάρτητα από το είδος των φυτικών υπολειμμάτων, την κοκκομετρική σύσταση, την περιεκτικότητα σε Ns και O.C. Τέλος διαπιστώθηκε ότι η ανοργανοποίηση του N είναι μεγαλύτερη στα χονδρόκοκκα από τα λεπτόκοκκα εδάφη.

Λέξεις κλειδιά: Δυναμικώς ανοργανοποιούμενο άζωτο (No), ρυθμός ανοργανοποίησης (k), μη γραμμική παλινδρόμηση, εδαφосунарτηση.

Εισαγωγή

Ο προσδιορισμός του οργανικού αζώτου που ανοργανοποιείται σε μια καλλιεργητική περίοδο είναι απαραίτητος για το σχεδιασμό μιας ορθολογικής λίπανσης. Πειράματα αγρού ή θερμοκηπίου για εκτίμηση του αζώτου που ανοργανοποιείται παρέχουν καλύτερα αποτελέσματα, αλλά είναι περισσότερο δαπανηρά και χρονοβόρα. Τη δεκαετία του '70 οι Stanford and Smith (1972) εισήγαγαν την έννοια του δυναμικώς ανοργανοποιούμενου αζώτου (No) και της σταθεράς του ρυθμού ανοργανοποίησης (k). Οι ερευνητές αυτοί αναφέρουν ότι το άζωτο που ανοργανοποιείται μπορεί να υπολογισθεί από πειράματα επώασης εδαφών σε ελεγχόμενες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας στο εργαστήριο και ότι η διαδικασία ακολουθεί εξίσωση κινητικής πρώτης τάξεως, που περιγράφεται από την απλή εκθετική σχέση $N_t = N_o (1 - e^{-kt})$, όπου Nt είναι το ανοργανοποιούμενο άζωτο (mg N kg^{-1} εδάφους) τη χρονική στιγμή t (wk), No είναι το δυναμικώς ανοργανοποιούμενο

¹ Γεωπ. Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τομέας Εδαφολογίας και Γεωργ. Χημείας, Ιερά Οδός 75, Βοτανικός 118 55, ΑΘΗΝΑ, Τηλ. 01/5294099; FAX: 01/5294092, e-mail: lsos2mon@aua.gr

άζωτο (mg N kg^{-1} εδάφους) και k είναι η σταθερά ρυθμού ανοργανοποίησης (wk^{-1}). Έκτοτε πολλές μελέτες έχουν γίνει προκειμένου να υπολογισθούν οι παράμετροι N_0 και k από πειράματα επώασης (Stanford and Smith 1978, Marion et al. 1981, Bonde and Rosswall 1987). Για αναλύσεις ρουτίνας μία τέτοια εκτίμηση του N_0 και k είναι δαπανηρή, οικονομικά και χρονικά. Οι Stanford and Smith (1978), βασιζόμενοι στα αποτελέσματα της σχέσης μεταξύ του εδαφικού αζώτου (N_s) και του N_0 έδειξαν ότι η εξίσωση παλινδρόμησης που συνδέει τις δύο αυτές παραμέτρους μπορεί να επεκταθεί και σε άλλα εδάφη. Το N_0 όμως δεν εξαρτάται αποκλειστικά από το N_s , αλλά επηρεάζεται από ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων, όπως το καθεστώς θερμοκρασίας και υγρασίας του εδάφους (Harper and Lynch 1981, Reinertsen et al. 1984, Aulakh, et al. 1991), τη φύση και την ποσότητα της προστιθέμενης οργανικής ουσίας, αλλά και τη θέση και το βάθος ενσωμάτωσης των φυτικών υπολειμμάτων (Holland and Coleman 1987, Maskina et al. 1993), την κοκκομετρική σύσταση και την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (Herlihy 1979, Simard and N'dayegamiye 1993), καθώς και από άλλους φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς παράγοντες. Μία συνάρτηση βασιζόμενη σε βασικές εδαφικές ιδιότητες όπως, κοκκομετρική σύσταση, φαινόμενη ειδική πυκνότητα, περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, από την οποία μπορεί να εκτιμηθούν οι σχέσεις του εδαφικού νερού, αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία σαν εδαφοσυναρτήρηση (ΕΔΣ) (Bouma and van Laanen 1987, Tietje and Tarpenhinchs 1993, Saxton et al. 1986). Εδαφοσυναρτήσεις έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης με επιτυχία για τον υπολογισμό της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (Bell and H. van Keulen, 1995) και τον υπολογισμό της ποσότητας «ασβέστου» για τη βελτίωση όξινων εδαφών (Μουστάκας κ.α., 1998). Δεδομένου ότι ιδιότητες, όπως το pH, η κοκκομετρική σύσταση, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, η περιεκτικότητα σε ισοδύναμο CaCO_3 και N_s μπορεί να υπολογισθούν σχετικά γρήγορα, μία ΕΔΣ εκτίμησης των N_0 και k βασιζόμενη στα εδαφικά αυτά χαρακτηριστικά θεωρείται αρκετά χρήσιμη, τόσο για την εφαρμογή ορθολογικής λίπανσης όσο και για τη λειτουργία μοντέλων ισοζυγίου αζώτου, με στόχο τη μεγιστοποίηση των αποδόσεων με προστασία του περιβάλλοντος. Η ικανότητα πρόβλεψης των N_0 και k με τη χρησιμοποίηση ΕΔΣ μπορεί να εξαρτάται και από το είδος του μοντέλου που χρησιμοποιείται (Ellert and Bettany, 1988). Η εφαρμογή ΕΔΣ για την πρόβλεψη του N_0 και της σταθεράς k σε ελληνικά εδάφη δεν έχει διερευνηθεί αρκετά.

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να διερευνηθεί εάν η προτεινόμενη εκθετική εξίσωση $N_t = N_0(1 - e^{-kt})$ από τους Stanford and Smith (1972), μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε ελληνικά εδάφη, καθώς επίσης και η ανάπτυξη ΕΔΣ που να προβλέπουν με σχετική ακρίβεια τις παραμέτρους N_0 και k .

Υλικά και Μέθοδοι

Ελήφθησαν δείγματα από δύο ομάδες αλλουβιακών εδαφών. Η 1^η ομάδα αποτελούνταν από δέκα επτά δείγματα, από τον ορίζοντα καλλιέργειας (Ap) εδαφών που βρίσκονται στο πρόσφατο αλλουβιακό πεδίο του ποταμού Αχελώου, στην πεδιάδα του Αγρινίου ($38^\circ 37' \text{ B}$, $21^\circ 23' \text{ A}$, 45 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας), ενώ η 2^η ομάδα αποτελούνταν από 12 δείγματα, από τον ορίζοντα καλλιέργειας (Ap) εδαφών που βρίσκονται στο αλλουβιακό πεδίο της περιοχής της Μικρής Πρέσπας ($40^\circ 31' \text{ B}$, $20^\circ 00' \text{ A}$, 853 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας). Τα εδάφη της 1^{ης} ομάδας σχηματίστηκαν από αλλουβιακές αποθέσεις προερχόμενες κυρίως από σκληρό ασβεστόλιθο και φλύσχη, ενώ τα εδάφη της 2^{ης} ομάδας σχηματίστηκαν από αλλουβιακές αποθέσεις προερχόμενες κυρίως από όξινα πετρώματα. Τα εδαφικά δείγματα ελήφθησαν στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου και στις δύο περιοχές (μέσα Οκτωβρίου). Η επιλογή των εδαφικών δειγμάτων έγινε έτσι ώστε να καλύπτονται οι κύριες εδαφικές μονάδες που καλλιεργούνται για μεγάλα χρονικά διαστήματα, με καλαμπόκι στη 1^η ομάδα και φασόλια στη 2^η ομάδα εδαφών, αντίστοιχα. Έτσι η ποσότητα και το είδος των φυτικών υπολειμμάτων που ενσωματώνονται ετησίως (ή παραμένουν στην επιφάνεια του εδάφους) και αποσυντίθενται είναι η ίδια, για όλα τα εδάφη της ίδιας ομάδας. Από κάθε εδαφική μονάδα ελήφθησαν 6 δείγματα, τα οποία αναμείχθηκαν, ομογενοποιήθηκαν και οι εργασίες που επακολούθησαν έγιναν στα σύνθετα ομογενοποιημένα εδαφικά δείγματα. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, αεροξηράθηκαν, λειοτριβήθηκαν και κοσκινίστηκαν με κόσκινο των 2 mm. Στο κλάσμα αυτό του εδάφους προσδιορίστηκαν: η κοκκομετρική σύσταση με τη μέθοδο του υδρομέτρου (Bouyoucos, 1951), το ποσοστό του οργανικού άνθρακα (O.C) με την τροποποιημένη μέθοδο υγρής καύσης Walkley-Black (Nelson and Sommers, 1982), το ισοδύναμο CaCO_3 με μέτρηση του εκλυόμενου CO_2 ύστερα από αντίδραση με HCl (Nelson, 1982), το ολικό N (N_s) με τη μέθοδο Kjeldahl (Bremner and Mulvaney, 1982) και το pH σε αιώρημα εδάφους: νερού 1:1 (McLean, 1982).

Τα εδάφη των ομάδων ταξινομούνται σαν Typic Xerofluvent, Aquic Xerofluvent και Aeric Fluvaquent (Soil Survey Staff, 1975). Τα εύρη τιμών καθώς και η τυπική απόκλιση των ιδιοτήτων των 2 ομάδων εδαφών φαίνονται στον Πίνακα Ι. Γενικά τα εδάφη που προέρχονται από το 1^ο αλλουβιακό πεδίο είναι λεπτόκοκκα ενώ τα εδάφη του 2^{ου} αλλουβιακού πεδίου είναι χονδρόκοκκα, αντικατοπτρίζοντας το υλικό προέλευσης των αλλουβιακών αποθέσεων. Η άργιλος των εδαφών της 1^{ης} ομάδας κυμαίνεται από 20% έως 47%, ενώ των εδαφών της 2^{ης} ομάδας από 5% έως 28%. Τα εδάφη της 2^{ης} ομάδας είναι όξινα και έχουν μικρότερη περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα και Ns, σε αντίθεση με αυτά της 1^{ης} ομάδας, που είναι αλκαλικά και έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα και Ns, σύμφωνα με το t-test (P=0.01).

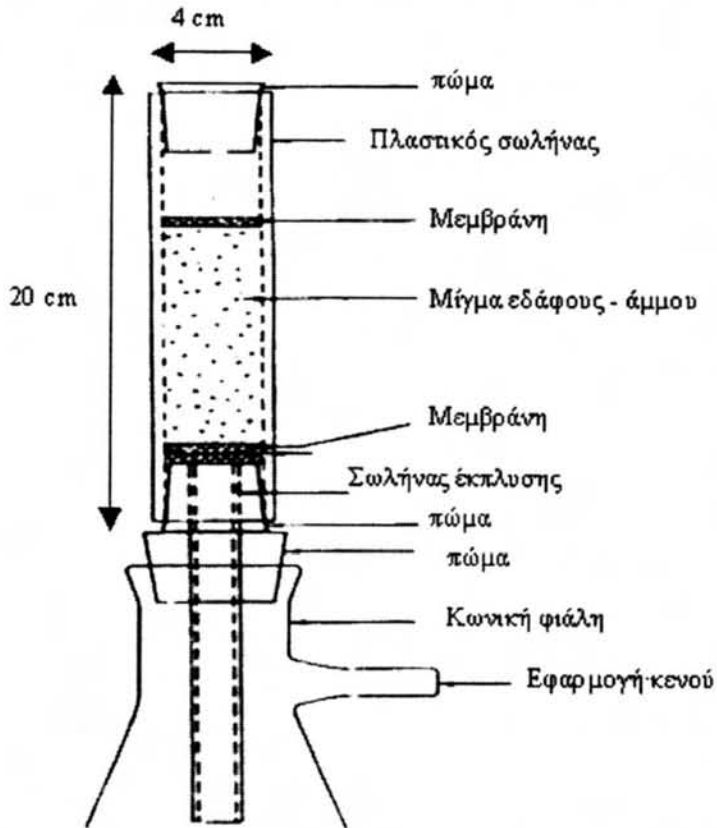
Πίνακας Ι. Μέσες, ελάχιστες, μέγιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις ορισμένων εδαφικών ιδιοτήτων, των μελετηθέντων εδαφών.

Table I. Mean, minimum, maximum, and standard deviation of selected soil properties, of the studied soils.

	Μέση (Mean)	Ελάχιστη (Min)	Μέγιστη (Max)	Τυπική απόκλιση (Standard Deviation)	Μέση (Mean)	Ελάχιστη (Min)	Μέγιστη (Max)	Τυπική απόκλιση
1^η ΟΜΑΔΑ ΕΔΑΦΩΝ (n = 17)					2^η ΟΜΑΔΑ ΕΔΑΦΩΝ (n = 12)			
Άμμος %	24.9	17.62	51.46	8.372	54.6	35.5	80.7	16.1
Ίλύς %	41.9	26.82	54.68	7.396	31.0	10.5	52.4	14.0
Άργιλος %	33.2	19.84	46.96	8.098	14.4	4.8	27.8	6.8
CaCO ₃ %	9.73	1.6	15.9	4.451	0.0	0.0	0.0	0.0
O.C %	1.90	0.93	4.91	0.983	1.2	0.8	2.0	0.34
Ns %	0.22	0.12	0.47	0.084	0.1	0.1	0.2	0.03
O.C/Nt	8.3	7.2	10.4	0.98	11.8	9.3	20.7	2.9
pH	7.21	7.0	7.4	0.117	5.4	4.4	6.3	0.55

Για τον προσδιορισμό του αθροιστικά ανοργανοποιούμενου αζώτου (Nt) ακολουθήθηκε η διαδικασία που προτείνεται από τους Stanford and Smith (1972). Έτσι 15 g εδάφους αναμίχθηκαν ομοιόμορφα με 15 g χαλαζιακής άμμου και το μίγμα τοποθετήθηκε σε κυλινδρικούς σωλήνες έκπλυσης, όγκου περίπου 50 ml. Το υπολειμματικό άζωτο που περιέχονταν στα εδαφικά δείγματα απομακρύνθηκε με διαδοχικές εκπλύσεις με 10 ml, 0.01 M CaCl₂ (Σχήμα Ι) (χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 100 ml) και δεν λήφθηκε υπόψη στους υπολογισμούς μας. Στη συνέχεια στα δείγματα προστέθηκαν 25 ml θρεπτικού διαλύματος (ελεύθερο N), το οποίο αποτελείται από 0.002 M CaSO₄, 0.002 M MgSO₄, 0.005 M Ca(H₂PO₄)₂·H₂O και 0.0025 M K₂SO₄. Η περίσσεια υγρασίας απομακρύνθηκε με την εφαρμογή κενού 0.02 MPa. Οι σωλήνες τοποθετήθηκαν για επώαση σε κλίβανο σταθερής θερμοκρασίας 30 ± 1 °C για 24 περίπου εβδομάδες συνολικά. Για κάθε δείγμα υπήρχαν δύο επαναλήψεις. Μετά από δύο εβδομάδες επώασης οι σωλήνες απομακρύνθηκαν από τον κλίβανο και έγινε έκπλυση των εδαφικών δειγμάτων με διαδοχικές εκπλύσεις με 10 ml, 0.01 M CaCl₂, με συνολική χρησιμοποίηση 100 ml του άλατος και υπολογίστηκε το ποσό του NH₄⁺-N και NO₃⁻-N, που εκπλύθηκε. Για τον προσδιορισμό του NH₄⁺-N χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Indophenol blue (Kempers, 1974), ενώ για τον προσδιορισμό του NO₃⁻-N η μέθοδος αναγωγής σε στήλες καδμίου (Henriksen and Selmer-Olsen 1970, Jackson et al. 1975). Το άθροισμα του NH₄⁺-N και NO₃⁻-N αποτελεί το άζωτο που ανοργανοποιήθηκε τη χρονική περίοδο των δύο εβδομάδων. Κατόπιν στα εδαφικά δείγματα προστέθηκαν 25 ml θρεπτικού διαλύματος, απομακρύνθηκε η περίσσεια υγρασίας και επανατοποθετήθηκαν στον κλίβανο σταθερής θερμοκρασίας. Η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε για περιόδους 2, 4, 6, 12 και 24 εβδομάδων αθροιστικά, με ενδιάμεσες εκπλύσεις και υπολογισμό του NH₄⁺-N και NO₃⁻-N σε κάθε έκπλυση. Το ανοργανοποιούμενο άζωτο κάθε έκπλυσης προστίθετο και αποτέλεσε το αθροιστικά ανοργανοποιούμενο άζωτο (Nt). Από την πρώτη βαθμού εκθετική εξίσωση $Nt = No(1 - e^{-kt})$, γνωρίζοντας το Nt και το χρόνο επώασης (t), υπολογίζεται το No και k. Τα No και k υπολογίστηκαν με την τεχνική της μη γραμμικής παλινδρόμησης, διότι δίδει περισσότερο ακριβή αποτελέσματα (Smith et al. 1980, Talpaz et al. 1981) από τις τεχνικές που πρότειναν αρχικά οι Stanford and Smith (1972). Η

προσαρμογή των δεδομένων μας στο μοντέλο αξιολογήθηκε από την τιμή του συντελεστή πολλαπλού προσδιορισμού ($R^2 = 1 - (RSS/TSS)$), όπου $RSS =$ άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων και $TSS =$ ολικό άθροισμα τετραγώνων) (Draper and Smith, 1981). Στη συνέχεια, έγιναν απλές συσχετίσεις μεταξύ των βασικών ιδιοτήτων του εδάφους και των N_o και k . Με την εφαρμογή της κατά στάδια επιλογής ανεξαρτήτων μεταβλητών πολλαπλής παλινδρόμησης τεχνικής (forward stepwise multiple regression), έγινε προσπάθεια εύρεσης της ΕΔΣ που να εκτιμά με σχετική ακρίβεια τα N_o και k . Ο έλεγχος διαφορών μεταξύ των εδαφικών ιδιοτήτων, καθώς και των τιμών N_o και k , στις δύο περιοχές έγινε με το t-test (Steele and Torrie, 1987). Η στατιστική ανάλυση έγινε με τη χρήση του στατιστικού πακέτου Statistica™, v. 5.5 (StatSoft, 1995).



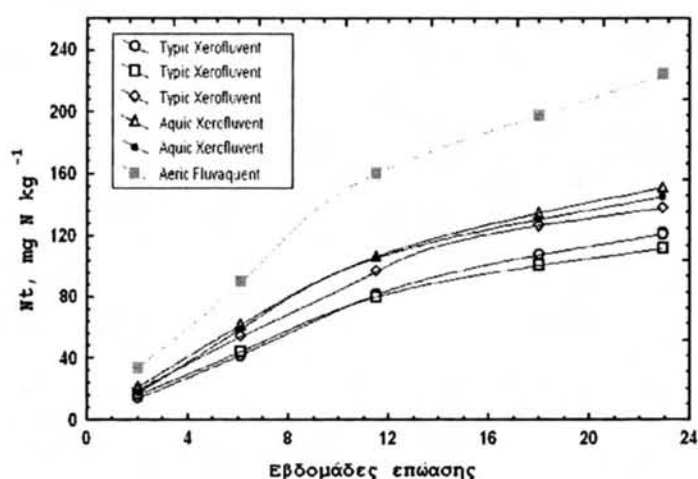
Σχήμα Ι. Συσκευή επώασης για έκπλυση NH_4^+-N και $NO_3^- -N$.
Figure I. Incubation apparatus for NH_4^+-N and $NO_3^- -N$ leaching.

(Aeric Fluvaquent), αλλά με τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα (4.91%). Οι συνθήκες στράγγισης επηρεάζουν την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και ως εκ τούτου και το οργανικό άζωτο, το οποίο με τη σειρά του επηρεάζει την τιμή του N που ανοργανοποιείται. Οι υπολογιζόμενες τιμές N_o και k βρίσκονται στα όρια τιμών που αναφέρονται από ερευνητές σε διάφορες χώρες (Stanford and Smith 1972, Talpaz et al. 1981, Campbell et al. 1981, Oyanedal and Rodriguez 1977, El Gharous et al. 1990). Παρατηρείται σημαντική διαφορά στις τιμές N_o και k , σε επίπεδο σημαντικότητας $P=0.001$, μεταξύ των δύο ομάδων εδαφών, σύμφωνα με το t-test.

Απλές γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ του N_o και k με τις ιδιότητες των εδαφών που μετρήθηκαν, δείχνουν ότι το N_o σχετίζεται θετικά με το N_s και τον $O.C$ και στις δύο ομάδες εδαφών (Πίνακες III,IV). Οι τιμές του k σχετίζονται αρνητικά με το N_s και $O.C$ μόνο στη δεύτερη ομάδα εδαφών, ενώ στη πρώτη ομάδα δεν υπάρχει συσχέτιση με καμία εδαφική ιδιότητα. Στα ίδια συμπεράσματα κατέληξε και ο Rasiah (1995), κάνοντας απλές συσχετίσεις μεταξύ του N_o και k με δεδομένα που χρησιμοποίησε από τη διεθνή βιβλιογραφία (Stanford and Smith 1972, Campbell et al. 1984, Simard and N'dayegamiye 1993, Herlihy 1979, De Jong et al. 1983, Cabrera and Kissel 1988). Σύμφωνα με τον Rasiah (1995), τα δεδομένα από στην εργασία των Stanford and Smith

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Το αθροιστικά ανοργανοποιούμενο (N_t) κατά τη διάρκεια της επώασης εμφάνισε την ίδια σχεδόν τάση μεταβολής για όλα τα εδάφη (Σχήμα II). Ο ρυθμός ανοργανοποίησης στα αρχικά στάδια της επώασης ήταν γενικά πολύ γρήγορος, μειούμενος όμως με την πάροδο του χρόνου. Οι καμπύλες του N_t είναι ίδιες με αυτές των Stanford and Smith (1972) και Campbell et al. (1984). Το εύρος τιμών, καθώς και η τυπική απόκλιση του N_o και k , όπως υπολογίστηκαν από τη εφαρμογή της τεχνικής της μη γραμμικής παλινδρόμησης, στην προτεινόμενη εξίσωση από τους Stanford and Smith (1972), φαίνονται στον Πίνακα II. Οι τιμές του R^2 κυμάνθηκαν από 0.984 έως 0.999 φανερώνοντας την καλή προσαρμογή των δεδομένων στο μοντέλο (Draper and Smith, 1981). Τα εδάφη της 1^{ης} ομάδας έδωσαν μεγαλύτερες τιμές N_o (99-307 $mg N kg^{-1}$) και μικρότερες τιμές k (0.05-0.082 wk^{-1}), σε αντίθεση με τα εδάφη της 2^{ης} ομάδας, που έδωσαν μικρότερες τιμές N_o (74-132 $mg N kg^{-1}$) και μεγαλύτερες τιμές k (0.069-0.251 wk^{-1}). Η μεγαλύτερη τιμή N_o (307.4 $mg N kg^{-1}$) παρατηρήθηκε στην 1^η ομάδα εδαφών σε ένα πολύ κακώς αποστραγγιζόμενο έδαφος



Σχήμα II. Καμπύλες αθροιστικά ανοργανοποιούμενου αζώτου (N_t), αντιπροσωπευτικών εδαφών και από τις δύο περιοχές.

Figure II. Cumulative N mineralization curves of representative soils from the two areas

που προέρχονται από τη 2^η ομάδα εδαφών, πιθανόν να οφείλεται στη μείωση της δραστηριότητας των μικροοργανισμών του εδάφους, καθώς η δραστηριότητά τους είναι συνάρτηση του pH (Alexander, 1965).

Το τμήμα της οργανικής ουσίας από το οποίο προέρχεται το μεγαλύτερο μέρος του N που είναι διαθέσιμο στα φυτά, θεωρείται ως αποτελεσματικότητα ανοργανοποίησης (N_o/N_s) ή ενεργό κλάσμα αζώτου της οργανικής ουσίας. Αυτό είναι μεγαλύτερο στα εδάφη της 2^{ης} ομάδας που είναι χονδρόκοκκα (Hassink et al., 1993). Πράγματι η τιμή N_o/N_s (10.4%), στα εδάφη της 2^{ης} ομάδας είναι στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη από την τιμή N_o/N_s (8.5%) των εδαφών της 1^{ης} ομάδας, σύμφωνα με το t-test ($P=0.001$). Οι Hassink et al. (1993) αποδίδουν το γεγονός αυτό το σε δύο μηχανισμούς φυσικής προστασίας του οργανικού N. Ο κύριος μηχανισμός φυσικής προστασίας στα αργιλώδη εδάφη είναι η παρουσία του οργανικού N στους μικρούς πόρους και η σύνδεσή του με την άργιλο, ενώ στα αμμώδη εδάφη η φυσική προστασία του οργανικού N οφείλεται στην σύνδεσή του με την άργιλο. Στα πηλώδη εδάφη και οι δύο μηχανισμοί φαίνεται να παίζουν ρόλο. Η φυσικά προστατευόμενη οργανική ουσία αναμένεται να έχει τιμές C/N μικρότερες από τη μη προστατευόμενη. Πράγματι, ο λόγος C/N στην 1^η ομάδα εδαφών (8.3), τα οποία είναι λεπτόκοκκα, είναι μικρότερος από το λόγο C/N της 2^{ης} ομάδας (11.8), που είναι χονδρόκοκκα, με βάση το t-test ($P=0.001$). Η θετική συσχέτιση μεταξύ της άργιλου και του N_o , στην 1^η ομάδα εδαφών φανερώνει την πιθανή σύνδεση των οργανικών υλικών με την

(1972), έδειξαν αρνητική συσχέτιση μεταξύ k και N_s , αν και οι ερευνητές αυτοί αναφέρουν στην ανάλυση της εργασίας τους σταθερή τιμή για το k. Η αύξηση του N_o με το N_s μπορεί να είναι αποτέλεσμα της αύξησης της πηγής έντασης π.χ. του υποστρώματος. Η αύξηση του N_o με την αύξηση της άργιλου πιθανόν να οφείλεται στην αύξηση της δεκτικότητας του υποστρώματος από τους μικροοργανισμούς. Μείωση αντίθετα του k με την αύξηση της άργιλου πιθανόν να είναι αποτέλεσμα της μείωσης της δεκτικότητας του υποστρώματος από τους μικροοργανισμούς. Η ανάλυση των δεδομένων της 1^{ης} ομάδας εδαφών δείχνει συσχέτιση του N_o , εκτός από τις παραμέτρους N_s και O.C και με την περιεκτικότητα σε άργιλο και συμφωνεί με τις παρατηρήσεις του Rasiah (1995). Η αρνητική συσχέτιση του k με το pH στα εδάφη

Πίνακας II. Μέσες, ελάχιστες, μέγιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις του ανοργανοποιούμενου αζώτου (N_o), του ρυθμού ανοργανοποίησης (k), της αποτελεσματικότητας ανοργανοποίησης (N_o/N_s) και του συντελεστού πολλαπλού προσδιορισμού (R^2), των δύο περιοχών.

Table II. Mean, minimum, maximum, and standard deviation of N_o , k, N_o/N_s , and R^2 , of the studied soils.

	Μέση (Mean)	Ελάχιστη (Min)	Μέγιστη (Max)	Τυπική απόκλιση (Standard Deviation)	Μέση (Mean)	Ελάχιστη (Min)	Μέγιστη (Max)	Τυπική απόκλιση (Standard Deviation)
1^η ΟΜΑΔΑ ΕΔΑΦΩΝ (n = 17)				2^η ΟΜΑΔΑ ΕΔΑΦΩΝ (n = 12)				
N_o , mg N kg ⁻¹	182.9	99.8	307.4	55.420	100.4	74.0	131.9	18.231
k, wk ⁻¹	0.0629	0.05	0.082	0.0093	0.138	0.069	0.251	0.055
N_o/N_s %	8.46	6.51	11.58	1.607	10.4	7.7	14.6	2.059
R^2	0.994	0.984	0.999		0.994	0.984	0.999	

Πίνακας III. Απλοί συντελεστές συσχέτισης (r), μεταξύ εδαφικών ιδιοτήτων, του ανοργανοποιούμενου αζώτου (No), του ρυθμού ανοργανοποίησης (k) και της αποτελεσματικότητας της ανοργανοποίησης (No/Ns), της 1^{ης} ομάδας εδαφών (n = 17).

Table III. Simple correlation coefficients (r) between No, k, No/Ns and selected soil properties, of the 1st area (n = 17).

	Άργιλος	CaCO ₃	O.C	Ns	pH	No	k	No/Ns
Άργιλος	1	-0.14	0.56*	0.61**	-0.27	0.66**	-0.01	-0.10
CaCO ₃		1	-0.26	-0.24	0.28	-0.12	-0.36	0.22
O.C			1	0.98***	-0.06	0.84***	-0.11	-0.38
Ns				1	-0.13	0.84***	-0.08	-0.41
pH					1	0.17	-0.07	0.59*
No						1	-0.06	0.13
k							1	0.04
No/N								1

*, **, *** Δηλώνουν στατιστικά σημαντική συσχέτιση σε επίπεδο πιθανότητας P?0.05, 0.01 και 0.001, αντίστοιχα

Πίνακας IV. Απλοί συντελεστές συσχέτισης (r), μεταξύ εδαφικών ιδιοτήτων, του ανοργανοποιούμενου αζώτου (No), του ρυθμού ανοργανοποίησης και της αποτελεσματικότητας της ανοργανοποίησης (No/Ns), της 2^{ης} ομάδας εδαφών (n = 12).

Table IV. Simple correlation coefficients (r) between No, k, No/Ns and selected soil properties, of the 2nd area (n =12)

	Άργιλος	O.C	Ns	pH	No	k	No/Ns
Άργιλος	1	-0.04	0.04	-0.34	0.01	0.08	0.01
O.C		1	0.87***	0.38	0.76**	-0.53	-0.64*
Ns			1	0.54	0.88***	-0.75**	-0.83**
pH				1	0.60*	-0.67*	-0.46
No					1	-0.73**	-0.52
k						1	0.68*
No/Ns							1

*, **, *** Δηλώνουν στατιστικά σημαντική συσχέτιση σε επίπεδο πιθανότητας P?0.05, 0.01 και 0.001, αντίστοιχα

αργίλο. Δεν παρατηρείται το ίδιο με τη 2^η ομάδα εδαφών καθώς αυτά είναι αμμώδη. Οι τιμές No/ Ns, βρίσκονται μέσα στα όρια τιμών που αναφέρονται και από άλλους ερευνητές (Stanford and Smith 1972, Herlihy 1979, Campbell and Souster 1982, Feingin et al. 1974).

Για τον υπολογισμό του δυναμικώς ανοργανοποιούμενου N (No) χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της κατά στάδια επιλογής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξίσωση παλινδρόμησης (forward stepwise multiple regression). Ως ανεξάρτητες μεταβλητές θεωρήθηκαν τα μηχανικά κλάσματα της άμμου, ιλύος και αργίλου, το pH, το Ns, ο O.C. και η περιεκτικότητα σε CaCO₃. Με την εφαρμογή της τεχνικής αυτής, για τα εδάφη της 1^{ης} ομάδας, εισήλθαν στην εξίσωση παλινδρόμησης κατά σειρά οι ανεξάρτητες μεταβλητές Ns, pH και άργιλος, ενώ αποκλείστηκαν όλες οι υπόλοιπες. Η προτεινόμενη εξίσωση παλινδρόμησης είναι: $No = -1174.3 + 449.97(Ns) + 163.72(pH) + 2.3(\text{άργιλο } \%)$ ($R^2 = 0.85$, $P = 0.03$). Για τα εδάφη της 2^{ης} ομάδας, όπως προκύπτει από την ανάλυση των δεδομένων η εξίσωση παλινδρόμησης που προτείνεται είναι: $No = 52.11 + 474.96(Ns)$ ($R^2 = 0.79$, $P = 0.001$).

Μεταξύ των τιμών No και k των δύο περιοχών, σύμφωνα με το Bartlett's test δεν παρατηρείται ανομοιογένεια του πειραματικού σφάλματος, επομένως τα δείγματα μπορεί να συνδυασθούν και να γίνει κοινή ανάλυση (Steel and Torrie, 1987). Έτσι για το σύνολο των εδαφών (29), προκύπτει ότι το No μπορεί να προβλεφθεί με μεγάλη ακρίβεια από τη μέτρηση μόνο του Ns, σύμφωνα με την εξίσωση: $No = 43.7 + 609.32(Ns)$

($R^2=0.84$, $P=0.001$). Η παρουσία αλληλοσυσχέτισης που παρατηρείται μεταξύ των εδαφικών ιδιοτήτων, κυρίως στην κοινή ανάλυση των δεδομένων (Πίνακας V), πιθανόν να έχει επιπτώσεις στην εξαγωγή συμπερασμάτων, όσον αφορά την εκτίμηση του No από τη χρήση εδαφουσυνάρτησης. Η έλλειψη αυτοσυσχέτισης, δηλαδή η ανεξαρτησία των υπολοίπων σε σχέση με τις διαδοχικές τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών, αποδεικνύεται από την τιμή Durbin-Watson, 1.89 και 1.86 για τις δύο ομάδες εδαφών αντίστοιχα, που προσεγγίζει την τιμή 2, η οποία είναι δηλωτική της ανεξαρτησίας των υπολοίπων (Σιάρδος, 2000). Η αντίστοιχη τιμή Durbin-Watson για το σύνολο των εδαφών είναι 1.91, τιμή που είναι και αυτή δηλωτική της ανεξαρτησίας των υπολοίπων. Ως προς την παρουσία πολύ μεγάλης ή πολύ μικρής τιμής των υπολοίπων, αιτία μη καλής προσαρμογής του μοντέλου της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, διαπιστώθηκε ότι τόσο για τις δύο ομάδες εδαφών όσο και για το σύνολο των εδαφών μία μόνο από τις παρατηρήσεις, ανά περίπτωση, αντιστοιχεί σε υπόλοιπο με απόλυτη τιμή μεγαλύτερη του 3. Επομένως, η παρουσία αλληλοσυσχετίσεων δεν επηρεάζει την προσαρμογή των δεδομένων στο μοντέλο.

Πίνακας V. Απλοί συντελεστές συσχέτισης (r), μεταξύ εδαφικών ιδιοτήτων, του ανοργανοποιούμενου αζώτου (No) του ρυθμού ανοργανοποίησης και της αποτελεσματικότητας της ανοργανοποίησης (No/Ns) και από τις δύο περιοχές ($n = 27$).

Table V. Simple correlation coefficients (r) between No, k, No/Ns and selected soil properties ($n= 27$)

	Άργιλος	CaCO ₃	O.C	Ns	pH	No	K	No/Ns
Άργιλος	1	0.60**	0.57**	0.75***	0.68***	0.78***	-0.56**	-0.41*
CaCO ₃		1	0.21	0.46*	0.78***	0.52**	-0.63***	-0.32
O.C			1	0.93***	0.41*	0.83***	-0.40	-0.50**
Ns				1	0.66***	0.92***	-0.62***	-0.62***
pH					1	0.69***	-0.84***	-0.52**
No						1	-0.60**	-0.34
k							1	0.65***
No/Ns								1

*, **, *** Δηλώνουν στατιστικά σημαντική συσχέτιση για $P < 0.05$, 0.01 και 0.001, αντίστοιχα

Το k δεν παρουσίασε συσχέτιση με καμία από τις εδαφικές ιδιότητες στην 1^η ομάδα εδαφών. Αντίθετα εμφάνισε αρνητική συσχέτιση με το Ns και O.C στη 2^η ομάδα εδαφών (Πίνακες III, IV), ενώ για το σύνολο των εδαφών παρατηρήθηκε αρνητική συσχέτιση του k με το Ns, O.C, pH και άργιλο % (Πίνακας V). Η εύρεση επομένως συνάρτησης που να εκτιμά την k από βασικές εδαφικές ιδιότητες περιορίστηκε στην 2^η ομάδα, αλλά και στο σύνολο των εδαφών. Η εφαρμογή της τεχνικής της κατά στάδια εισόδου των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξίσωση παλινδρόμησης, έδειξε ότι για τη 2^η ομάδα εδαφών το k μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση: $k = 0.26 - 1.21(Ns)$ ($R^2 = 0.56$, $P = 0.005$), με μέτρηση μόνο του Ns. Για το σύνολο των εδαφών, η προτεινόμενη εξίσωση παλινδρόμησης είναι: $k = 0.38 - 0.04(pH)$ ($R^2 = 0.71$, $P = 0.001$).

Οι τιμές Durbin-Watson 1.91 και 1.84 για την 2^η ομάδα και για το σύνολο των εδαφών αντίστοιχα, είναι και στην περίπτωση εκτίμησης του k τιμές δηλωτικές της καλής προσαρμογής των δεδομένων στο μοντέλο (Σιάρδος, 2000). Και στην περίπτωση εκτίμησης του k η παρουσία αλληλοσυσχετίσεων δεν επηρέασε την προσαρμογή των δεδομένων στο μοντέλο.

Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη ενισχύει προηγούμενες εργασίες, που αναφέρουν ότι η απλή εκθετική εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για τον υπολογισμό του No και k, με την τεχνική της μη γραμμικής παλινδρόμησης, όπως φάνηκε και στα μελετηθέντα εδάφη.

Τα No και k μπορεί να προβλεφθούν ικανοποιητικά από το ολικό άζωτο και το pH του εδάφους, αντίστοιχα, ανεξάρτητα του τύπου των φυτικών υπολειμμάτων που ενσωματώνονται στο έδαφος, της περιεκτικότητας σε άμμο, ιλύ, άργιλο, οργανικό άνθρακα και ισοδύναμο CaCO₃.

Το No είναι μεγαλύτερο σε λεπτόκοκκα εδάφη, ενώ το k είναι μεγαλύτερο σε αμμώδη εδάφη.

Η αποτελεσματικότητα της ανοργανοποίησης είναι μεγαλύτερη σε αμμώδη εδάφη.

Η μέση τιμή του k για το σύνολο των εδαφών που μελετήθηκαν ήταν $k=0.065 \text{ mg N kg}^{-1}$, ίδια με την προτεινόμενη από τους Stanford and Smith (1972) τιμή k , για ευρεία εφαρμογή σε αλλουβιακά εδάφη, Entisols.

Potentially mineralizable nitrogen (No) and pedotransfer functions to predict it, in alluvial soils in Western Greece

N. K. Moustakas¹ and K. S. Kosmas¹

Abstract

Soil samples from two recently alluvial plains with different origin of alluvial deposits were collected from the Ap horizon. Seventeen soil samples from the 1st alluvial plain which consisted mainly of fine textured soils were collected while from the 2nd alluvial plain twelve soil samples which consisted mainly of coarse textured soils were collected. All samples were characterized for particle size distribution, pH, CaCO₃ equivalent, organic carbon content and total soil N. Also the soil samples were incubated for 24 weeks in the laboratory, according to procedure suggested by Stanford and Smith (1972) and the net mineralization nitrogen (Nt) for each soil sample was determined. A non linear regression technique was applied to the single exponential equation $Nt=No(1-e^{-kt})$, in order to determine the potentially mineralizable nitrogen (No) and the decomposition rate (k). The adaptation of our data to the model was satisfactory and we can say that the equation $Nt=No(1-e^{-kt})$ can be used to predict the parameters No and k with accuracy. In order to predict these parameters the forward stepwise multiple regression technique was used. By using No and k as dependent variables and measured soil properties as independent variables pedotransfer functions (PTF) could be derived. The proposed PTF to predict No for fine textured soils was $No = -1174.3 + 449.97(Ns) + 163.72(pH) + 2.3(\text{Clay } \%)$, ($R^2 = 0.85$, $P=0.03$, $n=17$), and for coarse textured soils was $No=52.11 + 474.96(Ns)$, ($R^2 = 0.79$, $P=0.001$, $n=12$). In a pooled analysis the PTF, $No= 43.7 + 609.32(Ns)$, was found to predict accurately the No ($R^2=0.84$, $P=0.001$, $n=29$), independent of the kind of crop residues, texture, clay and organic carbon content. Also, the PTF $k= 0.38 - 0.04(pH)$ was found to predict accurately k ($R^2=0.71$, $P=0.000$, $n=29$), independent of the kind of crop residues, texture, clay, organic carbon and total soil N content. Finally the percentage of mineralizable organic nitrogen was higher in coarse than in fine textured soils.

Key words: Potentially mineralizable nitrogen (No), mineralization rate constant (k), single exponential equation, non-linear regression, pedotransfer function

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alexander, M. 1965. Nitrification. In Bartholomew and Clark, (eds). Soil Nitrogen. Agronomy 10, p 309-335. ASA, Madison, WI.
- Aulakh, M.S., Doran, J.W., Walters, D.T., Mosier, A.R., and D.D. Francis. 1991. Crop residue type and placement on denitrification and mineralization. Soil Sci Soc. Am. J. 55:1020-1025.
- Bell, M.A., and H. van Keulen. 1995. Soil pedotransfer functions for four Mexican soils. Soil-Sc. Soc. Am. J. 59:865-871.
- Bonde, T.A., and T. Rosswall. 1987. Seasonal variation of potentially mineralizable nitrogen in four cropping systems. Soil Sci Soc. Am. J. 51:1508-1514.
- Bouma, J., and J.A.J. van Laanen. 1987. From soil characteristics to land qualities. Transfer functions and threshold values, pp. 106-110. In K.J. Beck et al. (eds). Quantified Land Evaluation. Proceedings Workshop ISSS and SSSA, Washington, D.C., 27 April 2 May 1986. International Institute Aerospace Survey Earth Science, Pub. No 6. ITC Publishers, Enschede, The Netherlands.
- Bouyoucos, G. J. 1951. An improved type of soil hydrometer. Soil Sci. 76:377-378.
- Bremner, J.M., and C.S. Mulvaney. 1982. Salicylic acid-thiosulfate modification of Kjeldahl method to

¹ Agricultural University of Athens, Soil Science and Agr. Chemistry Lab

- include nitrate and nitrite. In A.L. Page et al., (ed). *Methods of soil analysis. Part 2*, 2nd ed. Agronomy 9:595-62.
- Cabrera, M.L., and D.E. Kissel. 1988. Evaluation of a method to predict nitrogen mineralized from soil organic matter under field conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1027-1031.
- Campbell, C.A., and W. Souster. 1982. Loss of organic matter and potentially mineralizable nitrogen from Saskatchewan soils due to cropping. *Can. J. Soil Sci.* 52:1027-1031.
- Campbell, C.A., R.J.K. Myers, and K.L. Weier. 1981. Potentially mineralizable nitrogen decomposition rates and their relationship to temperature for five Queensland soils. *Aust. J. Soil. Sci.* 19:323-332.
- Campbell, C.A., Y.W. Jame, and G.E. Winkleman. 1984. Mineralization rate constants and their use for estimating nitrogen mineralization in some Canadian prairie soils. *Can. J. Soil Sci.* 64:333-343.
- De Jong, R., C.A. Campbell, and W. Nicholaichuk. 1983. Water retention equations and their relationship to soil organic matter and particle size distribution for disturbed samples. *Can. J. Soil Sci.* 63:291-302.
- Draper, N.R., and H. Smith. 1981. *Applied Regression Analysis*. p283-301. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- El Gharous, R.L. Westerman, and P.N. Soltanpour. 1990. Nitrogen mineralization of arid and semiarid soils in Morocco. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:438-443.
- Ellert B.H., and J.R. Bettany. 1988. Comparison of kinetic models for describing net sulfur and nitrogen mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1692-1701.
- Feigin A., D.H. Kohl, G. Shearer, and B. Commoner. 1974. Variation in natural nitrogen-15 abundance in nitrate mineralized during incubation of several Illinois soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 90-95.
- Harper, S.H.T., and J.M. Lynch. 1981. The chemical components and decomposition of wheat straw leaves, internodes and nodes. *J. Sci. Food Agri.* 32:1057-1062.
- Hassink, J., L.A. Bouwman, K.B. Zwart, J. Bloem, and L. Brussaard. 1993. Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. *Geoderma* 57:105-128.
- Henriken, H., and A.A. Selmer-Olsen. 1970. Automatic methods for determining nitrate and nitrite in water and Soil extracts. *Analyst* 95:514-518.
- Herlihy, M. 1979. Nitrogen mineralization in soils of varying texture, moisture and organic matter. *Plant and Soil* 53:255-267.
- Holland, E.A., and D.C. Coleman. 1987. Litter placement effects on microbial and organic matter dynamics in an agroecosystem. *Ecology* 68:423-433.
- Jackson, W.A., C.E. Frost, and D.H. Hildreth. 1975. Versatile multi-range analytical manifold for automatic analysis of nitrate-nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39:592-593.
- Kempers, A.J. 1974. Determination of sub-microquantities of ammonium and nitrates in soils with phenol, sodium nitropruside and hypochlorite. *Geoderma* 12:201-206.
- Marion, G.M., J. Kummerow, and P.C. Miller. 1981. Predicting nitrogen mineralization in chaparral soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:956-961.
- Maskina, M.S., J.F. Power, J.W. Doran, and W.W. Wilhelm. 1993. Residual effects of No-till crop residues on corn yield and nitrogen uptake. *Soil Sci Soc. Am. J.* 57:1555-1560.
- McLean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirements. In A.L. Page et al.(ed.). *Methods of soil analysis. Part 2* (2nd ed.) Agron. Monograph 9. ASA and SSSA, Madison, WI. p.199-224.
- Μουστακάς, Ν.Κ., Η. Ντζάνης και Κ.Σ. Κοσμάς. 1998. Εδαφοσυναρτήσεις υπολογισμού, των απαιτήσεων σε άσβεστο, όξινων εδαφών της περιοχής Αγρινίου. 7^ο Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο, 27-30 Μαΐου, Αγρίνιο. Πρακτικά Συνεδρίου, σελ. 149-158.
- Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1982. Organic Carbon. In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds), *Methods of Soil Analysis, Part 2* (2nd ed.). Agron. Monograph 9. ASA and SSSA, Madison, WI. p.539-594.
- Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In A.L. Page et al.(ed.). *Methods of soil analysis. Part 2.* (2nd ed.) Agron. Monograph 9. ASA and SSSA, Madison, WI. p.181-192.
- Oyanedel. C., and J.S. Rodriquez. 1977. Estimation of N mineralization in soils. *Cien. Investi. Agraria.* 4:33-44.

- Rasiah, V. 1995. Comparison of pedotransfer functions to predict nitrogen mineralization parameters of one and two pool models. *Comm. Soil Sci. and Plant Anal.* 26:1873-1884.
- Reinertsen, S.A., L.F. Elliott, V.L. Cochran, and G.S. Cambell. 1984. Role of available carbon and nitrogen in determining the rate of wheat straw decomposition. *Soil Biol. Biochem.* 16:459-464.
- Saxton, K.E., W.J. Bawls, J.S. Romberger, and R.I. Papendick. 1986. Estimating generalized soil water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 50:1031-1036.
- Simard, R. R., and A. N'dayegamiye. 1993. Nitrogen mineralization potential of meadow soils. *Can. J. Soil Sci.* 73:27-38.
- Smith, J.L., R.R. Schnabel, B.L. McNeal, and G.S. Campbell. 1980. Potential errors in the first-order model for estimating soil nitrogen mineralization potentials. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:996-1000.
- Soil Survey Staff. 1975. *Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys.* Agric. Handbook No 436, USDA-SCS. U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- Stanford G., and S.J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 36:465-472.
- Stanford, G., and S.J. Smith. 1978. Oxidative release of potentially mineralizable soil nitrogen by acid permanganate extraction. *Soil Sci.* 126(4):210-218.
- StatSoft, Inc. STATISTICA for Windows. 1995. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., Tulsa, OK.
- Steel, R.G.D., and J.H. Torrie. 1987. *Principles and procedures of statistics. A Biometrical Approach.* Second edition, 6th printing. McGraw-Hill Book Company.
- Talpaz, H., P. Fine, and B. Bar-Yosef. 1981. On the estimation of N-mineralization parameters from incubation experiments. *Soil Sci Soc. Am. J.* 45:993-996.
- Tietje, O., and M. Tapkenhinrichs. 1993. Evaluation of Pedotransfer_funcions. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 57:1088-1095.
- Σιάροδος, Γ.Κ. 2000. Μέθοδοι πολυμεταβλητής Στατιστικής Ανάλυσης. Μέρος Δεύτερο: Διερεύνηση εξάρτησης μεταξύ των μεταβλητών. Θεσ/νίκη.

Κατανομή των ιχνοστοιχείων Mn, Fe, Zn στα υπέργεια τμήματα φυτών μαλακού σίτου

Ευστάθιος Ταμουτσίδης¹, Ιωάννης Τοκατλίδης¹, Ιωάννης Τσιάλτας¹ και Κωνσταντίνος Τζάλης¹

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για τη μελέτη της κατανομής, κινητικότητας και μετακίνησης του μαγγανίου (Mn), σιδήρου (Fe) και ψευδαργύρου (Zn) σε φυτά σίτου, συγκομίσθηκαν, κατά τα έτη 93/94 και 94/95, στο στάδιο του ξεσταχυάσματος, φυτά μαλακού σίτου (*Triticum aestivum*) ποικιλίας *Generosso* από πειραματικά τεμάχια στα οποία είχε εφαρμοστεί η τυπική λίπανση για άζωτο (200 kg N ha^{-1}) και φωσφόρο ($80 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$). Στα φυτά αυτά προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις των διαφόρων τμημάτων τους σε Mn, Fe και Zn, με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης. Οι συγκεντρώσεις των Fe και Mn αυξήθηκαν σημαντικά από τα νεότερα προς τα γηραιότερα ελάσματα και κολεούς, ενώ το αντίθετο παρατηρήθηκε στην περίπτωση των μεσογονάτιων διαστημάτων. Η συγκέντρωση του Zn παρουσίασε μια σημαντική αύξηση από τα γηραιότερα προς τα νεότερα τμήματα σ' όλα τα φυτικά όργανα που ελέγχθηκαν. Σ' όλα τα φυτικά τμήματα οι συγκεντρώσεις του Zn κυμάνθηκαν σε χαμηλότερα επίπεδα απ' αυτές των Mn και Fe. Επίσης, από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε ότι, το Mn μπορεί να μετακινηθεί από τα γηραιότερα προς τα νεότερα τμήματα των φυτών, αλλά ανάλογη συμπεριφορά δεν παρατηρήθηκε στο Fe. Η σχετική κινητικότητα των τριών αναλυθέντων δυσκίνητων στοιχείων μέσα στο φυτό, μπορεί να αποδοθεί με την εξής σειρά: $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Fe}$.

Λέξεις κλειδιά: Μαλακό σιτάρι, ιχνοστοιχεία, ψευδάργυρος, σίδηρος, μαγγάνιο.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρόλο που ο φυσιολογικός ρόλος πολλών ιχνοστοιχείων είναι γνωστός, η λεπτομερής κατανομή και μετακίνησή τους στα φυτά δεν έχουν επεξηγηθεί ακόμα πλήρως (Davey και Mitchell, 1968). Συνήθως, τα φυτά που αναπτύσσονται σε συνθήκες ανεπάρκειας ιχνοστοιχείων, χρησιμοποιούν, κατά το στάδιο της ωρίμανσής τους, τα αποθέματα των ιχνοστοιχείων που είναι κατανεμημένα παντού στο φυτό. Όμως, τα ιχνοστοιχεία που προσλαμβάνονται από τα φυτά πριν από το στάδιο της άνθισης, δε μετακινούνται πάντα εύκολα στο αναπτυσσόμενο φυτό (Pearson και Rengel, 1994). Η μετακίνηση του Mn από τις ρίζες και το βλαστό είναι γρήγορη και συμβαίνει πιθανόν μέσω του ξυλώματος, ενώ η μετακίνηση του Mn από τα φύλλα προς τους αναπτυσσόμενους σπόρους μπορεί να γίνεται μέσω του φλοιώματος. Ανάλογη μετακίνηση του Mn από τα φύλλα προς τις ρίζες δεν παρατηρήθηκε ακόμα (Pearson και Rengel 1994, Pearson και Rengel 1995α). Αν και η κινητικότητα του Mn μέσω του φλοιώματος δεν έχει διευκρινιστεί πλήρως, γίνεται γενικά αποδεκτό ότι αυτή βρίσκεται μεταξύ των ευκίνητων στοιχείων, όπως ο φωσφόρος (P), και των δυσκίνητων στοιχείων, όπως το ασβέστιο (Marschner 1986, Pearson και Rengel 1995α). Σε σχέση με το Mn, ο Zn είναι πιο ευκίνητος μέσα στο φλοιώμα (Hocking 1980, White κ.α. 1981), όχι όμως όπως ο P και το κάλιο (K). Ο Zn μπορεί να μετακινηθεί εύκολα από τα φύλλα και το βλαστό του σίτου προς τον αναπτυσσόμενο σπόρο (Pearson και Rengel 1994, Haslett κ.α. 2000), όπως και από τη μια ρίζα στην άλλη (Pearson και Rengel, 1995α). Ανάλογη μετακίνηση του Zn από τα φύλλα προς τις ρίζες του σίτου δεν συμβαίνει σύμφωνα με τους Webb και Lonergan (1990), όμως πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι ο διαφυλλικά εφαρμοζόμενος Zn σε ανόργανη ή οργανική μορφή μπορεί να μετακινηθεί μέσω του φλοιώματος προς τα γηραιότερα φύλλα και τις ρίζες του σίτου (Haslett κ.α., 2000). Επίσης, έρευνες έδειξαν ότι στις περιπτώσεις που εφαρμόστηκαν αυξημένες ποσότητες Zn στο πεύκο *Pinus radiata*, ο Zn συσσωρεύθηκε προσωρινά στο βλαστό και μετά από τρεις ημέρες ανακατανεμήθηκε στα φύλλα (McGrath και Robson, 1984).

Όσον αφορά την κατανομή των θρεπτικών στοιχείων, τα αποτελέσματα των ερευνών δείχνουν ότι τα διάφορα τμήματα ενός φυτού συσσωρεύουν διαφορετικές ποσότητες θρεπτικών στοιχείων (Davey και Mitchell

¹ T.E.I. Δυτικής Μακεδονίας- Παράρτημα Φλώρινας

1968, Scheffer κ.α.1978, Pearson και Rengel 1995β, Haslett κ.α. 2000, Jarausch-Wehrheim κ.α. 2000). Γενικά, η συγκέντρωση των Mn και Fe στα περισσότερα φυτά είναι υψηλότερη στις ρίζες, ακολουθεί αυτή των φύλλων και μετά αυτή του βλαστού και των σπόρων (Παναγιωτόπουλος κ.α. 1976, Nenova και Stoyanov 1999). Αντίθετα, όταν στα φυτά εφαρμόζεται επαρκής ποσότητα Zn, η συγκέντρωσή του είναι υψηλή στους αναπτυσσόμενους ιστούς. Συνεπώς, η κατανομή του Zn στις ρίζες και το υπέργειο τμήμα εξαρτάται από την ποσοτική εφαρμογή του Zn στα φυτά. Η επαρκής εφαρμογή Zn οδηγεί σε υψηλές ποσότητες Zn στο υπέργειο τμήμα, ενώ η εφαρμογή Zn στα επίπεδα της τοξικότητας οδηγεί σε υψηλές ποσότητες Zn στις ρίζες των φυτών (Pearson και Rengel, 1994).

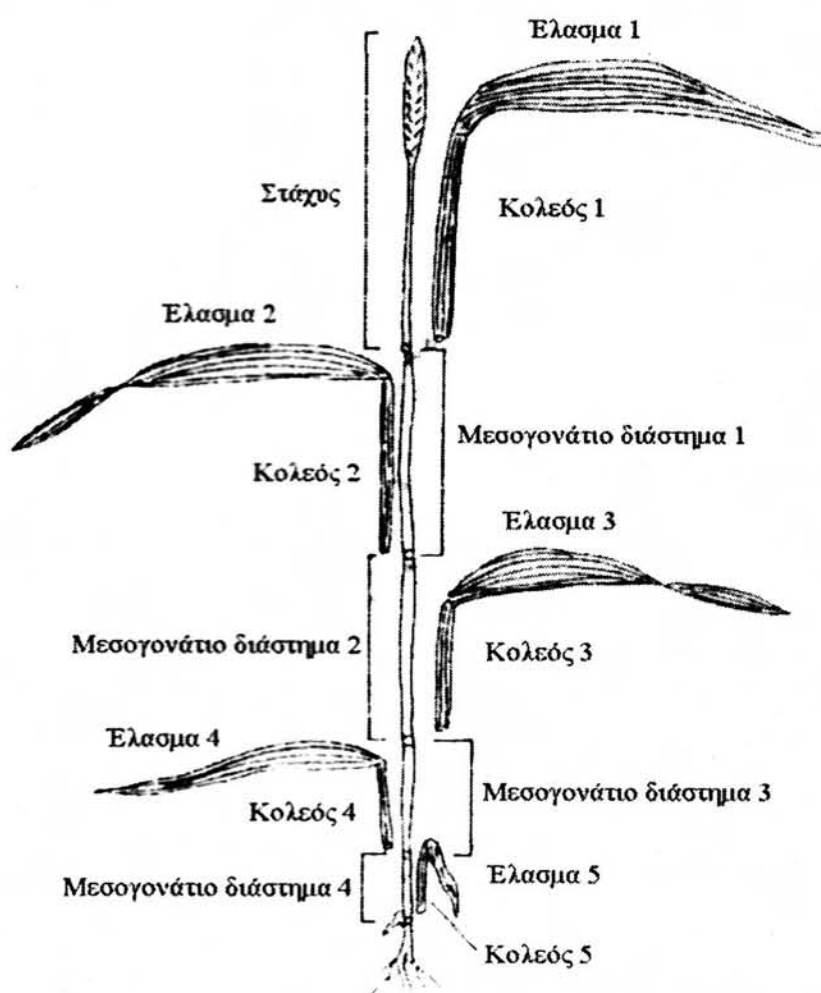
Σκοπός της εργασίας ήταν η μελέτη της κινητικότητας και μετακίνησης των Mn, Fe και Zn σε φυτά μαλακού σίτου ποικιλίας *Generosso* μέσω του προσδιορισμού της συγκέντρωσης των στοιχείων αυτών σε διάφορα υπέργεια τμήματα των φυτών του σίτου.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Δύο πειραματικοί αξιολόγησης της επίδρασης της λίπανσης στην ποικιλία μαλακού σίτου *Generosso* εγκαταστάθηκαν στο Αγρόκτημα του Παραρτήματος Φλώρινας του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Μακεδονίας, σε αμμοπηλώδες έδαφος με μέση τιμή pH 6,3 κατά τις καλλιεργητικές περιόδους 1993/94 και 94/95. Το πειραματικό σχέδιο ήταν

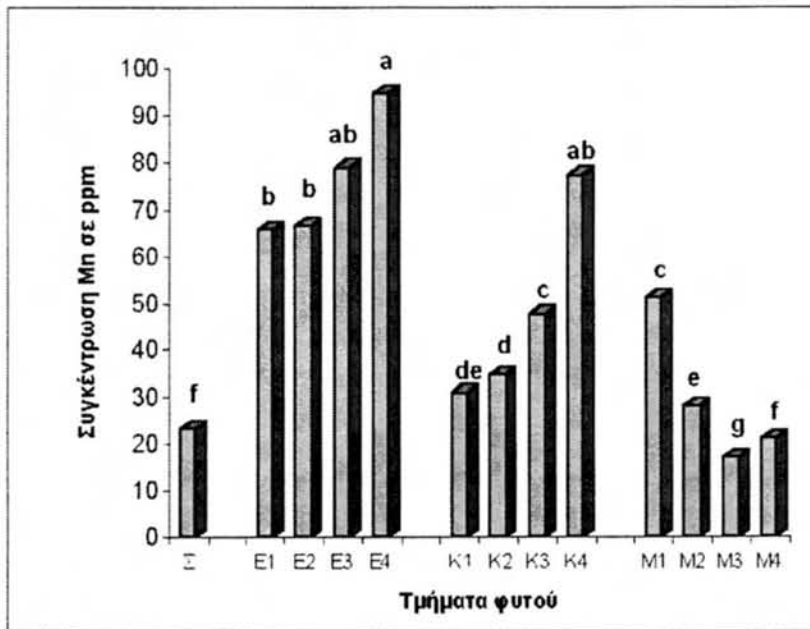
των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων (RCB) με πέντε επαναλήψεις. Δεκαοκτώ (18) φυτά συλλέχθηκαν από καθένα από το σύνολο των δέκα πειραματικών τεμαχίων, που αντιστοιχούσαν στις επαναλήψεις της μεταχείρισης-μάρτυρας και στα οποία εφαρμόστηκε η τυπική λίπανση με 20 Kg/στρ. N και 8 Kg/στρ. P₂O₅. Τα φυτά κατά τη δειγματοληψία βρίσκονταν στο στάδιο του ξεσταχυάσματος.

Τα συλλεχθέντα δείγματα τεμαχίσθηκαν στα εξής επιμέρους τμήματα: στάχυς συμπεριλαμβανομένου και του μέρους του καλαμιού από το ανώτατο γόνατο (Σ), πρώτο έως τέταρτο έλασμα (E1,E2,E3,E4), πρώτο έως τέταρτο κολεό (K1,K2,K3,K4) και πρώτο έως τέταρτο μεσογονάτιο διάστημα (M1,M2,M3,M4). Η αρίθμηση των επιμέρους τμημάτων των φυτών έγινε από το στάχυ προς τις ρίζες (Σχήμα 1). Τα ελάσματα και οι κολεοί No 5 δεν αναλύθηκαν, διότι βρίσκονταν, λόγω των πολλών βροχοπτώσεων κατά τα δύο έτη του πειραματισμού, σχεδόν στο στάδιο της αποσύνθεσης. Όλα τα τμήματα ξηράθηκαν σε φούρνο 70 °C μέχρι αποκτήσεως σταθερού βάρους, στη συνέχεια αλέσθηκαν με μύλο άλεσης και τα αλεσμένα φυτικά τμήματα χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των Mn, Fe και Zn με τη μέθοδο της ξηράς καύσης, όπως



Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση των αναλυθέντων φυτικών τμημάτων του μαλακού σίτου ποικιλίας *Generosso*.

Figure 1. Diagram of the analysed plant sections of bread wheat cv. *Generosso*.



Σχήμα 2. Συγκέντρωση των διαφόρων τμημάτων του σίτου σε Mn κατά το στάδιο του ξεσταχυάσματος. Διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (Κριτήριο Duncan, $P < 0,05$).

Figure 2. Mn concentration in different plant sections of bread wheat at the heading stage. Different letters show significant differences (Duncan criterion, $P < 0.05$).

Η υψηλή συγκέντρωση των νεότερων μεσογονάτιων διαστημάτων σε Mn και Fe σε σχέση με τα γηραιότερα, οφείλεται στο ότι είναι πιο ενεργά από άποψη φυσιολογίας.

Συγκρίνοντας τις μέσες συγκεντρώσεις του Mn και Fe στα διάφορα όργανα του σίτου διαπιστώθηκε ότι αυτές ήταν υψηλότερες στα ελάσματα απ' αυτές των κολεών, και των κολεών ήταν υψηλότερες απ' αυτές των μεσογονάτιων διαστημάτων. Έτσι, η μέση συγκέντρωση των ελασμάτων σε Mn και Fe ήταν 76,6 ppm και 121,5 ppm, ενώ των μεσογονάτιων διαστημάτων 29,4 ppm και 23,4 ppm αντίστοιχα. Ο εφοδιασμός των ελασμάτων με Mn και Fe γίνεται παθητικά μέσω του ρεύματος διαπνοής και συνεπώς οι συγκεντρώσεις των στοιχείων αυτών είναι συνάρτηση του χρόνου ανάπτυξης των φυτών, όπως παρατήρησαν και άλλοι ερευνητές (Scheffer κ.α. 1978, Jarausch-Wehrheim κ.α. 2000). Οι υψηλές συγκεντρώσεις των γηραιότερων ελασμάτων και κολεών σε Mn και Fe συνδέεται με την περιορισμένη κινητικότητα των στοιχείων αυτών μέσα στα φυτά. Ίσως η μη σημαντική διαφορά της συγκέντρωσης του Mn στα δύο γηραιότερα ελάσματα (16 ppm), σε αντίθεση με αυτή του Fe (65 ppm) που είναι σημαντική, θα μπορούσε να αποδοθεί στην ελαφρά μεγαλύτερη κινητικότητα του Mn μέσα στα φυτά και στη μετακίνησή του, πιθανόν μέσω του φλοιώματος, από τα γηραιότερα ελάσματα προς τα νεότερα τμήματα του φυτού. Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξαν και άλλοι ερευνητές σε ανάλογα πειράματά τους (Scheffer κ.α. 1978, Pearson και Rengel 1994, Pearson και Rengel 1995α).

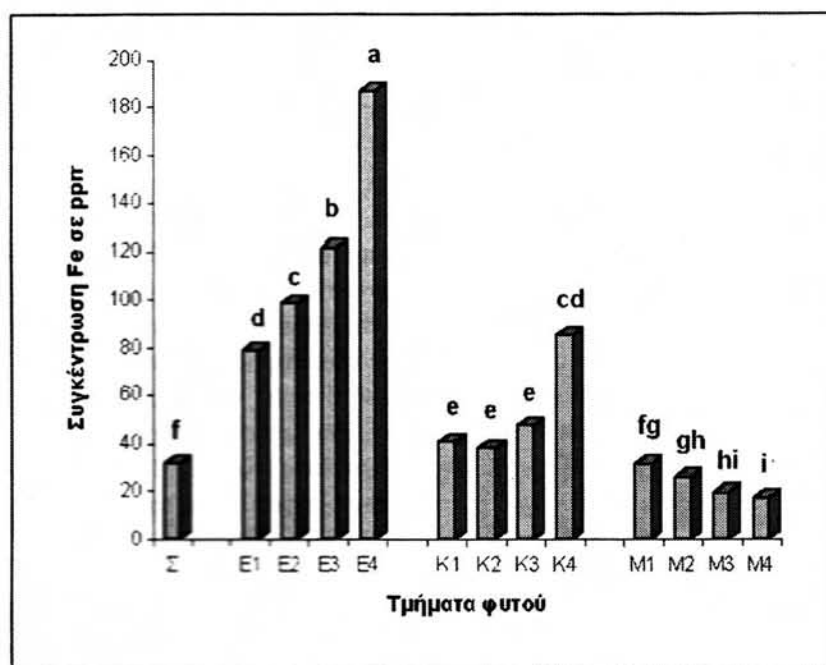
Σε αντίθεση με το Mn και Fe, η συγκέντρωση του Zn σε όλα τα αναλυθέντα τμήματα μειώθηκε σημαντικά από τα νεότερα προς τα γηραιότερα τμήματα του φυτού (Σχήμα 4). Την υψηλότερη συγκέντρωση σε Zn εμφάνισε ο στάχυς (27 ppm) και στη συνέχεια το νεότερο έλασμα μαζί με το νεότερο μεσογονάτιο διάστημα (21 ppm περίπου). Μάλιστα, η διαφορά της συγκέντρωσης του Zn μεταξύ του νεότερου και γηραιότερου ελασματος, καθώς και μεταξύ του νεότερου και γηραιότερου μεσογονάτιου διαστήματος ήταν διπλάσια και τετραπλάσια αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι η μεγαλύτερη ποσότητα Zn βρίσκεται στους ιστούς που αναπτύσσονται ακόμη (Davey και Mitchell 1968, Pearson και Rengel 1994) και ότι ο Zn είναι πιο ευκίνητος απ' ότι το Mn και ο Fe μέσα στο φυτό. Σε ανάλογη έρευνα, οι Riceman και Jones (1958) βρήκαν ότι στο *Trifolium subterraneum* οι υψηλότερες συγκεντρώσεις Zn βρίσκονται σε κόμβους (γόνατα έκπτυξης) λίγο πριν την έκπτυξη των φύλλων

περιγράφεται στο AOAC (1984).

Σε κάθε επιμέρους τμήμα των 18 φυτών και για κάθε στοιχείο (Mn, Fe, Zn) διενεργήθηκαν τρεις προσδιορισμοί, για κάθε πειραματικό τεμάχιο χωριστά. Οι συγκεντρώσεις των παραπάνω στοιχείων μετρήθηκαν με φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης. Οι μέσες τιμές συγκέντρωσης των τριών στοιχείων, στα διάφορα τμήματα, συγκρίθηκαν με το κριτήριο Duncan σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

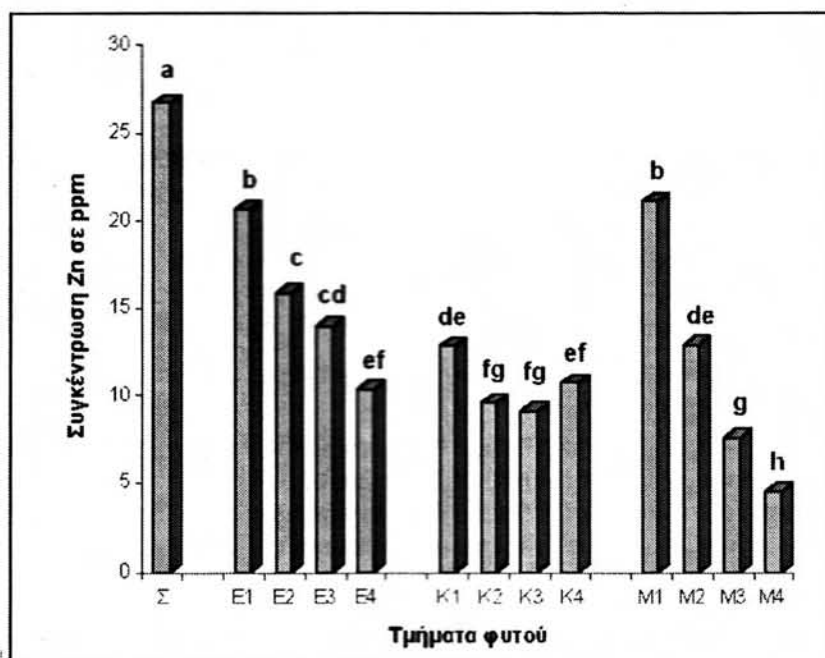
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε ότι οι συγκεντρώσεις των Mn και Fe εμφάνισαν παρόμοια συμπεριφορά στα διάφορα τμήματα του φυτού (Σχήματα 2 και 3). Αυξήθηκαν σημαντικά από τα νεότερα προς τα γηραιότερα ελάσματα και κολεούς και μειώθηκαν σημαντικά στα αντίστοιχα μεσογονάτια διαστήματα.



Σχήμα 3. Συγκέντρωση των διαφόρων τμημάτων του σίτου σε Fe κατά το στάδιο του ξεσταχυάσματος. Διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (Κριτήριο Duncan, $P < 0,05$).

Figure 3. Fe concentration in different plant sections of bread wheat at the heading stage. Different letters show significant differences (Duncan criterion, $P < 0.05$).



Σχήμα 4. Συγκέντρωση των διαφόρων τμημάτων του σίτου σε Zn κατά το στάδιο του ξεσταχυάσματος. Διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (Κριτήριο Duncan, $P < 0,05$).

Figure 4. Zn concentration in different plant sections of bread wheat at the heading stage. Different letters show significant differences (Duncan criterion, $P < 0.05$).

απ' αυτούς. Τα αποτελέσματα επίσης έδειξαν ότι τα σχεδόν πλήρως αναπτυγμένα ελάσματα (E2 και E3), καθώς και οι κολεοί (K2 και K3) είχαν τις ίδιες περίπου συγκεντρώσεις σε Zn (Σχήμα 4). Αυτό μπορεί να οφείλεται, σύμφωνα με τον Scheffer κ.α. (1978), στη μη αναλογική αύξηση της συγκέντρωσης του Zn στα εν λόγω φυτικά τμήματα σε σχέση με την αύξηση της ξηράς ουσίας τους κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής τους, με αποτέλεσμα να μειώνεται η συγκέντρωση του Zn στα νεότερα τμήματα του σίτου. Επίσης, η μείωση αυτή θα μπορούσε να αποδοθεί, στη μετακίνηση του Zn μέσω του φλοιώματος από τα νεότερα προς τα γηραιότερα τμήματα και τις ρίζες του σίτου (Haslett κ.α., 2000).

Όπως στην περίπτωση του Mn και του Fe, η μέση συγκέντρωση του Zn στα ελάσματα κυμάνθηκε σε υψηλότερα επίπεδα απ' αυτήν των κολεών και των μεσογονάτιων διαστημάτων. Γενικά, ο ψευδάργυρος εμφανίστηκε σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις στα διάφορα τμήματα του φυτού απ' ότι το μαγγάνιο και ο σίδηρος.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας προέκυψε ότι τα φυτά σίτου μπορούν να χρησιμοποιήσουν, για τη φυσιολογική ανάπτυξη των νεότερων τμημάτων τους, τα αποθέματα του Mn των γηραιότερων φυτικών τμημάτων, ενώ κάτι ανάλογο δεν παρατηρήθηκε για το Fe. Επιπλέον, τα σχεδόν πλήρως αναπτυγμένα φυτικά τμήματα μπορούν να χρησιμοποιήσουν τον Zn των νεότερων τμημάτων των φυτών σίτου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε τους τεχνολόγους Γεωπονίας κ.κ. Ε. Παρώνη, Β. Κοντονή και Ε. Κεχαΐδου για τη βοήθειά τους κατά τη διεξαγωγή των αναλύσεων.

Distribution of micronutrients Mn, Fe, Zn in plant sections of bread wheat**Efstathios Tamoutsidis¹, Ioannis Tokatlidis¹, Ioannis Tsialtas¹ and Konstantinos Tzalis¹****SUMMARY**

In order to study the distribution, mobility and movement of manganese (Mn), iron (Fe) and zinc (Zn) in bread wheat (*Triticum aestivum* cv. *Generosso*), plants were obtained at the heading stage, during the 1993/94 and 94/95 growing seasons from experimental plots fertilised with the recommended amounts of nitrogen (200 kg N ha⁻¹) and phosphorus (80 kg P₂O₅ ha⁻¹). Manganese (Mn), iron (Fe) and zinc (Zn) concentrations were determined in leaf blades, leaf sheaths and stem internodes using the method of atomic absorption spectrophotometry. Mn and Fe concentrations increased significantly from the newer to the older leaf blades and sheaths, whereas the opposite was found for stem internodes. Zn concentration increased significantly from the older to the newer plant sections. Compared to Mn and Fe concentration, Zn concentration was lower in all plant sections analysed. It seemed that Mn can be translocated from the older to the newer plant sections, a process not observed in the case of Fe. The relative intra-plant mobility of the three elements studied can be ranked as: Zn > Mn > Fe.

Key words: Bread wheat, micronutrients, zinc, iron, manganese.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- A.O.A.C., 1984. Official Methods of Analysis, 14th edition (Association of Official Analytical Chemists), p. 40.
- Davey, G. B. and Mitchell, L. R., 1968. The distribution of trace elements in cocksfoot (*Dactylis glomerata*) at flowering. J. Sci. Fd Agric., Vol. 19, 425-431.
- Haslett, S.B., Reid, J.R., and Rengel Z., 2000. Zinc Mobility in Wheat: Uptake and Distribution of Zinc Applied to Leaves or Roots. Annals of Botany 1-8.
- Hocking P.J., 1980. The composition of phloem exudate and xylem sap from tree tobacco (*Nicotiana glauca* Grah.). Annals of Botany 45, 633-43.
- Jarusch-Wehrheim, B., Mocquot, B. and Mench, M., 2000. Distribution of Sludge-Borne Manganese in Field-Grown Maize. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 31(3&4), 305-319.
- Marschner H., 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press Inc (London).
- McGrath J.F and Robson A.D., 1984. The distribution of zinc and the diagnosis of zinc deficiency in seedlings of *Pinus radiata* D. Don. Australian Forestry Research 14, 175-186.
- Nenova, V. and Stoyanov, I., 1999. Physiological and Biochemical Changes in Young Maize Plants Under Iron Deficiency. 3. Concentration and Distribution of Some Nutrient Elements. Journal of Plant Nutrition, 22(3), 565-578.
- Παναγιωτόπουλος, Κ.Π., Σακελλαριάδης, Σ.Δ., Πολυζόπουλος, Ν.Α., Βουζουλίδου-Αλεξάνδρου, Ε.Γ., 1976. Η περιεκτικότητα σε Zn, Cd, Cu, Ni, Mn, Pb και Fe λαχανοκομικών φυτών και εδαφών τριών περιοχών της βόρειας Ελλάδας. Ανάτυπο από την Επιστημονική Επετηρίδα της Γεωπονικής και Δασολογικής Σχολής, Τόμος 19, σελ. 159-198.
- Pearson, N.,J. and Rengel Z., 1994. Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. Journal of Experimental Botany, Vol. 45, 1829-1835.
- Pearson, N.,J. and Rengel Z., 1995α. Uptake and distribution of ⁶⁵Zn and ⁵⁴Mn in wheat grown at sufficient and deficient levels of Zn and Mn. I. During vegetative growth. Journal of Experimental Botany, 46, 833-839.
- Pearson, N.,J. and Rengel Z., 1995β. Uptake and distribution of ⁶⁵Zn and ⁵⁴Mn in wheat grown at sufficient and deficient levels of Zn and Mn. II. During grain development. Journal of Experimental Botany, 46, 841-845.
- Ricemann, D.S. and Jones, G.B., 1958. Distribution of zinc and cooper in subteranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) grown in culture solutions supplied with graduated amounts of zinc. Austr. J. agric. Res. 9, 446-463.
- Scheffer, K., Koch, E. und Vardakis F., 1978. Ueber die Verteilung der Schwermetalle Eisen, Mangan und Zink in Sommergerstentpflanzen. Landwirtsch. Forschung, 31, 156-161.
- Webb M.J. and Loneragan J.F, 1990. Zinc translocation to wheat roots and its implications for phosphorus/zinc interaction in wheat plants. Journal of Plant Nutrition 13, 1499-1512.
- White M, Baker F, Chaney R, Decker A. 1981. Metal complexation in the xylem fluid. II. Theoretical equilibrium model and computational computer program. Plant Physiology 67, 301-310.

¹ Technological Educational Institute (T.E.I.) of West Macedonia (Branch of Florina)