



1/2010

ISSN 1105-9478

ΤΟΜΟΣ 20 ΣΕΙΡΑ VI

ΚΩΔΙΚΟΣ 3862

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

GEOTECHNICAL SCIENTIFIC ISSUES

GEOTECHNICAL CHAMBER OF GREECE

VOL: 20 - ISSUE VI - No 1/2010

1/2010

ISSN 1105-9478

ΤΟΜΟΣ 20 ΣΕΙΡΑ VI

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

GEOTECHNICAL SCIENTIFIC ISSUES

CONTENTS

SCIENTIFIC PAPERS

- I. Gravalos, Th. Gialamas,
Z. Koutsofitis, D. Kateris,
P. Xyradakis, Z. Tsiropoulos* The significance of rear wheel width
on agricultural tractor stability 4 - 11
- A.P. Dimitrakopoulos,
Ioannis D. Mitsopoulos* Ignition probability and moisture of extinction
of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) forest litter 12 - 21
- S. Stefanou,
K.P. Panayiotopoulos,
N. Barbayiannis,
D. Alifragis* The role of Fe and Al oxides and oxy-hydroxides
to penetration resistance of soils 22 - 33
- Stergios Th. Tampekis,
Evangelos A. Karagiannis,
Vasileios I. Giannoulas* Environmental Impact Assessment's evaluation to the natural
environment by the opening-up of the mountainous forest areas 34 - 44
- Georgios Fotiadis,
Nikolaos Athanasiadis* Phytosociological units of *Castanea sativa* and *Tilia tomentosa*
forests of Mt Beles and Mts Krouisia in Greece 45 - 55

REVIEW PAPERS

- Georgios D. Kourousekos* Prevention and control methods for mycotoxins 56 - 64
- Fokion Papathanasiou,
Konstantinos Podimatas,
Fotios Gravanis* Potato glycoalkaloids Biosynthesis, metabolism,
plant distribution, toxicity and effect
of different factors in their concentrations 65 - 80

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

<i>Ι. Γράβαλος, Θ. Γιαλαμάς, Ζ. Κουτσοφίτης, Δ. Κατέρης, Π. Ξυραδάκης, Ζ. Τσιρόπουλος</i>	Η σημασία του εύρους των οπισθίων τροχών στην ευστάθεια γεωργικού ελκυστήρα	4 - 11
<i>Α.Π. Δημητρακόπουλος, Ι.Δ. Μητσόπουλος</i>	Εκτίμηση της πιθανότητας ανάφλεξης και της υγρασίας ασφαλείας του βελονοτάπητα δασών χαλεπίου πεύκης	12 - 21
<i>Σ. Στεφάνου, Κ.Π. Παναγιωτόπουλος, Ν. Μπαρμπαγιάννης, Δ. Αλιφραγκής</i>	Ο ρόλος των οξειδίων και οξυ-υδροξειδίων του Fe και Al στην αντίσταση διείσδυσης των εδαφών	22 - 33
<i>Στέργιος Θ. Ταμπέκης, Ευάγγελος Α. Καραγιάννης, Βασίλειος Ι. Γιαννούλας</i>	Αξιολόγηση των επιπτώσεων της διάνοιξης των ορεινών δασών στο φυσικό περιβάλλον	34 - 44
<i>Φωτιάδης Γεώργιος, Αθανασιάδης Νικόλαος</i>	Φυτοκοινωνιολογικές μονάδες των δασών <i>Castanea sativa</i> και <i>Tilia tomentosa</i> στο ελληνικό τμήμα του όρους Μπέλες και στην οροσειρά των Κρουσίων.	45 - 55

ΑΡΘΡΑ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

<i>Γεώργιος Δ. Κουρουσέκος</i>	Μέθοδοι πρόληψης και ελέγχου των μυκοτοξινών	56 - 64
<i>Φωκίων Παπαθανασίου, Κων/νος Ποδηματάς, Φώτιος Γραβάνης</i>	Γλυκοαλκαλοειδή της πατάτας: Δομή, μεταβολισμός, κατανομή στο φυτό, τοξικότητα και παράγοντες που επηρεάζουν τη συγγέντρωσή τους	65 - 80

Η σημασία του εύρους των οπίσθιων τροχών στην ευστάθεια γεωργικού ελκυστήρα

Ι. Γράβαλος¹, Θ. Γιαλαμάς¹, Ζ. Κουτσοφίτης¹, Δ. Κατέρης², Π. Ξυραδάκης¹, Ζ. Τσιρόπουλος¹

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι γεωργικοί ελκυστήρες που εργάζονται σε επικλινή εδάφη μπορεί να ανατραπούν εάν η γωνία κλίσης είναι αρκετά μεγάλη. Σκοπός της εργασίας είναι να μελετήσει το ρόλο που διαδραματίζει το εύρος των οπίσθιων τροχών και η τοποθέτηση πρόσθετου βάρους επί του εξωτερικού τροχού, στην ευστάθεια του ελκυστήρα σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο. Με τη βοήθεια πειραματικής τράπεζας δοκιμών μετρήθηκαν οι αναπτυσσόμενες αντιδράσεις του εδάφους στο στατικό φορτίο των οπίσθιων τροχών, υπολογίστηκε η μετατόπιση φορτίου στον εσωτερικό τροχό, για εύρος τροχών 1500/1650/1800 mm, μετά από την τοποθέτηση πρόσθετου βάρους 80 kg στον εξωτερικό τροχό και σε συνάρτηση σταθερών μεταβολών της γωνίας κλίσης. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι το στατικό όριο ανατροπής του ελκυστήρα αυξήθηκε σημαντικά, όταν το εύρος τροχών ήταν 1650 mm και στον εξωτερικό τροχό είχε τοποθετηθεί πρόσθετο βάρος.

Λέξεις κλειδιά: Γεωργικός ελκυστήρας, εύρος τροχών, πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο, ευστάθεια, ανατροπή, ασφάλεια εργασίας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωργική γη στη χώρα μας έχει περιορισμένες πεδινές εκτάσεις και εκτεταμένες ημιορεινές και ορεινές. Η βιωσιμότητα των γεωργικών εκμεταλλεύσεων σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το βαθμό της εκμηχάνισης. Στη σημερινή πραγματικότητα, η εκμηχάνιση των καλλιεργειών σε αυτές τις περιοχές βασίζεται αποκλειστικά σε μηχανικά μέσα ίδια με αυτά των πεδινών περιοχών. Δηλαδή σε γεωργικά μηχανήματα που ανταποκρίνονται σε εδάφη με κλίση έως 10°. Όταν τα μηχανήματα αυτά εργάζονται σε εδάφη με μεγαλύτερη κλίση, μειώνεται η παραγωγικότητα και η ποιότητα των εκτελούμενων εργασιών και αυξάνεται ο κίνδυνος πρόκλησης ατυχημάτων από ανατροπή (Γράβαλος κ.ά., 2008).

Τα ατυχήματα με τους γεωργικούς ελκυστήρες είναι πολλά σε ολόκληρο τον κόσμο, όπως εξάλλου και στη χώρα μας. Τα ατυχήματα προκαλούνται από ανατροπές ή πλάγιες πτώσεις, από τροχαία ατυχήματα καθώς και από τη λειτουργία

διαφόρων μηχανισμών. Σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Γεωργίας, τα θανατηφόρα ατυχήματα που προκλήθηκαν από ελκυστήρες και άλλα γεωργικά μηχανήματα κατά τη διάρκεια εργασίας, για τα έτη 1982 έως 1985 ανέρχονται σε 302 νεκρούς χειριστές. Αντιθέτως, για τα έτη 2002 έως 2005 τα θανατηφόρα ατυχήματα ανέρχονται στο 1/3 περίπου. Η μείωση αυτή οφείλεται: α) στην υποχρεωτική τοποθέτηση σε όλους τους ελκυστήρες διατάξεων ασφαλείας έναντι ανατροπής, β) στη βελτίωση του εργονομικού σχεδιασμού με αποτέλεσμα τη μειωμένη κόπωση των χειριστών και γ) στην καλύτερη ενημέρωση και εκπαίδευση σε θέματα ασφαλείας και χειρισμού.

Η οριακή γωνία ανατροπής, για ελκυστήρες γενικής χρήσεως σε κεκλιμένο επίπεδο, είναι συνήθως $\varphi_{\text{lim}} = 38-40^\circ$, ενώ για εξειδικευμένους ελκυστήρες είναι $\varphi_{\text{lim}} = 60^\circ$. Σε τέτοιου είδους μεγάλες κλίσεις εδάφους, οι ελκυστήρες δεν είναι δυνατό να κινηθούν, προφανώς για λόγους ασφαλείας. Οι ελκυστήρες μπορεί να απολέσουν την ευστάθειά τους

¹ Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, 411 10, Λάρισα.

² Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Τομέας Εργείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, 541 24 Θεσσαλονίκη.

ακόμη και σε μικρότερες κλίσεις υπό την επίδραση κάποιων δυναμικών καταστάσεων, όπως για παράδειγμα: η αυξημένη ταχύτητα κίνησης πάνω από κάποιο μικρό εμπόδιο, η πλάγια ολίσθηση, κ. ά. Η στιγμιαία γωνία κλίσης θα μπορούσε να αυξηθεί απότομα, καθώς ο ελκυστήρας κινείται πάνω από ένα μεγάλο εμπόδιο ακόμη και με πολύ μικρή ταχύτητα. Επίσης, τα όρια ευστάθειας των γεωργικών ελκυστήρων μεταβάλλονται σε κεκλιμένο επίπεδο, όταν σε αυτούς συνδέονται διάφορα παρελκόμενα μηχανήματα (Abu-Hamdeh και Al-Jalil, 2004).

Στο παρελθόν, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι υπολογισμού των ορίων ευστάθειας σε κεκλιμένο επίπεδο εφόσον είναι γνωστά: η γεωμετρία και η θέση του κέντρου βάρους (Spencer και Gilfillan, 1976; Semetko et al., 1981; Hunter, 1982; Τσατσαρέλης, 1997). Η σημασία της θέσης του κέντρου βάρους στην επίλυση της ευστάθειας γεωργικού ελκυστήρα, κατά την κίνησή του σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο (σύμφωνα με τις ισούψεις καμπύλες) παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Για την ακριβή επίλυση της εγκάρσιας ευστάθειας θα πρέπει να λάβουμε υπόψη την εξής παραδοχή: το σώμα του ελκυστήρα ταλαντεύεται ελεύθερα, χάρη στον πείρο ταλάντωσης (pivot) του πρόσθιου άξονα. Στην περίπτωση αυτή, η βάση που σχηματίζεται είναι το τρίγωνο 123 και το σώμα του ελκυστήρα μπορεί πλέον να στρέφεται γύρω από τον νοητό άξονα, που συνδέει το σημείο επαφής του οπίσθιου εσωτερικού τροχού με το έδαφος (σημείο 2) και το στρεπτό έδρανο του πρόσθιου άξονα (σημείο 1). Επομένως, για την οριακή γωνία ανατροπής φ_{lim} θα ισχύει η ακόλουθη εξίσωση:

$$\tan \varphi_{lim} = \frac{n}{m} = \frac{\frac{b}{2} \lambda_c - z}{h - e \lambda_d} \quad (1)$$

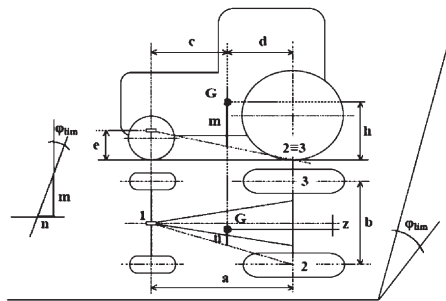
όπου φ_{lim} - η οριακή γωνία για την εγκάρσια ευστάθεια του ελκυστήρα σε κεκλιμένο επίπεδο, b - το εύρος των τροχών του ελκυστήρα, h - το ύψος του κέντρου βάρους του ελκυστήρα από το έδαφος, e - το ελεύθερο ύψος στον πρόσθιο άξονα του ελκυστήρα, d - η απόσταση του κέντρου βάρους από το κατακόρυφο επίπεδο που περνάει από τον άξονα των οπίσθιων τροχών και z - η απόσταση του κέντρου βάρους από το διάμηκες επίπεδο, η οποία καθορίζεται με βάση την κατανομή των φορτίων στη δεξιά και αριστερή πλευρά του ελκυστήρα.

Στη συνέχεια, οι λόγοι λ_c και λ_d είναι δυνατόν να υπολογιστούν από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\lambda_c = \frac{c}{a} = \frac{G_1}{G_t} \quad (2)$$

$$\lambda_d = \frac{d}{a} = \frac{G_2}{G_t} \quad (3)$$

όπου c - η απόσταση του κέντρου βάρους από το κατακόρυφο επίπεδο που περνάει από τον άξονα των πρόσθιων τροχών, d - η απόσταση του κέντρου βάρους από το κατακόρυφο επίπεδο που περνάει από τον άξονα των οπίσθιων τροχών, a - η απόσταση μεταξύ των αξόνων (μεταξόνιο), G_t - το ολικό βάρος του ελκυστήρα, G_1 - το στατικό βάρος στον πρόσθιο άξονα και G_2 - το στατικό βάρος στον οπίσθιο άξονα.



Σχήμα 1: Επίλυση της ευστάθειας γεωργικού ελκυστήρα σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο.

Στους ανωτέρω υπολογισμούς οι διάφορες διαστάσεις θα πρέπει να λαμβάνονται με βάση τις συντεταγμένες του κέντρου βάρους, χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψη ο πρόσθιος άξονας του ελκυστήρα. Οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους για ελκυστήρα χωρίς τον πρόσθιο άξονα δεν διαφέρουν κατά πολύ από τις συντεταγμένες του κέντρου βάρους για ολόκληρο τον ελκυστήρα. Επομένως, εάν χρησιμοποιηθούν οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους για ολόκληρο τον ελκυστήρα, οι οποίες είναι συνήθως γνωστές εκ των προτέρων, δεν θα επηρεαστεί σημαντικά το τελικό αποτέλεσμα των υπολογισμών.

Τα όρια ευστάθειας είναι δυνατόν να μετρηθούν επακριβώς με ανακλιτές πλατφόρμες (tilting

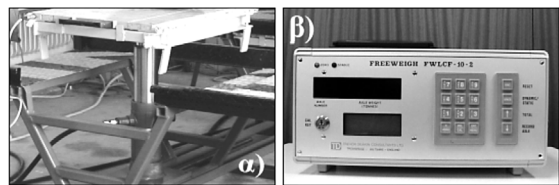
platforms), οι οποίες φέρουν ανεξάρτητες ηλεκτρονικές μονάδες ζύγισης για κάθε τροχό (Spencer et al., 1985; Fabbri και Molari, 2004). Μετρώνται οι αναπτυσσόμενες αντιδράσεις του εδάφους (R_A και R_B) στο στατικό φορτίο των οπίσθιων τροχών σε συνάρτηση των μεταβολών της γωνίας κλίσης φ . Η καμπύλη που σχηματίζεται, επιτρέπει τον προσδιορισμό της οριακής γωνίας κλίσης φ_{lim} (γωνία ανατροπής), κατά την οποία η αντίδραση του εξωτερικού τροχού μηδενίζεται.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να μελετήσει το ρόλο που διαδραματίζει το εύρος των οπίσθιων τροχών και η τοποθέτηση πρόσθετου βάρους επί του εξωτερικού τροχού, στην ευστάθεια ελκυστήρα σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο. Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής πιστεύεται ότι θα βοηθήσουν τόσο στη θεωρητική έρευνα όσο στη βελτίωση των μεθόδων και των κανόνων σχεδίασης και χειρισμών των γεωργικών ελκυστήρων.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η ευστάθεια του γεωργικού ελκυστήρα σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο είναι ένα σύνθετο πρόβλημα, για την επίλυση του οποίου θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι κατασκευαστικές και κινηματικές ιδιότητες του ελκυστήρα. Για το λόγο αυτό, στο Εργαστήριο Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάτων Εδαφών του Τμήματος Μηχανικής και Βιοσυστημάτων του Τ.Ε.Ι. Λάρισας αναπτύχθηκε μία τράπεζα δοκιμών (Γιαλαμάς κ. ά., 2003 και 2005). Η τράπεζα περιλαμβάνει: α) ένα μεταλλικό πλαίσιο, ενισχυμένο με κοιλοδοκούς και χαλυβδοελάσματα, β) τέσσερις υδροστατικούς κυλίνδρους μεγάλης αντοχής και ανυψωτικής ικανότητας, των οποίων η θέση ελέγχεται από τη μονάδα παραγωγής υδραυλικής ισχύος και γ) ένα ηλεκτρονικό σύστημα αυτόματης καταγραφής των αναπτυσσόμενων αντιδράσεων του εδάφους στο στατικό φορτίο των τροχών του ελκυστήρα. Πρόκειται για το σύστημα Freeweigh FWLCF-10-2 της εταιρείας Trevor Deakin Consultants αποτελούμενο από τέσσερις αυτόνομες μονάδες ζύγισης και ένα καταγραφικό όργανο. Στο Σχήμα 2(α) παρουσιάζεται λεπτομέρεια της τράπεζας δοκιμών με τον υδροστατικό κύλινδρο σε θέση ανύψωσης, πάνω στον οποίο είναι τοποθετημένη η μονάδα ζύγισης και στο Σχήμα 2(β) απεικονίζεται το όργανο καταγραφής. Ο υδροστατικός κύλινδρος είναι απλής ενέργειας, τηλεσκοπικός, με μέγιστη διαδρομή 75 cm και ανυψωτική ικανότητα 10.000 kg. Κάθε μονάδα ζύγισης περιλαμβάνει μία διάτα-

ξη μετρητών μηχανικής τάσης (strain gauges) που ενσωματώνονται σε ένα προστατευτικό κάλυμμα. Η τράπεζα έχει τη δυνατότητα αυξομείωσης των διαστάσεών της, για δοκιμές ελκυστήρων με εύρος τροχών από 1100 mm μέχρι 1900 mm και μεταξύνιο από 1900 mm μέχρι 2900 mm. Με τη βοήθεια της τράπεζας είναι δυνατόν να μετρηθούν οι αναπτυσσόμενες αντιδράσεις σε κάθε τροχό. Η καταγραφή των αναπτυσσόμενων αντιδράσεων στο στατικό φορτίο των τροχών σε συνάρτηση των μεταβολών της γωνίας του κεκλιμένου επιπέδου, μας επιτρέπει στη συνέχεια να υπολογίσουμε τα όρια ευστάθειας του ελκυστήρα.



Σχήμα 2: α) Λεπτομέρεια της τράπεζας δοκιμών στην οποία απεικονίζονται ο υδροστατικός κύλινδρος σε θέση ανύψωσης και β) το όργανο καταγραφής.

Για τις ανάγκες της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε ο τροχοφόρος γεωργικός ελκυστήρας Renault 361, με συνολικό βάρος 1700 kg. Η επίδραση του εύρους των οπίσθιων τροχών στην ευστάθεια του ελκυστήρα, σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο, μελετήθηκε για τρεις διαφορετικές ρυθμίσεις αυτού. Αρχικά στα 1500 mm και στη συνέχεια στα 1800 mm και 1650 mm. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, στις δύο πρώτες περιπτώσεις, οι τροχοί ήταν συμμετρικά τοποθετημένοι γύρω από το διάμηκες επίπεδο, που τέμνει κάθετα τον πρόσθιο και οπίσθιο άξονα στο μέσον τους. Ενώ, στη ρύθμιση των 1650 mm τοποθετήθηκαν ασύμμετρα (Σχήμα 3γ). Ο μιν αριστερός απέχει 900 mm από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας, ο δε δεξιός 750 mm. Σε όλες τις ανωτέρω περιπτώσεις, η αλλαγή στη ρύθμιση του εύρους των οπίσθιων τροχών είχε ως αποτέλεσμα την διαφορετική κατανομή των φορτίων ως προς το διάμηκες επίπεδο. Ένα πρόσθετο ολικό βάρος 80 kg (Σχήμα 3δ) χρησιμοποιήθηκε ανά περίπτωση μελέτης και σε έναν από τους δύο οπίσθιους τροχούς, με σκοπό να ενισχυθεί η μετατόπιση φορτίου και να μελετηθεί περαιτέρω η ευστάθεια του ελκυστήρα. Στον πίνακα I παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι περιπτώσεις που μελετήθηκαν.

Πίνακας IV: Μεταβολή των αντιδράσεων στους οπίσθιους τροχούς του ελκυστήρα, με ολικό εύρος $b=1650$ mm, πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό και ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς.

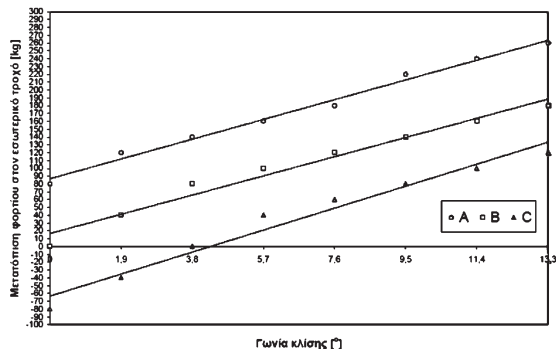
Γωνία κλίσης	Μεταβολή της αντίδρασης (R_A) στον αριστερό οπίσθιο τροχό	Μεταβολή της αντίδρασης (R_A) στο δεξιό οπίσθιο τροχό	Μετατόπιση φορτίου στον αριστερό οπίσθιο τροχό ($d_A = R_A - R_{A_0}$)
[°]	[kg]	[kg]	[kg]
0	540	720	-180
1,9	550	710	-160
3,8	560	700	-140
5,7	570	690	-120
7,6	580	680	-100
9,5	590	670	-80
11,4	600	660	-60
13,3	610	650	-40

Πίνακας II: Μεταβολή των αντιδράσεων στους οπίσθιους τροχούς του ελκυστήρα, με ολικό εύρος $b=1500$ mm, πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό και ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς.

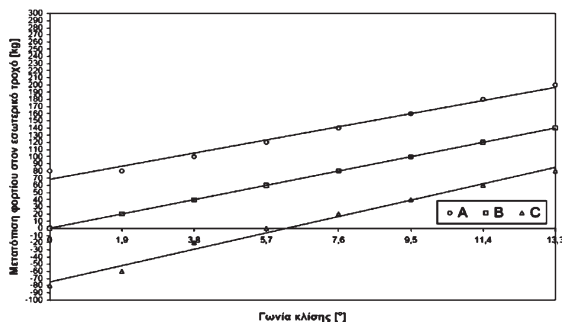
Γωνία κλίσης	Μεταβολή της αντίδρασης (R_A) στον αριστερό οπίσθιο τροχό	Μεταβολή της αντίδρασης (R_A) στο δεξιό οπίσθιο τροχό	Μετατόπιση φορτίου στον αριστερό οπίσθιο τροχό ($d_A = R_A - R_{A_0}$)
[°]	[kg]	[kg]	[kg]
0	590	670	-80
1,9	610	650	-40
3,8	630	630	0
5,7	650	610	40
7,6	660	600	60
9,5	670	590	80
11,4	680	580	100
13,3	690	570	120

Πίνακας III: Μεταβολή των αντιδράσεων στους οπίσθιους τροχούς του ελκυστήρα, με ολικό εύρος $b=1800$ mm, πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό και ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς.

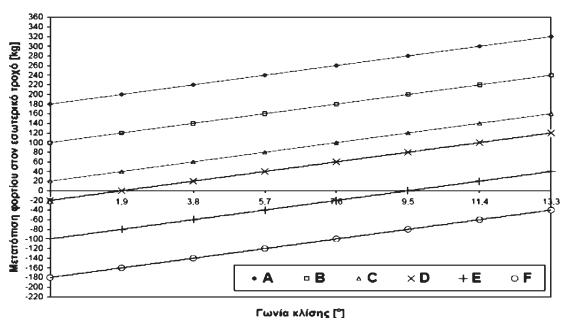
Γωνία κλίσης	Μεταβολή της αντίδρασης (R_A) στον αριστερό οπίσθιο τροχό	Μεταβολή της αντίδρασης (R_A) στο δεξιό οπίσθιο τροχό	Μετατόπιση φορτίου στον αριστερό οπίσθιο τροχό ($d_A = R_A - R_{A_0}$)
[°]	[kg]	[kg]	[kg]
0	590	670	-80
1,9	600	660	-60
3,8	620	640	-20
5,7	630	630	0
7,6	640	620	20
9,5	650	610	40
11,4	660	600	60
13,3	670	590	80



Σχήμα 4: Μετατόπιση φορτίου προς τον εσωτερικό τροχό σε συνάρτηση των μεταβολών της γωνίας κλίσης. Ολικό εύρος τροχών του ελκυστήρα $b=1500$ mm. A- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο αριστερό τροχό, B- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, χωρίς το πρόσθετο βάρος, C- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό.

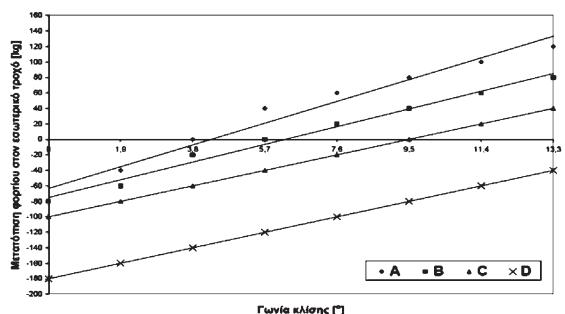


Σχήμα 5: Μετατόπιση φορτίου προς τον εσωτερικό τροχό σε συνάρτηση των μεταβολών της γωνίας κλίσης. Ολικό εύρος τροχών του ελκυστήρα $b=1800$ mm. A- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο αριστερό τροχό, B- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, χωρίς το πρόσθετο βάρος, C- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό.



Σχήμα 6: Μετατόπιση φορτίου προς τον εσωτερικό τροχό σε συνάρτηση των μεταβολών της γωνίας κλίσης. Ολικό

εύρος τροχών του ελκυστήρα $b=1650$ mm. A- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού αριστερής πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό, B- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού αριστερής πλευράς, χωρίς το πρόσθετο βάρος, C- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού αριστερής πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο αριστερό τροχό, D- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο αριστερό τροχό, E- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, χωρίς το πρόσθετο βάρος, F- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό.



Σχήμα 7: Διάγραμμα σύγκρισης των καλύτερων περιπτώσεων ευστάθειας του ελκυστήρα σύμφωνα με τη μετατόπιση φορτίου προς τον εσωτερικό τροχό. A- ολικό εύρος τροχών $b=1500$ mm, ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό, B- ολικό εύρος τροχών $b=1800$ mm, ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό, C- ολικό εύρος τροχών $b=1650$ mm, ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, χωρίς το πρόσθετο βάρος, D- ολικό εύρος τροχών $b=1650$ mm, ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό.

Στο διάγραμμα του Σχήματος 5 παρουσιάζεται η μετατόπιση φορτίου προς τον αριστερό (εσωτερικό) τροχό του ελκυστήρα, όταν το ολικό εύρος τροχών ήταν $b=1800$ mm και είχαμε ανύψωση του πρόσθιου και οπίσθιου τροχού της δεξιάς πλευράς. Στην περίπτωση A το πρόσθετο βάρος των 80 kg τοποθετήθηκε επί του οπίσθιου αριστερού τροχού, στην περίπτωση B δεν χρησιμοποιήθηκε πρόσθετο βάρος, ενώ στην περίπτωση C το πρόσθετο βάρος τοποθετήθηκε επί του οπίσθιου δεξιού τροχού. Η μικρότερη μετατόπιση φορτίου προς τον εσωτερικό τροχό παρατηρήθηκε και πάλι κατά την περίπτωση C, δηλαδή, όταν το πρόσθετο βάρος τοποθετήθηκε επί του οπίσθιου δεξιού τροχού.

Η εναλλάξ μετατόπιση φορτίου και προς τους δύο οπίσθιους τροχούς του ελκυστήρα απεικονίζεται στο διάγραμμα του Σχήματος 6. Στις περιπτώσεις A,

Β και C είχαμε ανύψωση του πρόσθιου και οπίσθιου τροχού της αριστερής πλευράς. Το πρόσθετο βάρος των 80 kg χρησιμοποιήθηκε μόνο στις περιπτώσεις Α και C, στη μεν περίπτωση Α τοποθετήθηκε στον οπίσθιο δεξιό, στη δε περίπτωση C τοποθετήθηκε στον οπίσθιο αριστερό. Ακολούθως, στις περιπτώσεις D, E και F προκλήθηκε ανύψωση του πρόσθιου και οπίσθιου τροχού της δεξιάς πλευράς. Το πρόσθετο βάρος των 80 kg χρησιμοποιήθηκε με παρόμοιο τρόπο. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση D τοποθετήθηκε στον οπίσθιο αριστερό και στην περίπτωση F στον οπίσθιο δεξιό. Από όλες τις ανωτέρω περιπτώσεις, την καλύτερη κατανομή φορτίου σε κεκλιμένο επίπεδο παρουσιάζει η περίπτωση F.

Στο διάγραμμα του Σχήματος 7 γίνεται σύγκριση ανάμεσα στις καλύτερες των περιπτώσεων κατανομής φορτίου, για τις τρεις διαφορετικές ρυθμίσεις του εύρους τροχών. Οι περιπτώσεις Α και Β αφορούν τις ρυθμίσεις του εύρους τροχών στα 1500 και 1800 mm αντιστοίχως. Ενώ οι περιπτώσεις C και D αναφέρονται στο εύρος των 1650 mm. Στις τρεις πρώτες περιπτώσεις, δηλαδή την Α, Β και C, παρουσιάζεται μία κλιμακούμενη βελτίωση της μετατόπισης φορτίου με κατεύθυνση από την Α προς την C. Αντιθέτως, η καμπύλη της περίπτωσης D διαφοροποιείται εντόνως σε σχέση με τις υπόλοιπες. Στην προκειμένη περίπτωση, η μετατόπιση φορτίου προς τον αριστερό τροχό είναι $d_A = -180 \div -40$ kg για γωνίες κλίσης $\varphi = 0 \div 13,3^\circ$ και επομένως, ο ελκυστήρας θα μπορούσε να κινηθεί σε κεκλιμένο επίπεδο με πολύ μεγαλύτερες κλίσεις. Αυτή η αισθητή βελτίωση της μετατόπισης φορτίου οφείλεται αφενός στην ασύμμετρη τοποθέτηση των τροχών, σε σχέση με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας και αφετέρου στη χρήση του πρόσθετου βάρους των 80 kg.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, η γεωμετρία ενός γεωργικού ελκυστήρα έχει σημαντική επίπτωση στην ευστάθεια του μηχανήματος σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο. Μία μικρή μεταβολή της γεωμετρίας έχει ως αποτέλεσμα τη μετατόπιση φορτίου και κατά συνέπεια τη διαμόρφωση διαφορετικής γωνίας ανατροπής. Η οριακή γωνία ανατροπής, σύμφωνα με τους Γιαλαμά κ.ά. (2005), για το συγκεκριμένο ελκυστήρα (Renault 361) υπολογίστηκε στις 42° . Ο ακριβής πειραματικός προσδιορισμός της γωνίας ανατροπής δεν ήταν εφικτός λόγω ελλείψεως πρόσθετου εξοπλισμού (όπως γερανογέφυρας συγκράτησης του ελκυστήρα, στο τελικό στάδιο της ανατροπής). Στο σημείο αυτό θα πρέπει επίσης να τονιστεί ότι κατά το στατικό προσδιορισμό της γωνίας ανατροπής σε κεκλιμένο

επίπεδο, δεν λαμβάνονται υπόψη δυναμικοί παράγοντες, όπως είναι η ταχύτητα του μηχανήματος, η ταχύτητα του εδάφους και άλλοι, που όμως επηρεάζουν σημαντικά την ευστάθεια του ελκυστήρα.

Οι τεχνικές βελτιώσεις, που επηρεάζουν τη μετατόπιση φορτίου σε έναν ελκυστήρα, ο οποίος εργάζεται σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο, όπως είναι η αύξηση του εύρους των οπίσθιων τροχών και η χρήση πρόσθετου βάρους στον εξωτερικό τροχό, μπορούν να έχουν άμεση εφαρμογή. Η αύξηση του εύρους των οπίσθιων τροχών είναι μία επιβεβλημένη ενέργεια, στην οποία θα πρέπει να προβαίνουν όλοι οι χειριστές γεωργικών ελκυστήρων, κατά την εργασία σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο. Επιπροσθέτως, η χρήση δίδυμων τροχών θα βελτιώνει ακόμη περισσότερο την ευστάθεια του μηχανήματος. Ένα πρόσθετο βάρος σαν αυτό που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3(δ), το οποίο εύκολα μπορεί να τοποθετηθεί (κρεμαστεί) στον εξωτερικό τροχό, επηρεάζει επίσης την ευστάθεια του ελκυστήρα. Η χρήση του πρόσθετου βάρους έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της αντίδρασης του εξωτερικού τροχού και συνεπώς την επιβράδυνση της μετατόπισης φορτίου και άρα τη διαμόρφωση μεγαλύτερης οριακής γωνίας ανατροπής. Η λύση της ασύμμετρης τοποθέτησης των οπίσθιων τροχών είναι δύσκολο να βρει πρακτική εφαρμογή από τους χειριστές των γεωργικών ελκυστήρων, όμως θα μπορούσε να αποτελέσει νέο αντικείμενο μελέτης για ερευνητές και μηχανικούς, ώστε στο μέλλον να προτείνουν μια τεχνικώς εφικτή λύση.

Επίσης, κρίνεται αναγκαίο να τονιστεί, ότι οι αναπτυσσόμενες αντιδράσεις του εδάφους στο στατικό φορτίο των πρόσθιων τροχών παρέμειναν αμετάβλητες στα 220 kg ανά τροχό σε όλες τις περιπτώσεις διαφορετικής ρύθμισης του εύρους, της χρήσης πρόσθετου βάρους 80 kg και για όλες τις γωνίες κλίσης. Επομένως, είναι φανερό ότι στον πρόσθιο άξονα του ελκυστήρα δεν παρατηρείται καμία μετατόπιση φορτίου, γεγονός που οφείλεται αποκλειστικά στη λειτουργία του πείρου ταλάντωσης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Ο ρόλος του εύρους των οπίσθιων τροχών στην ευστάθεια των γεωργικών ελκυστήρων που εργάζονται σε επικλινή εδάφη είναι ιδιαίτερα σημαντικός.
- Οι αναπτυσσόμενες αντιδράσεις στο στατικό φορτίο των πρόσθιων τροχών δεν επηρεάζονται από τις διαφορετικές γωνίες κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη του πείρου ταλάντωσης.
- Η ασύμμετρη τοποθέτηση των οπίσθιων τροχών

ως προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας, που τέμνει κάθετα τον πρόσθιο και οπίσθιο άξονα στο μέσον τους, καθώς και η χρήση πρόσθετου βάρους επί του εξωτερικού οπίσθιου τροχού, βελτιώνουν σημαντικά τη μετατόπιση φορτίου προς τον εσωτερικό τροχό, με αποτέλεσμα ο ελκυστήρας

να μπορεί να κινηθεί με σχετική ασφάλεια σε κεκλιμένο επίπεδο με πολύ μεγαλύτερες κλίσεις.

• Η πειραματική αυτή διαπίστωση θα βοηθούσε τόσο στη θεωρητική έρευνα όσο και στη βελτίωση των μεθόδων και των κανόνων σχεδίασης και χειρισμού των γεωργικών ελκυστήρων.

The significance of rear wheel width on agricultural tractor stability

I. Gravalos¹, Th. Gialamas¹, Z. Koutsofritis¹, D. Kateris², P. Xyradakis¹, Z. Tsiropoulos¹

ABSTRACT

The agricultural tractors, which move on inclined plane, overturn if the ground slope angle is great. The aim of this research is to investigate the role of the width of rear wheels and the use of additional weight on the external wheel, in tractor stability on inclined plane. An experimental testing bench was used for the measurements of the developed ground reactions on static load of rear wheels. It was also calculated the load displacement on internal wheel for the following different rear wheel widths 1500/1650/1800 mm, after the use of additional weight 80 kg on the external wheel and in constant changes of ground slope angle. After the processing the results, it was clear that the critical ground slope angle for tractor raises significantly when the rear width is 1650 mm and on the external wheel has been placed the additional weight.

Key words: Agricultural tractor, rear wheel width, inclined plane, stability, overturning, operating conditions safety.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abu-Hamdeh, N. H., Al-Jalil, H. F., 2004. Computer simulation of stability and control of tractor-trailed implement combinations under different operating conditions. *Bragantia Campinas* 63: 149-162.
- Fabbri, A., Molari, G., 2004. Static measurement of the center of gravity height on narrow-track agricultural tractors. *Biosystems Engineering* 87: 299-304.
- Γιαλαμάς, Θ., Κουτσοφίτης, Ζ., Φιλίντας, Α., 2003. Τράπεζα δοκιμών για τον καθορισμό της ευστάθειας γεωργικών μηχανημάτων. Πρακτικά 3ου Επιστημονικού Συνεδρίου της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος. Θεσσαλονίκη.
- Γιαλαμάς, Θ., Χαλούλης, Ι., Κουτσοφίτης, Ζ., Φιλίντας, Α., Τσατσαρέλης, Κ., Τσάκαλος, Α., Μανώλης, Κ., 2005. Πειραματική τράπεζα προσδιορισμού των γωνιών ευστάθειας γεωργικών ελκυστήρων. Πρακτικά 4ου Επιστημονικού Συνεδρίου της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος. Αθήνα.
- Γράβαλος, Ι., Γιαλαμάς, Θ., Κουτσοφίτης, Ζ., Κατέρης, Δ., Τσιρόπουλος, Ζ., Ξυραδάκης, Π., 2008. Μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν τις κινηματικές ιδιότητες ενός γεωργικού ελκυστήρα κατά την κίνησή του σε κεκλιμένο επίπεδο και την ασφάλεια του χειριστή του. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα* 19 (1): 27-37.
- Hunter, A., 1982. Tip angles for tractor sideways overturning from Norwegian test reports. Dept. Note SIN/355, Scot. Inst. Agric. Engng. Penicuik.
- Semetko, J., Drabant, S., Matejka, J., Pick, E., Smicr, V., Zikla, A., 1981. *Traktory a automobily. Priroda. Bratislava.*
- Spencer, H., Gilfillan, G., 1976. An approach to the assessment of tractor stability on rough sloping ground. *J. Agric. Engng. Res.* 21: 169-176.
- Spencer, H., Owen, G., Glasbey, C., 1985. On-site measurement of stability of agricultural machines. *J. Agric. Engng. Res.* 31: 81-91.
- Τσατσαρέλης, Κ., 1997. *Γεωργικοί Ελκυστήρες. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.*

¹ Technological Educational Institute of Larissa, Faculty of Agricultural Technology, Department of Biosystems Engineering, 41110, Larissa, Greece.

² Aristotle University, School of Agriculture, Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, 541 24 Thessaloniki, Greece.

θήκες η ανάφλεξη της καύσιμης ύλης δύναται να επηρεάζεται και από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες της καύσιμης ύλης, γεγονός που πιθανά να ερμηνεύει την ανάφλεξη της σε σχετικά υψηλές τιμές περιεχόμενης υγρασίας ασφαλείας (Weise et al. 2005). Οι μετεωρολογικές συνθήκες δεν βρέθηκαν ότι επιδρούν στατιστικώς σημαντικά στην πιθανότητα ανάφλεξης της καύσιμης ύλης. Παρόλο αυτά, θεωρείται πιθανό, ότι κάτω από ακραίες συνθήκες ταχύτητας ανέμου, η επέκταση της πυρκαγιάς δύναται να συμβαίνει και σε υψηλές τιμές περιεχόμενης υγρασίας της καύσιμης ύλης (Marsden-Smedley and Catchpole 1995). Επιπλέον, χαμηλές τιμές σχετικής υγρασίας και υψηλές τιμές θερμοκρασίας του αέρα επιδρούν εμμέσως στην πιθανότητα ανάφλεξης, εκ του γεγονότος ότι επηρεάζουν το ποσοστό υγρασίας της ξηρής δασικής καύσιμης ύλης (Schroeder and Buck 1970).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο προσδιορισμός της υγρασίας ασφαλείας και της πιθανότητας ανάφλεξης του ξηρού βελονοτάπητα δασών χαλεπίου πεύκης με τη δημιουργία μοντέλου λογιστικής παλινδρόμησης ανταποκρίθηκε πολύ καλά στα δεδομένα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του ορίου ασφαλείας της περιεχόμενης

υγρασίας του βελονοτάπητα από ανάφλεξη. Από την ανάλυση προέκυψε, ότι η περιεχόμενη υγρασία του ξηροτάπητα ήταν η μόνη παράμετρος που ήταν στατιστικά σημαντική για τη δημιουργία του μοντέλου εκτίμησης της υγρασίας ασφαλείας. Το λογιστικό μοντέλο παρουσίασε αξιόπιστους στατιστικούς ελέγχους αποδεικνύοντας την καλή προσαρμογή του.

Για πιθανότητα ανάφλεξης 50%, η υγρασία ασφαλείας του βελονοτάπητα υπολογίστηκε σε 34,7% ξ.β., ενώ για πιθανότητα ανάφλεξης 1%, η τιμή υπολογίστηκε σε 46,9%. Λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες πραγματοποίησης του υπαίθριου πειράματος, οι παραπάνω τιμές κρίνονται ρεαλιστικές σε πραγματικές συνθήκες καύσης. Η γνώση της υγρασίας ασφαλείας είναι σημαντικός παράγοντας στη λήψη ορθολογικών αποφάσεων, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην εκτίμηση της επικινδυνότητας έναρξης πυρκαγιών, ως εισαγωγικό στοιχείο στα Ελληνικά μοντέλα καύσιμης ύλης μεσογειακών κωνοφόρων και στο σχεδιασμό της στρατηγικής του αντιπυρικού αγώνα. Επίσης, η τιμή της υγρασίας ασφαλείας είναι απαραίτητο κριτήριο για τον προσδιορισμό των ιδιαίτερων συνθηκών καύσιμης ύλης και μετεωρολογίας που δημιουργούν αυξημένες πιθανότητες έναρξης και εξάπλωσης δασικών πυρκαγιών.

Ignition probability and moisture of extinction of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) forest litter

A.P. Dimitrakopoulos¹, Ioannis D. Mitsopoulos¹

SUMMARY

The objective of the study was to determine the moisture of extinction and the probability of ignition of the Aleppo pine litter fuel bed in Greece. Multiple ignition tests were conducted *in situ*, using a drip torch. Meteorological data were recorded during the ignition tests and litter moisture content was measured in the laboratory. Data were analyzed using stepwise logistic regression to define the probability of ignition based on litter moisture content values and meteorological parameters. The regression indicated that only the fuel moisture content was statistically significant ($p < 0,001$) and, consequently, it was the variable that was kept in the analysis. The logistic model correctly predicted fire ignition in 92,4% of the tests and presented acceptable goodness of fit statistics. For 50% ignition probability the litter moisture content was calculated at 34,7% o.d.w., while for 1% ignition probability at 46,9%. Furthermore, classification tree analysis was used in order to determine the independent variables that explain the variation on ignition probability. Assessment of pine litter ignition potential and moisture of extinction is required for fire danger estimation in Mediterranean pine forests.

Key words: fuel ignition potential, fuel moisture of extinction, stepwise logistic regression, forest litter, Aleppo pine, Greece.

¹ Laboratory of Forest Protection, School of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, P.O.Box: 228, 54124 Thessaloniki, Greece, e-mail: alexdimi@for.auth.gr

- moorlands II. Fire behaviour. *International Journal of Wildland Fire* 5: 215-228.
- Menard, S., 1995. *Applied Logistic Regression Analysis*. Sage Publications. Series: Quantitative Applications in the Social Sciences, No. 106.
- McCaw, W.L., 1986. Behaviour and short term effects of two fires in regenerated karri (*Eucalyptus diversicolor*) forest. Department of Conservation and Land Management, Western Australia, Technical Report 9, pp. 1-25.
- Montgomery, K.R., Cheo, P.C., 1971. Effect of leaf thickness on ignitability. *Forest Science* 17: 475-478.
- Norusis, M.J., 1997. *SPSS professional statistics*. SPSS Inc., Chicago.
- Papio, C., Trabaud, L., 1990. Structural characteristics of fuel components of five Mediterranean shrubs. *Forest Ecology and Management* 33(4): 251-255.
- Pompe, V., Vines, R.G., 1966. The influence of moisture on the combustion of leaves. *Australian Forestry* 30: 231-241.
- Pyne, S.J., Andrews, P.L., Laven, R.D., 1996. *Introduction to Wildland Fire*, 2nd Edition Wiley and Sons, Inc, New York.
- Quezel, P., 2000. Taxonomy and biogeography of Mediterranean pine species. In: Ne'eman G. and Trabaud L (eds.), *Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and Pinus brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*. Backhuys Publishers, Leiden. pp. 1-12.
- Rothermel, R.C., 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Research Paper INT-115, Ogden, Utah.
- Schroeder, M.J., Buck, C.C., 1970. *Fire Weather: A guide for application of meteorological information to forest fire control operations*, USDA Forest Service, Agriculture Handbook 360, Washington, DC
- Σιάροδος, Γ.Κ., 1999. Μέθοδοι πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης. Μέρος 1ο: Διερεύνηση σχέσεων μεταξύ μεταβλητών. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη. σελ. 232.
- Simard, A.J., 1968. The moisture content of forest fuels. A review of the basic contents. Canadian Department of Forest and Rural Development, Forest Fire Research Institute, Information Report FF-X-14. Ottawa, Ontario.
- Trabaud, L., 1976. Inflammabilité et combustibilité des principales espèces des garrigues de la region Mediterraneenne. *Ecologia Plantarum* 11: 117-136.
- Valette, J.C., 1990. Inflammabilite des especes forestieres mediterraneennes. Consequences Sur la combustibilite des formations forestieres, *Revue Forestiere Francaise* 42: 76-92.
- Van Wagner, C.E., 1967. Seasonal variation in moisture content of eastern Canadian tree foliage and possible effect on crown fires. Canadian Department, Forest and Rural Development, Forestry Branch, Publication No 1204, Ottawa, Canada.
- Wright, H.A., Bailey, A.W., 1982. *Fire Ecology: United States and Southern Canada*. John Wiley and Sons, New York.
- Xanthopoulos, G., 1990. Development of a wildland crown fire initiation model. PhD thesis. University of Montana.
- Weise, D., Zhou, X., Mahalingam, S., 2005. Fire spread in chaparral – ‘go or no-go?’. *International Journal of Wildland Fire* 14: 99-106.
- Zhou, X., Mahalingam, S., Weise, D., 2005. Modeling of marginal burning state of fire spread in live chaparral live fuels. *Combustion and Flame* 143: 183-198

Mstat και Microsoft Excel. Οι δε συγκρίσεις έγιναν με ανάλυση της διακύμανσης (ANOVA) με βάση το test της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (ΕΣΔ).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στους Πίνακες I-IV παρουσιάζονται ορισμένες φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών που χρησιμοποιήθηκαν. Από τα δεδομένα των Πινάκων αυτών φαίνεται ότι η κλάση κοκκομετρικής σύστασης όλων των εδαφών είναι L (Loam, πηλώδη), η περιεκτικότητά τους σε οργανική ουσία κυμαίνεται

από 0,22 έως 2,78% που είναι συνήθης για τα ελληνικά εδάφη, η φαινομενική πυκνότητα (γ_d) ποικίλει μεταξύ των εδαφών (1,20-1,67 g/cm³) και διαφέρει μεταξύ διαφορετικών βαθμών του ίδιου εδάφους. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα εδάφη έχουν αλκαλική αντίδραση.

3.1. Οξείδια και οξυ-υδροξείδια του Fe και του Al

Στον Πίνακα V δίνονται οι συγκεντρώσεις του Fe που παραλήφθηκε με διάφορα εκχυλιστικά μέσα. Από αυτόν τον Πίνακα φαίνεται ότι: α) δεν υπάρχει

Πίνακας I. Βασικές φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφοτομών 1A και 1B (Entisols) της Ν. Χαλκιδόνος
Table I. Basic physical and chemical properties of the 1A and 1B soil profiles (Entisols) of N. Halkidona region

Βάθος	Άμμος,	Ψύς,	Άργιλος,	Κλάση κοκκομετρικής σύστασης	γ_d	Πορώδες	pH	Οργανική ουσία	EC _{sc}	CaCO ₃
cm	%	%	%		g/cm ³	%		%	dS/m	%
Τομή 1A										
0-40	34,75	44,40	20,85	L	1,33	49,68	7,7	2,52	2,36	2,39
40-80	23,56	54,45	21,99	SiL	1,20	54,84	8,1	1,02	1,13	3,26
80-95	22,07	53,06	24,87	SiL	1,50	43,27	7,8	0,29	2,08	2,38
>95	23,85	49,51	26,64	L	1,44	45,66	8,1	0,22	1,93	1,40
Τομή 1B										
0-40	36,03	43,75	20,22	L	1,33	49,94	7,8	1,88	0,99	3,33
40-80	18,98	56,32	24,70	SiL	1,24	53,33	8,1	1,74	0,83	1,81
80-95	23,47	52,97	23,56	SiL	1,29	51,32	8,7	1,17	0,97	8,51
>95	17,08	54,31	28,61	SiCL	1,44	45,85	8,7	1,09	1,07	3,08

Πίνακας II. Βασικές φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφοτομών 2A και 2B (Entisols) της Βέροιας
Table II. Basic physical and chemical properties of the 2A and 2B soil profiles (Entisols) of Veria region

Βάθος	Άμμος,	Ψύς,	Άργιλος,	Κλάση κοκκομετρικής σύστασης	γ_d	Πορώδες	pH	Οργανική ουσία	EC _{sc}	CaCO ₃
cm	%	%	%		g/cm ³	%		%	dS/m	%
Τομή 2A										
0-20	33,03	55,41	11,56	SiL	1,34	49,56	7,6	2,41	0,43	8,78
>20	25,12	58,58	16,30	SiL	1,20	54,59	7,9	0,57	0,24	9,02
Τομή 2B										
0-12	53,55	36,42	10,03	SL	1,23	53,59	8,0	1,19	0,53	8,95
>12	33,92	54,37	11,71	SiL	1,28	51,57	8,3	0,52	0,25	10,39

Πίνακας III. Βασικές φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφοτομών 3A και 3B (Inceptisols) της Σουρωτής
Table III. Basic physical and chemical properties of the 3A and 3B soil profiles (Inceptisols) of Souroti region

Βάθος	Άμμος,	Ίλύς,	Άργιλος,	Κλάση κοκκομετρικής σύστασης	γ_d	Πορώδες	pH	Οργανική ουσία	EC _{sc}	CaCO ₃
cm	%	%	%		g/cm ³	%		%	dS/m	%
Τομή 3A										
0-10	47,83	21,80	30,37	SCL	1,40	47,17	7,9	1,84	0,48	0,56
Τομή 3B										
0-10	65,21	19,12	15,67	SL	1,39	47,67	7,2	1,46	0,61	0

Πίνακας IV. Βασικές φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφοτομών 4A και 4B (Inceptisols) , 4Γ και 4Δ (Alfisols) της Λάρισας

Table IV. Basic physical and chemical properties of the 4A and 4B (Inceptisols), 4Γ and 4Δ (Alfisols) soil profiles of Larisa region

Βάθος	Άμμος,	Ίλύς,	Άργιλος,	Κλάση κοκκομετρικής σύστασης	γ_d	Πορώδες	pH	Οργανική ουσία	EC _{sc}	CaCO ₃
cm	%	%	%		g/cm ³	%		%	dS/m	%
Τομή 4A										
0-30	46,38	33,78	19,84	L	1,50	43,40	7,6	2,78	1,07	7,43
>30	46,93	34,01	19,06	L	1,60	39,69	7,8	1,55	0,71	7,69
Τομή 4B										
0-30	35,5	42,52	21,98	L	1,29	51,32	7,7	2,76	0,59	4,99
>30	33,98	44,47	21,55	L	1,44	45,41	7,8	2,28	0,35	4,72
Τομή 4Γ										
0-30	41,7	39,51	18,79	L	1,51	43,14	6,8	0,72	0,18	0
>30	43,09	39,66	17,25	L	1,67	37,23	6,3	0,53	0,17	0
Τομή 4Δ										
0-30	60,56	28,67	10,77	SL	1,24	53,21	7,5	0,93	0,38	0,03
>30	61,35	27,82	10,83	SL	1,42	46,40	7,2	0,69	0,34	0

κάποια σαφής τάση μεταβολής της περιεκτικότητας των εδαφών στις διάφορες μορφές Fe με το βάθος, β) τα εδάφη που μελετήθηκαν διαφέρουν ως προς την περιεκτικότητά τους στις διάφορες μορφές Fe και γ) στα εδάφη της Χαλκηδόνας οι διάφορες μορφές Fe που εκχυλίστηκαν, εμφανίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα διαφορετικά βάρη.

Από τον Πίνακα V φαίνεται ότι ο λόγος Fe_o/Fe_d εμφανίζει μια τάση μείωσης με το βάθος, όπως ανα-

φέρεται και από άλλους ερευνητές (Schwertmann και Cornell, 1991). Αυτό αιτιολογείται από την επιβράδυνση κρυστάλλωσης των άμορφων οξειδίων του Fe που προκαλείται από την οργανική ουσία, η οποία είναι αυξημένη στο επιφανειακό στρώμα.

Στον Πίνακα V δίνονται, επίσης, οι συγκεντρώσεις του Al που εκχυλίστηκαν με 0,2 M οξάλικό αμμώνιο (Al_o) και με 0,5 M ζέον NaOH (Al_s). Από αυτόν τον Πίνακα φαίνεται επίσης ότι: α) δεν υπάρχει κά-

Πίνακας V. Συγκεντρώσεις Fe και Al που παραλήφθηκαν με διάφορα εκχυλιστικά μέσα και τιμές του λόγου Fe_o/Fe_d .
Table V. Iron and Aluminum extracted and Fe_o/Fe_d ratio values.

Περιοχή	Τομή	Βάθος cm	$Fe_o^{(\alpha)}$ μg/g	$Fe_d^{(\beta)}$ μg/g	$Fe_s^{(\gamma)}$ μg/g	Fe_o/Fe_d	$Al_o^{(\alpha)}$ μg/g	$Al_s^{(\gamma)}$ μg/g
Χαλκηδόνα	1A	0-40	1646 a*	7322 a	526 a	0,22	462 a	1837 a
		40-80	1396 ab	7491 a	542 a	0,19	431 a	1880 a
		80-95	1132 b	8999 b	230 b	0,13	334 b	1994 a
		>95	1460 ab	11031 c	237 b	0,13	493 a	2416 b
	1B	0-40	1469 a	7518 a	802 a	0,20	334 a	2226 a
		40-80	1608 b	8014 b	457 ab	0,20	410 ab	2286 a
		80-95	1208 c	6575 c	546 ab	0,19	460 b	1551 b
		>95	1167 c	9665 d	437 b	0,12	464 b	1916 c
Βέροια	2A	0-20	1047 a	5283 a	444 a	0,20	373 a	1314 a
		>20	1445 a	6202 b	434 a	0,23	444 a	1086 b
	2B	0-12	1485 a	4702 a	-	0,32	334 a	842 a
		>12	1477 a	5067 a	-	0,29	304 a	946 a
Σουρωτή**	3A	0-10	455 a	6610 a	273 a	0,07	490 a	2830 a
	3B	0-10	376 a	4100 b	269 a	0,09	497 a	1143 b
Λάρισα	4A	0-30	1331 a	4607 a	477 a	0,29	493 a	1035 a
		>30	1336 a	4934 b	443 a	0,27	544 a	1049 a
	4B	0-30	394 a	4390 a	310 a	0,09	419 a	1389 a
		>30	255 a	4534 a	343 a	0,06	335 a	1328 b
	4Γ	0-30	615 a	4703 a	437 a	0,13	264 a	1778 a
		>30	549 a	4601 a	405 a	0,12	237 a	1666 a
	4Δ	0-30	384 a	3524 a	284 a	0,11	211 a	1178 a
		>30	283 a	3349 a	282 a	0,08	171 a	1211 a

*Τιμές στην ίδια στήλη που συνοδεύονται από διαφορετικά γράμματα, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο $P < 0,05$ σύμφωνα με το LSD test σύγκρισης μέσων όρων.

**Η σύγκριση γίνεται μεταξύ των επιφανειακών εδαφών 3A και 3B.

(α) εκχυλίστηκε με 0,2 M οξάλικο αμμώνιο

(β) εκχυλίστηκε με κιτρικό - διπτανθρακικό - διθειονικό Na (CBD)

(γ) εκχυλίστηκε με 0,5 M ζέον NaOH

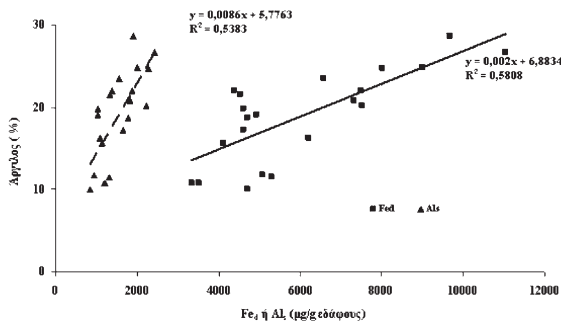
ποια σαφής τάση μεταβολής της περιεκτικότητας των εδαφών σε Al_o και σε Al_s με το βάθος, β) τα εδάφη που μελετήθηκαν διαφέρουν ως προς την περιεκτικότητά τους σε αυτές τις μορφές Al και γ) σε όλα σχεδόν τα εδάφη που μελετήθηκαν, οι διάφορες μορφές Al που εκχυλίστηκαν, εμφανίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων βαθμών.

Από τα στοιχεία του Πίνακα V φαίνεται ότι οι ενώσεις του Fe που εκχυλίστηκαν με οξάλικο

αμμώνιο (Fe_o) απαντούν σε πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις από τις ενώσεις του Al που παραλήφθηκαν με το ίδιο εκχυλιστικό μέσο (Al_o) και οι διαφορές τους ήταν στατιστικά σημαντικές ($p < 0,05$). Αντίθετα, οι μερικώς κρυσταλλωμένες ενώσεις του Fe (Fe_s) που παραλήφθηκαν με 0,5 M ζέον NaOH βρέθηκαν σε μικρότερες, σε στατιστικά σημαντικό επίπεδο, συγκεντρώσεις από τις αντίστοιχες ενώσεις του Al (Al_s) που εκχυλίστηκαν με το ίδιο διά-

λυμα. Η φαινομενική τουλάχιστον αυτή ασυμφωνία δεν είναι δυνατόν προς το παρόν να ερμηνευθεί.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ποσότητες Fe που εκχυλίστηκαν με κιτρικό-διπτανθρακικό-διθειονικό Na (Fe_d) και οι ποσότητες Al που εκχυλίστηκαν με 0,5 M NaOH (Al_s) συσχετίζονται θετικά και σε στατιστικά σημαντικό επίπεδο ($p < 0,05$) με την περιεκτικότητα των εδαφών σε άργιλο (Σχήμα 1). Το γεγονός αυτό αποτελεί μια ένδειξη ότι αυτές οι ενώσεις του Fe και του Al εμπίπτουν από πλευράς μεγέθους στο κλάσμα άργιλος (Oades, 1989).



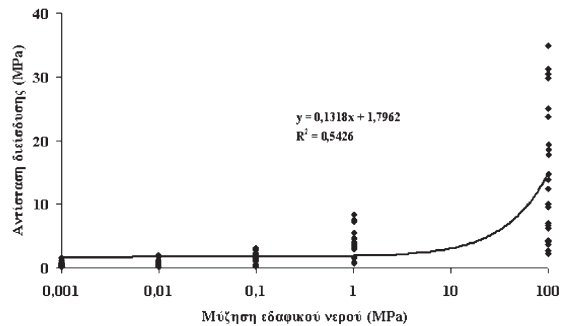
Σχήμα 1. Σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε άργιλο του συνόλου των εδαφών και της συγκέντρωσης Fe_d και Al_s .

Figure 1. Relationship between clay content of all soils studied and crystalline forms of Fe (Fe_d) and poorly crystalline forms of Al (Al_s).

3.2. Αντίσταση διείσδυσης και μύζηση του εδαφικού νερού

Στον Πίνακα VI εμφανίζονται οι τιμές της αντίστασης διείσδυσης των εδαφικών δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν μετά την εξισορρόπησή τους σε διάφορες μυζήσεις εδαφικού νερού.

Από τα στοιχεία του Πίνακα VI και το Σχήμα 2 φαίνεται ότι η αντίσταση διείσδυσης όλων των εδαφών αυξάνει με την αύξηση της μύζησης του εδαφικού νερού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, με την αύξηση της μύζησης του νερού, αυξάνουν οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ εδαφικών τεμαχιδίων (και δομικών μονάδων) και έτσι αυτά μετακινούνται δυσκολότερα κατά την είσοδο του διεισδυσίμετρου μέσα στο έδαφος. Επιπλέον, με την αύξηση της μύζησης του εδαφικού νερού και την επακόλουθη μείωση της εδαφικής υγρασίας, αυξάνει ο συντελεστής τριβής τόσο μεταξύ των εδαφικών τεμαχιδίων και των δομικών μονάδων, όσο και μεταξύ της στερεής φάσης του εδάφους και του κωνικού άκρου του διεισδυσίμετρου.



Σχήμα 2. Μεταβολές της αντίστασης διείσδυσης όλων των εδαφών που χρησιμοποιήθηκαν με τη μύζηση του εδαφικού νερού.

Figure 2. Changes in penetration resistance of all soils studied, as soil water suction increases.

Από τον Πίνακα VI και το Σχήμα 2 φαίνεται, επίσης, ότι τόσο για κάθε έδαφος ξεχωριστά όσο και για όλα τα εδάφη συνολικά, η τυπική απόκλιση (παραλλακτικότητα) της αντίστασης διείσδυσης αυξάνει με την αύξηση της μύζησης του εδαφικού νερού. Αυτό συμβαίνει επειδή, σε ακόρεστες συνθήκες, με την αύξηση της μύζησης (μείωση της εδαφικής υγρασίας) αυξάνει ο ρόλος της στερεής φάσης του εδάφους, η οποία έχει διαφορετικές ιδιότητες (Πίνακες I-IV), στη διαμόρφωση των τιμών της αντίστασης διείσδυσης. Δηλαδή, σε τέτοιες συνθήκες επέρχεται διαφοροποίηση της αντίστασης διείσδυσης (αύξηση της παραλλακτικότητας) ανάλογα με τις ιδιότητες των εδαφών.

Επίσης, από τα στοιχεία του Πίνακα VI φαίνεται ότι υπάρχει μια γενική τάση αύξησης της αντίστασης διείσδυσης με το βάθος πιθανόν λόγω της αυξανόμενης με το βάθος φαινομενικής πυκνότητας (Πίνακες I-IV). Όμως, δε βρέθηκε καμία στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$) σχέση που να συνδέει αυτές τις δύο ιδιότητες. Εντονότερη διαφοροποίηση μεταξύ των οριζόντων, παρατηρείται σε υψηλές τιμές μύζησης (≥ 1000 kPa), δηλαδή σε πολύ χαμηλές τιμές εδαφικής υγρασίας. Αντίθετα, σε υψηλές τιμές υγρασίας (= χαμηλές μυζήσεις) και παρά τις διαφορές φαινομενικής πυκνότητας (Πίνακες I-IV), η αντίσταση διείσδυσης εμφανίζει σχεδόν παρόμοιες τιμές σε όλα τα εδάφη και βάθη. Τα αποτελέσματα αυτά βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με δεδομένα που συναντώνται στη διεθνή βιβλιογραφία (Bengough κ.α., 2001), σύμφωνα με τα οποία η εδαφική υγρασία ή η μύζηση του εδαφικού νερού αποτελούν τον κύριο παράγοντα καθορισμού της αντίστασης διείσδυσης.

Πίνακας VI. Μέσες τιμές (και τυπική απόκλιση) της αντίστασης διείσδυσης σε διάφορες μυζήσεις εδαφικού νερού
 Table VI. Mean values (and standard deviation) of penetration resistance at different soil water suctions

Μύζηση εδαφικού νερού, kPa		Αντίσταση διείσδυσης (MPa)					
		1	10	100	1000	10 ⁵	M.O.
Βάθος, cm							
Χαλκηδόνα							
Τομή 1A	0-40	0,50*(0,15)	0,97 (0,17)	2,24 (0,24)	3,37 (0,61)	9,5 (2,70)	3,32 a**
	40-80	0,83 (0,17)	0,78 (0,15)	1,46 (0,49)	3,37 (0,68)	10,02 (1,65)	3,29 a
	80-95	1,04 (0,26)	2,00 (0,87)	3,21 (0,58)	4,81 (1,07)	19,36 (8,50)	6,08 b
	>95	1,51 (0,31)	1,75 (0,41)	2,43 (0,41)	3,87 (1,08)	29,85 (5,53)	7,88 b
Τομή 1B	0-40	0,66 (0,07)	1,23 (0,15)	1,98 (0,30)	3,68 (1,16)	17,85 (5,30)	5,08 a
	40-80	0,87 (0,11)	0,94 (0,21)	1,41 (0,24)	2,95 (0,79)	18,58 (7,82)	4,95 a
	80-95	0,71 (0,09)	0,9 (0,17)	1,72 (0,30)	3,47 (0,37)	12,38 (4,02)	3,83 a
	>95	1,08 (0,17)	1,32 (0,07)	2,36 (0,28)	4,65 (0,94)	34,97 (9,50)	8,87 b
Βέροια							
Τομή 2A	0-20	0,71 (0,09)	1,08 (0,17)	1,34 (0,27)	3,07 (0,44)	7,05 (0,69)	2,65 a
	>20	1,08 (0,25)	1,06 (0,20)	1,67 (0,24)	2,95 (1,02)	4,29 (2,62)	2,21 a
Τομή 2B	0-12	0,64 (0,08)	1,04 (0,15)	1,56 (0,27)	1,77 (0,31)	2,26 (0,48)	1,45 a
	>12	0,71 (0,13)	1,18 (0,15)	1,70 (0,53)	1,65 (0,38)	4,08 (1,658)	1,86 a
Σουρωτή***							
Τομή 3A	0-10	1,06 (0,20)	1,2 (0,38)	2,81 (0,33)	7,52 (2,83)	31,34 (7,98)	8,79 a
Τομή 3B	0-10	0,14 (0,00)	0,31 (0,23)	0,61 (0,12)	0,92 (0,37)	2,64 (0,91)	0,92 b
Λάρισα							
Τομή 4A	0-30	0,35 (0,15)	0,38 (0,12)	1,72 (0,28)	7,59 (2,58)	25,13 (10,98)	7,04 a
	>30	0,54 (0,21)	0,66 (0,33)	2,38 (0,91)	8,46 (1,15)	30,53 (18,01)	8,52 a
Τομή 4B	0-30	0,24 (0,15)	0,38 (0,37)	1,08 (0,82)	5,52 (3,71)	6,72 (3,92)	2,79 a
	>30	0,47 (0,32)	0,87 (0,24)	2,22 (1,96)	4,20 (1,17)	14,83 (5,59)	4,52 a
Τομή 4Γ	0-30	0,24 (0,15)	0,85 (0,50)	2,22 (0,47)	5,54 (2,48)	13,86 (3,84)	4,54 a
	>30	0,35 (0,15)	0,68 (0,32)	1,65 (0,40)	7,24 (1,77)	23,86 (19,18)	6,76 a
Τομή 4Δ	0-30	0,14 (0,00)	0,16 (0,06)	0,26 (0,23)	0,80 (0,19)	3,68 (2,54)	1,01 a
	>30	0,14 (0,00)	0,40 (0,26)	0,47 (0,38)	1,70 (0,53)	6,22 (5,35)	1,79 a

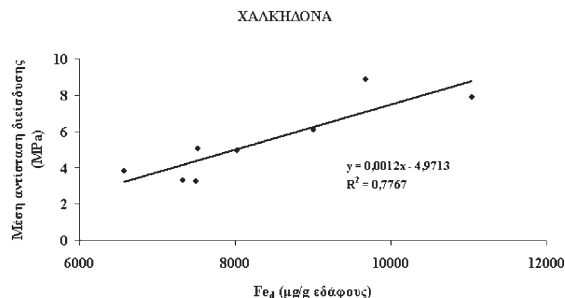
* Οι τιμές αντίστασης διείσδυσης για κάθε συγκεκριμένη μύζηση, αποτελούν το μέσο όρο έξι μετρήσεων.

**Τιμές στην ίδια στήλη που συνοδεύονται από διαφορετικά γράμματα, διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο $P < 0,05$ σύμφωνα με το LSD test σύγκρισης μέσων όρων.

*** Η σύγκριση γίνεται μεταξύ των επιφανειακών εδαφών 3A και 3B.

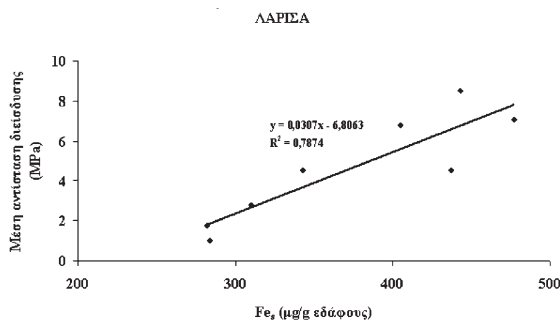
3.3. Αντίσταση διείσδυσης και οξειδία και οξυ-υδροξείδια του Fe και του Al

Για τα εδάφη κάθε περιοχής χωριστά, βρέθηκαν θετικές και στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ της μέσης αντίστασης διείσδυσης των δειγμάτων (ανεξάρτητα από τη μύζηση στην οποία ισορρόπησαν πριν από τις μετρήσεις) και κάθε μιας από τις μορφές Fe που παραλήφθηκαν με διάφορα εκχυλιστικά μέσα. Στα Σχήματα 3 και 4 δίνονται αντίστοιχα οι σχέσεις μεταξύ της αντίστασης διείσδυσης και του Fe που εκχυλίστηκε με κιτρικό-διπτανθρακικό-διθειονικό νάτριο (Fe_d) για τα εδάφη της Χαλκιδόνας και της αντίστασης διείσδυσης και του Fe που εκχυλίστηκε με 0,5 M NaOH (Fe_s) για τα εδάφη της Λάρισας. Από αυτά τα Σχήματα φαίνεται ότι τα εδάφη της Λάρισας διαφοροποιούνται από τα υπόλοιπα, κατά το ότι για πολύ μικρή αύξηση της συγκέντρωσης των μερικώς κρυσταλλωμένων ενώσεων Fe παρατηρείται σημαντική αύξηση των τιμών της αντίστασης διείσδυσης. Η διαφοροποίηση αυτή, ειδικότερα της αντίστασης διείσδυσης με τη μεταβολή της συγκέντρωσης Fe_d είναι ιδιαίτερα εμφανής (Σχήμα 5). Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5, η γραμμική συμμεταβολής της αντίστασης διείσδυσης με τη συγκέντρωση των ελεύθερων οξειδίων του Fe (Fe_d) στα εδάφη της Λάρισας, παρουσιάζει αρκετά μεγαλύτερη κλίση από την αντίστοιχη γραμμική που αφορά το σύνολο των υπόλοιπων εδαφών. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι στα συγκεκριμένα εδάφη της Λάρισας, τα ελεύθερα οξειδία του Fe παίζουν σημαντικότερο ρόλο στην αύξηση της αντίστασης διείσδυσης σε σχέση με τα υπόλοιπα εδάφη. Η διαφοροποίηση αυτή πιθανώς να οφείλεται στο μεγαλύτερο βαθμό εξέλιξης των εδαφών της Λάρισας (Alfisol) που έχει ως αποτέλεσμα τις διαφορές αυτών των εδαφών από τα υπόλοιπα ως προς το βαθμό κρυστάλλωσης και το μέγεθος των κρυστάλλων των οξειδίων Fe και το είδος και τις ιδιότητες των ορυκτών της αργίλου.



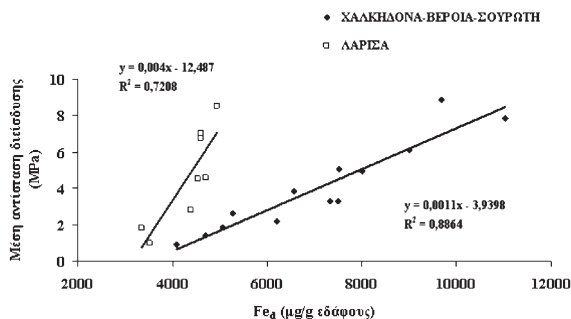
Σχήμα 3. Σχέση της μέσης αντίστασης διείσδυσης των εδαφών της Χαλκιδόνας με την περιεκτικότητά τους σε ελεύθερα οξειδία και οξυ-υδροξείδια του Fe (Fe_d).

Figure 3. Relationship of mean penetration resistance of Halkidona soils with free Fe oxides and oxyhydroxides (Fe_d) content.



Σχήμα 4. Σχέση της μέσης αντίστασης διείσδυσης των εδαφών της Λάρισας με την περιεκτικότητά τους σε μερικώς κρυσταλλωμένες ενώσεις του Fe (Fe_s).

Figure 4. Relationship of mean penetration resistance of Larisa soils with poorly crystalline Fe forms (Fe_s) content.



Σχήμα 5. Σχέση της μέσης αντίστασης διείσδυσης των εδαφών της Χαλκιδόνας, της Βέροιας και της Σουρωτής (ως σύνολο) και της Λάρισας με την περιεκτικότητα των εδαφών σε ελεύθερα οξειδία και οξυ-υδροξείδια του Fe (Fe_d).

Figure 5. Relationship of mean penetration resistance of Halkidona, Veria and Souroti soils (as a total) and Larisa soils, with free Fe oxides and oxy-hydroxides (Fe_d) content.

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται γραφικά η σχέση μεταξύ του λόγου Fe_s/Fe_d και των μέσων τιμών της αντίστασης διείσδυσης για τα εδάφη της Χαλκιδόνας, της Βέροιας και της Σουρωτής. Από αυτό το Σχήμα φαίνεται ότι, όσο μικρότερη είναι η τιμή του λόγου Fe_s/Fe_d , δηλαδή όσο περσιότερο κυριαρχούν τα ελεύθερα οξειδία (κρυσταλλικές μορφές) του Fe, τόσο αυξάνει η αντίσταση διείσδυσης των εδαφών. Επομένως, διαφαίνεται η σημαντική συνεισφορά των κρυσταλλικών ενώσεων των οξειδίων του Fe στην αντίσταση διείσδυσης, δηλαδή στην αντοχή των εδαφών. Σε παρόμοιο συμπέρασμα, που αφορά στη σχέση μεταξύ των τιμών

Η θετική και στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ αντίστασης διείσδυσης και αργίλου είναι μάλλον αναμενόμενη καθώς στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις βρέθηκαν και μεταξύ αργίλου και ενώσεων του Fe και του Al που παραλήφθηκαν με διάφορα εκχυλιστικά διαλύματα (Σχήμα 1). Επομένως, από τα ευρήματα αυτής της εργασίας δεν μπορεί να υποστηριχθεί με σαφήνεια αν και κατά πόσο η αυξημένη αντίσταση διείσδυσης οφείλεται: α) στις υψηλές συγκεντρώσεις των οξειδίων και οξυ-υδροξειδίων του Fe και του Al, β) στην υψηλή περιεκτικότητα των εδαφών σε άργιλο, ή γ) στο συνδυασμό αυτών των δύο εδαφικών συστατικών.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα από τα ευρήματα αυτής της εργασίας μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα:

Παρατηρείται στατιστικά σημαντική συσχέτιση (θετική) μεταξύ οξειδίων και οξυ-υδροξειδίων του

Fe και Al, καθώς και της περιεκτικότητας σε άργιλο (%), με την αντίσταση διείσδυσης. Δεν είναι όμως απόλυτα σαφές ποιο από τα δύο εδαφικά συστατικά παίζει σπουδαιότερο ρόλο στις μεταβολές της αντίστασης διείσδυσης των εδαφών.

Παρατηρείται στατιστικά σημαντική συσχέτιση (αρνητική) μεταξύ του λόγου του 'ενεργού σιδήρου' Fe_o/Fe_d με την αντίσταση διείσδυσης. Το γεγονός αυτό αποτελεί σοβαρή ένδειξη για τη σημαντική συνεισφορά των ελεύθερων (κρυσταλλικών) οξειδίων και οξυ-υδροξειδίων του Fe στην αντίσταση διείσδυσης των εδαφών.

Απαιτείται επιπλέον ερευνητική προσπάθεια, με τη χρησιμοποίηση 'καθαρών συστημάτων', για να διευκρινιστεί απόλυτα ο ρόλος της αργίλου, των οξειδίων και οξυ-υδροξειδίων του Fe και του Al και ενδεχομένως και άλλων συνδυαστικών συστατικών στην αντίσταση διείσδυσης των εδαφών.

The role of Fe and Al oxides and oxyhydroxides to penetration resistance of soils

S. Stefanou¹, K.P.Panayiotopoulos², N. Barbayiannis³ and D. Alifragis⁴

SUMMARY

In the present work, the effect of clay and amorphous and crystalline Fe and Al oxides and oxyhydroxides content on soil penetration resistance, as a function of soil water suction, for the whole range of soil water content, was studied. The soils used were of loamy texture and were collected from cultivated and non-cultivated areas of Macedonia and Thessaly.

The results of the work showed that, the increase of Fe and Al oxides and oxyhydroxides content resulted in an increase of soil penetration resistance and the relationships between them were significant. Crystalline Fe forms found to have a more pronounced effect on penetration resistance as compared to amorphous Fe forms. Finally, positive and significant relationship was also obtained between penetration resistance and clay content.

Keywords: penetration resistance, soil water suction, Fe and Al oxides and oxyhydroxides

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ajmoné Marsan F. and J. Torrent, 1989. Fragipan bonding by silica and iron oxides in a soil from Northwestern Italy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1140-1145.
Anderson, J.U., and J.L. White. 1958. A study of fragipans in some southern Indiana soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 22: 450-454.
Bengough, A.G. and C.E. Mullins. 1990. Mechan-

ical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. *J. of Soil Sci.* 41 : 341-358.

Bengough, A.G., D.J. Campbell, and M.F. O'Sullivan. 2001. Penetrometer Techniques in Relation to Soil Compaction. In: *Soil and Environmental Analysis*. 2nd edn. (eds K.A. Smith and C.E. Mullins), pp 377-403. Marcel Dekker, Inc., New York.

¹ *Agriculturist, Ph.D. in Soil Science*

² *Professor, Laboratory of Soil Science, Faculty of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki*

³ *Associate Professor, Laboratory of Soil Science, Faculty of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki*

⁴ *Professor, Laboratory of Forest Soil Science, Faculty of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki*

Αξιολόγηση των επιπτώσεων της διάνοιξης των ορεινών δασών στο φυσικό περιβάλλον

Στέργιος Θ. Ταμπέκης¹, Ευάγγελος Α. Καραγιάννης², Βασίλειος Ι. Γιαννούλας²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή εφαρμόζεται ένα καινούργιο πλαίσιο ελέγχου των επιπτώσεων που προκαλούνται στο φυσικό περιβάλλον εξαιτίας της κατασκευής των έργων διάνοιξης του δάσους, υπό το πρίσμα της συμβατότητάς τους με αυτό. Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι δύσκολο να αποτιμηθεί με τα κλασικά μοντέλα διάνοιξης, τα οποία βασίζονται σε οικονομικά μεγέθη, στα πλαίσια των γνωστών μεθόδων λήψης αποφάσεων, όπως είναι η ανάλυση κόστους οφέλους καθώς και άλλες αναλυτικές μέθοδοι. Αναπτύσσεται έτσι και προτείνεται μια καινούργια μέθοδος αξιολόγησης των έργων διάνοιξης, που να περιλαμβάνει μετρήσιμα, με φυσικές μονάδες, τεχνικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά-οικολογικά και κοινωνικά κριτήρια.

Η καινούργια αυτή μέθοδος υπολογισμού της συμβατότητας των έργων διάνοιξης με το φυσικό περιβάλλον βασίζεται στη χρησιμοποίηση κριτηρίων υπολογισμού της έντασης της ανθρώπινης επίδρασης στο δασικό οικοσύστημα και της απορροφητικότητας των επιδράσεων, που προκαλούνται από τα έργα διάνοιξης, από το οικοσύστημα.

Στο πλαίσιο της καινούργιας μεθόδου ελέγχου των επιπτώσεων με μετρήσιμα κριτήρια, πραγματοποιείται έλεγχος της συμβατότητας των έργων της βασικής διάνοιξης (δασικοί δρόμοι) με το φυσικό περιβάλλον στην ορεινή δασική περιοχή του Δήμου Μετσόβου και αξιολογείται η συμβολή της συγκεκριμένης μεθόδου στον έλεγχο της συμβατότητας της διάνοιξης, με σκοπό τη βιώσιμη ανάπτυξη της εν λόγω περιοχής. Εξετάζεται έτσι η ένταση των επιπτώσεων που έχουν προκαλέσει τα έργα οδικής διάνοιξης του δάσους (δασικοί δρόμοι) στο φυσικό περιβάλλον της περιοχής και μετράται η απορροφητικότητά τους από αυτό.

Λέξεις κλειδιά: Διάνοιξη δάσους, δασοτεχνικά έργα, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συμβατότητα, ένταση, απορροφητικότητα, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ολοκληρωμένη διάνοιξη μιας ορεινής δασικής περιοχής (βασική διάνοιξη με δασικούς δρόμους και λεπτοφυής διάνοιξη με παρόδους, τρακτερόδρομους σχοινογραμμές και σύρτες) προκαλεί σημαντική επέμβαση στο φυσικό περιβάλλον που πρέπει να εξεταστεί με πολύ κριτικό πνεύμα από οικολογική άποψη εξαιτίας των επιπτώσεών της σ' αυτό (Sedlak 1993, Becker 1995). Επειδή όμως η διάνοιξη των δασών είναι αναγκαία και αναπόφευκτη (Leibundgut 1961, Heinimann 1994) για να επιτευχθεί η ορθολογική διαχείριση των δασικών οι-

κοσυστημάτων, με ταυτόχρονη προστασία τους, με σκοπό τη βιώσιμη ανάπτυξη των ορεινών περιοχών, πρέπει να βρεθεί μια χρυσή τομή μεταξύ αυτών των δύο διαφορετικών λειτουργιών.

Σε αντίθεση με τα κλασικά μοντέλα διάνοιξης, που βασίζονται κυρίως σε οικονομικά κριτήρια, πρέπει να αναπτυχθεί μια μέθοδος αξιολόγησης της διάνοιξης με δασικούς δρόμους, που να περιλαμβάνει τεχνικά, οικονομικά, οικολογικά αλλά και κοινωνικά κριτήρια (Doukas 1994, Doukas και Akca 1998). Η εκτίμηση των επιπτώσεων της διάνοιξης είναι πολύ δύσκολο να αποτιμηθεί με οικονομικά μεγέθη στα

¹ Διδάκτωρ Δασολόγος-Περιβαλλοντολόγος, Θηραμένους 1, Τ.Κ. 546 34 Θεσσαλονίκη, e-mail: stampeki@for.auth.gr

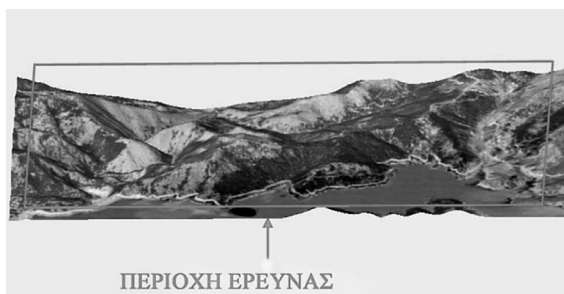
² Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας, e-mail: eakarag@for.auth.gr, vgiannou@for.auth.gr

πλαίσια των γνωστών μεθόδων λήψεων αποφάσεων όπως είναι η ανάλυση κόστους-οφέλους καθώς και άλλες αναλυτικές μεθόδους (Καραγιάννης 2007). Για την αξιολόγηση των επιπτώσεων αυτών και την εκτίμηση τους μπορεί χρησιμοποιηθεί η συμβατότητα των έργων διάνομιξης με το φυσικό περιβάλλον (Børgger et al 1987, Δούκας 2004, Γιαννούλας και Δρόσος 2005), δηλαδή η χρησιμοποίηση μετρήσιμων κριτηρίων έντασης της ανθρώπινης επίδρασης στο δασικό οικοσύστημα και απορροφητικότητας των επιδράσεων των έργων διάνομιξης από το οικοσύστημα (Γιαννούλας κ.ά. 2002). Με τον όρο συμβατότητα εννοούμε γενικά τον καθορισμό, περιγραφή και αξιολόγηση των επιδράσεων ενός έργου στο περιβάλλον και τη λήψη μέτρων για την προστασία του.

Στην εργασία αυτή αξιολογείται με μετρήσιμα, σε φυσικές μονάδες, κριτήρια η συμβατότητα των έργων βασικής διάνομιξης (δασικοί δρόμοι), της ορεινής δασικής περιοχής του δήμου Μετσόβου με το φυσικό περιβάλλον, υπολογίζεται η ένταση των επιπτώσεων που έχουν προκαλέσει αυτά στο περιβάλλον και μετράται η απορροφητικότητά τους απ' αυτό.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ως περιοχή έρευνας επιλέχθηκαν τα τμήματα 3 και 4 (Σχήμα 1) του δημοτικού δάσους Μετσόβου, του δήμου Μετσόβου, του νομού Ιωαννίνων. Τα τμήματα αυτά του δάσους βρίσκονται σε οδική απόσταση 23 km βόρεια του δημοτικού διαμερίσματος του Μετσόβου. Ειδικότερα η περιοχή που μελετήθηκε εκτείνεται μεταξύ $21^{\circ} 05' 89''$ και $21^{\circ} 10' 56''$ Βόρειου Γεωγραφικού Πλάτους και μεταξύ $39^{\circ} 82' 34''$ έως $39^{\circ} 85' 49''$ Δυτικού Γεωγραφικού Μήκους από το βάθρο του Αστεροσκοπείου Αθηνών. Η έκταση της ανέρχεται σε 580 ha.



Σχήμα 1. Περιοχή έρευνας, δασικά τμήματα 3 & 4 δημοτικού δάσους δήμου Μετσόβου.

Figure 1. Research area. Forest sections 3 and 4 of the municipality forest of Metsovo.

Για την ανάγκη της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν: Ορθοφωτοχάρτες και διαγράμματα ορθοφωτοχαρτών κλίμακας 1:5000 σε ψηφιακή μορφή TIFF, DGN και DWG της περιοχής (248-413, 252-413) και τα αντίστοιχα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DTM), στοιχεία σύνθεσης της κυκλοφορίας και του κυκλοφοριακού φόρτου, οι Αναλυτικές Τιμές Έργων Οδοποιίας (ATEO) και Υδραυλικών Έργων (ATEΥΔ) 2^{ου} τριμήνου 2006 (Γ.Γ.Δ.Ε. 2006) και η διαχειριστική μελέτη για το δημοτικό δάσος του Μετσόβου της περιόδου 2005-2014. Με την ηλεκτρονική επεξεργασία των ορθοφωτοχαρτών και των διαγραμμάτων των ορθοφωτοχαρτών και των αντίστοιχων μοντέλων εδάφους της περιοχής, κατέστη δυνατή η ψηφιοποίηση των χρήσεων γης, του δασικού οδικού δικτύου και η εξαγωγή ασφαλών μετρήσεων που αφορούν τον υπολογισμό των εμβαδών για κάθε χρήση γης, καθώς και του μήκους του δασικού οδικού δικτύου (Doukas 1995).

Για τον προσδιορισμό της έντασης της ανθρώπινης επέμβασης στο φυσικό περιβάλλον από τα υφιστάμενα έργα διάνομιξης, για την ορθολογική διαχείριση του δάσους, προσδιορίστηκαν τα αντίστοιχα κριτήρια (Buwal 1990, Mader 1990, Heinimann 1994, Karagiannis et al 2001, Γιαννούλας 2001, Giannoulas et al 2001, Δούκας 2004). Παράλληλα καθορίστηκαν συντελεστές βαρύτητας, οι οποίοι εκφράζουν το βαθμό της έντασης του κάθε κριτηρίου, σύμφωνα με τις απόψεις ειδικών επιστημών κατά περίπτωση.

Αναλυτικότερα τα κριτήρια της έντασης που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

1. Οδική πυκνότητα. Το ποσοστό της υπάρχουσας οδικής πυκνότητας (Dup) που υπερβαίνει ή υπολείπεται από την οικονομικά άριστη οδική πυκνότητα (Doik) βαθμολογείται σαν ποσοστό μείωσης του άριστα 100. Η οικονομικά άριστη οδική πυκνότητα (D0) υπολογίζονται με τη μέθοδο του τοκοχρεωλυσίου (Kroth 1973, United Nations 1988, Zundel 1990, Trzesniowski 1993). Συντελεστής βαρύτητας 3.

2. Μέσο μετατόπισης του ξύλου. Το ποσοστό της χρήσης των διαφόρων μέσων μετατόπισης του ξύλου αν πολλαπλασιασθεί με το συντελεστή επιβάρυνσης του κάθε μέσου βαθμολογείται σαν ποσοστό μείωσης του άριστα 100. (Συντελεστές επιβάρυνσης: Έλκυστήρες 0,3-0,4, ζώα 0,6-0,7 και εναέριες εγκαταστάσεις 0,8-0,9). Συντελεστής βαρύτητας 2.

3. Το ποσοστό διάνοιξης (χωροκατανομή). Ποσοστό διάνοιξης με δασικούς δρόμους κάτω του 70%, βαθμολογείται σαν ποσοστό μείωσης του άριστα 100. Συντελεστής βαρύτητας 3.

4. Κατεύθυνση σύρσης (Ζώα, ελκυστήρες, σχοινογραμμές). Το ποσοστό των γωνιών των αποστάσεων μετατόπισης που είναι $<45^\circ$, σε σχέση με τη θεωρητική απόσταση μετατόπισης (κάθετη μετατόπιση ως προς το δρόμο), βαθμολογείται σαν ποσοστό μείωσης του άριστα 100. Συντελεστής βαρύτητας 1.

5. Κυκλοφοριακός φόρτος και τύπος οχημάτων. α) Το ποσοστό υπέρβασης του κυκλοφοριακού φόρτου σε σχέση με αυτόν που δικαιολογείται από το λήμμα (Γιαννούλας 2001, Δούκας 2004), βαθμολογείται σαν ποσοστό μείωσης του άριστα 100. Συντελεστής βαρύτητας 2. **β)** Το ποσοστό υπέρβασης λόγω υπερφόρτωσης των οχημάτων, σε σχέση με τους ισχύοντες κανονισμούς (Καραγιάννης και Κιαπίδου, 2001, Eskioğlu 2002), βαθμολογείται σαν ποσοστό μείωσης του άριστα 100. Συντελεστής βαρύτητας 2.

Στη συνέχεια ερευνήθηκε η ικανότητα απορρόφησης από το δασικό οικοσύστημα των επιπτώσεων των έργων διάνοιξης. Ειδικότερα ως απορρόφηση ορίζεται αφενός κατά πόσο η επίδραση της επίπτωσης θα απορροφηθεί με την πάροδο του χρόνου από το δασικό οικοσύστημα και αφετέρου ο αριθμός των ανθρώπων (δεκτών) της επίπτωσης.

Τα κριτήρια αξιολόγησης της απορροφητικότητας που μελετήθηκαν και οι αντίστοιχοι συντελεστές βαρύτητας είναι:

1. Δασοκομικά κριτήρια. Συντελεστής βαρύτητας: 3.

- α) Είδος κάλυψης: Δάσος: 100%, Δασική έκταση: 25-50%, Γυμνό: 15%.
- β) Δασοπονικό είδος: Κωνοφόρα: 65%, Πλατύφυλλα: 75%, Μεικτά: 100%.
- γ) Διαχειριστική μορφή: Σπερμοφυής: 100%, Πρεμνοφυής 50%, Διφυής: 75-100%.
- δ) Ηλικία: Ομήλικο: 50%, Υποκηπευτό: 100%, Κηπευτό: 75%.
- ε) Ύψος δένδρων: Μεγάλο $>20m$: 100%, Μεσαίο 10-20m: 75%, Μικρό $<10m$: 25-50%.
- στ) Ποιότητα τόπου: Πρώτη-δεύτερη: 100%, Τρίτη-τέταρτη: 50%, Πέμπτη-έκτη: 25%.
- ζ) Παραγωγικότητα: Υψηλή $>3 m^3/έτος/ha$: 100%, Μέση 1-3 $m^3/έτος/ha$: 50%, Χαμηλή $<1 m^3/έτος/ha$: 25%.

2. Τοπογραφικά κριτήρια. Συντελεστής βαρύτητας: 2.

- α) Κλίση εδάφους: Μεγάλη $>50%$: 5-25%, Μεσαία 25-50%: 50%, Μικρή $<25%$: 100%.
- β) Έκθεση: Βόρεια: 70%, Ανατολική: 100%, Νότια 70%, Δυτική 100%.
- γ) Ανάγλυφο: Ήπιο: 100%, Ποικίλο: 50%, Πολυσχιδές: 15%.

3. Κοινωνικά κριτήρια (αριθμός δεκτών). Συντελεστής βαρύτητας: 1.

Εξαρτάται από τον αριθμό των ανθρώπων, που δέχονται την επίπτωση (δεκτών), καθώς και αν ο δασικός δρόμος βρίσκεται κοντά σε:

- α) Τουριστικό θέρετρο.
- β) Εθνικό δίκτυο.
- γ) Σιδηροδρομική γραμμή.
- δ) Αρχαιολογικό χώρο
- ε) Παρακείμενη μεγάλη πόλη.
- στ) Παρακείμενη κομόπολη ή χωριό.
- ζ) Ευρωπαϊκό μονοπάτι.
- η) Φυσική ή τεχνητή λίμνη ή ποταμό.

Η βαθμολόγηση των παραπάνω κριτηρίων εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων που δέχονται την επίπτωση και βαθμολογείται με 25%, όταν οι δέκτες είναι πολλοί, με 50% όταν είναι λίγοι και με 100% όταν δεν υπάρχουν.

Η τελική βαθμολόγηση της έντασης (E) για κάθε κριτήριο, δίνεται από το γινόμενο της τιμής του κάθε κριτηρίου επί τον συντελεστή βαρύτητας του (B_E) για να βρεθεί ο βαρυνκεντρικός μέσος όρος $\Sigma E = \Sigma(E \times B_E) / \Sigma B_E$. Παρομοίως η απορροφητικότητα (A) του δασικού οικοσυστήματος υπολογίζεται με το γινόμενο της τιμής του κάθε κριτηρίου με τον αντίστοιχο συντελεστή βαρύτητας του (B_A) και τελικά προκύπτει ο βαρυνκεντρικός μέσος όρος $\Sigma A = \Sigma(A \times B_A) / \Sigma B_A$.

Οι ποσότητες αυτές, δηλαδή τα αθροίσματα της έντασης των επιπτώσεων (ΣE) και της απορροφητικότητας (ΣA) αντίστοιχα, αποτελούν δείκτες που αφορούν το βαθμό συμβατότητας των έργων διάνοιξης με το φυσικό περιβάλλον, καθώς και απορροφητικότητας της έντασης από αυτό.

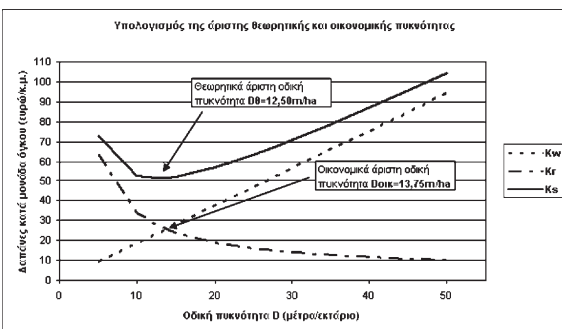
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Βαθμολόγηση των κριτηρίων της ανθρώπινης παρέμβασης (έντασης) στο φυσικό περιβάλλον:

1. Οδική πυκνότητα: Ο προσδιορισμός της υπάρχουσας οδικής πυκνότητας πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού AutoCAD Civil 3D 2009, (ορισμός τοπολογίας, μέτρηση μήκους

δρόμων, εμβαδομετρήσεις) από τον ψηφιοποιημένο χάρτη. Ο προσδιορισμός της θεωρητικά άριστης και της οικονομικά άριστης οδικής πυκνότητας έγινε με τη μέθοδο του τοκοχρεωλύσιου (Kroth 1973) (Σχήμα 2). Υπολογίστηκαν έτσι οι εξισώσεις που δίνουν τις καμπύλες των συνολικών εξόδων κατασκευής και συντήρησης (K_w), των συνολικών εξόδων μετατόπισης (K_r) και των συνολικών εξόδων κατασκευής, συντήρησης των δασικών δρόμων μαζί με τα έξοδα μετατόπισης της ξυλείας (K_s), σε συνάρτηση με την οδική πυκνότητα (D) (Πίνακας Ι). Η τιμή της θεωρητικά άριστης οδικής πυκνότητας είναι το σημείο όπου τα συνολικά έξοδα (K_s) ελαχιστοποιούνται, ενώ η τιμή της οικονομικά άριστης οδικής πυκνότητας είναι το σημείο τομής των συνολικών εξόδων κατασκευής και συντήρησης (K_w), με τα συνολικά έξοδα μετατόπισης (K_r), δηλαδή το σημείο όπου τα έξοδα κατασκευής και συντήρησης εξισώνονται με τα συνολικά έξοδα μετατόπισης. Οι τιμές που υπολογίστηκαν είναι: $D_{\text{υπ}}=28,31\text{m/ha}$ ($D_{\text{υπ}}$: Υπάρχουσα οδική πυκνότητα), $D_{\text{θυπ}}=36\text{m/ha}$ ($D_{\text{θυπ}}$: Θεωρητική υπάρχουσα οδική πυκνότητα), $D_{\text{θυπ}}=2500 \times 100 \times \sqrt{2} / \text{REm}_{00} \times E$, $\text{REm}_{00}=146,76\text{m}$ (REm_{00} : Μέση οριζόντια απόσταση μετατόπισης που έχει αναχθεί σε κλίση $\leq 25\%$) και $E=67,27\%$ το ποσοστό διάνοιξης), $D_{\text{θ}}=12,50\text{m/ha}$ ($D_{\text{θ}}$: Θεωρητικά άριστη οδική πυκνότητα), $D_{\text{οικ}}=13,75\text{m/ha}$ ($D_{\text{οικ}}$: Οικονομική άριστη οδική πυκνότητα).

Το ποσοστό της υπέρβασης της $D_{\text{υπ}}=28,31\text{m/ha}$ από την $D_{\text{οικ}}=13,75\text{m/ha}$ ανέρχεται σε $14,55\text{m/ha}$, επομένως αυτό αντιστοιχεί σε ποσοστό $51,43\%$ (επί της $D_{\text{υπ}}=28,31\text{m/ha}$), οπότε η τιμή του κριτηρίου είναι $100-51,43=48,57\%$.



Σχήμα 2. Υπολογισμός της θεωρητικής και οικονομικής άριστης οδικής πυκνότητας με την μέθοδο του Kroth.
Figure 2. Calculation of the optimum theoretical and economical road density by using the Kroth method.

2. Μέσο μετατόπισης: Στη περιοχή έρευνας σαν μέσο μετατόπισης χρησιμοποιούνται αποκλειστικά ελκυστήρες, συνεπώς η τιμή του κριτηρίου είναι 40% .

3. Το ποσοστό διάνοιξης (χωροκατανομή): Υπολογίστηκε δημιουργώντας στον ψηφιακό χάρτη ζώνη πλάτους διπλάσια από τη μέση οριζόντια απόσταση μετατόπισης ($S=2\text{REm}_{00}=2 \times 146,76=293,52\text{m}$) και σχεδιάστηκε και στις δυο πλευρές κάθε δασικού δρόμου εντός της περιοχής έρευνας. Το ποσοστό διάνοιξης υπολογίστηκε σε $67,27\%$, επομένως το ποσοστό μείωσης κάτω του 70% είναι $3,9\%$ και η τιμή του κριτηρίου είναι $96,1$.

4. Κατεύθυνση σύρσης: Η γωνία των γραμμών μετατόπισης (τρακτερόδρομοι) σε σχέση με το δασικό δρόμο είναι $>45^\circ$, αφού η γωνία των αποστάσεων μετατόπισης είναι $>45^\circ$, σε σχέση με τη θεωρητική απόσταση μετατόπισης (κάθετη μετατόπιση ως προς το δρόμο), επομένως η τιμή του κριτηρίου είναι 100% .

5. Κυκλοφοριακός φόρτος και τύπος οχημάτων.

α) Υπέρβαση κυκλοφοριακού φόρτου: Στη περιοχή έρευνας παρατηρείται όπως διαπιστώθηκε κατόπιν έρευνας, υπέρβαση του κυκλοφοριακού φόρτου (30 φορτηγά) σε σχέση με αυτό που δικαιολογείται από το λήμμα (26 φορτηγά), άρα το ποσοστό της υπέρβασης είναι $13,33\%$ και η τιμή του κριτηρίου είναι $86,66\%$.

β) Υπέρβαση λόγω υπερφόρτωσης: Παρατηρείται υπέρβαση εξαιτίας της υπερφόρτωσης των φορτηγών (μέσο φορτίο 35tn αντί 32tn), άρα το ποσοστό υπέρβασης είναι $8,57\%$ και η τιμή του κριτηρίου είναι $91,43\%$.

Βαθμολόγηση της ικανότητας απορρόφησης από το δασικό οικοσύστημα των επιπτώσεων της διάνοιξης:

1. Δασοοικονομικά κριτήρια.

α) Από τον ψηφιακό χάρτη χρήσεων γης προέκυψε ότι η περιοχή μελέτης καλύπτεται κατά $47,5\%$ από δάσος, $23,1\%$ από δασική έκταση και $29,3\%$ είναι γυμνή έκταση. Επομένως η απορροφητικότητα είναι $63,445\%$.

β) Αντίστοιχα προέκυψε ότι η συγκεκριμένη περιοχή καλύπτεται κατά $96,72\%$ από κωνοφόρα και $3,28\%$ από πλατύφυλλα, άρα το ποσοστό απορροφητικότητας ανέρχεται σε $65,33\%$.

γ) Η διαχειριστική μορφή της περιοχής είναι σπερμοφυής και η απορροφητικότητα ανέρχεται σε 100% .

Πίνακας Ι. Υπολογισμός της οικονομικά και θεωρητικά άριστης οδικής πυκνότητας σε συνάρτηση με τις δαπάνες κατασκευής, συντήρησης, μετατόπισης και τις συνολικές δαπάνες.

Table I. Calculation of the optimum theoretical and economical road density in relation to the construction, the maintenance, the skidding and the total costs.

Θεωρητικά ή οικονομικά άριστη οδική πυκνότητα	Οδική απόσταση	Προγραμματική μέση απόσταση μετατόπισης	Δαπάνες κατασκευής οδικού δικτύου (€/m ³)				Δαπάνες μετατόπισης του ξύλου (€/m ³)			Συνολικές δαπάνες	Ποσοστά %		Δεδομένα δασικών τιμημάτων 3, 4 δημοτικού δάσους Δ/Α Μετσόβου
			Εδαφική πρόσδεση	Κατασκευή δασικών δρόμων	Συντήρηση δασικών δρόμων	Συνολικές δαπάνες κατασκευής & συντήρησης	Σταθές (πάγες)	Μεταβλητές	Σύνολο		K _w	K _s	
D (m/ha)	S = 10000F/D (m)	REt = 5000F ² /D (m)	K _b = 0,06D	K _r = 1,59D	K _{su} = 0,23D	K _w = K _b + K _r + K _{su} = 1,88D	F _s	F _w = 293,6/D	K _r = F _s + E _w = 4,48 + 0,0162RE _t /D	D = 1,88D + 4,48 + 293,6/D	K _w	K _s	
1	2	3	4	5	6	7 = 4 + 5 + 6	8	9	10 = 8 + 9	11 = 7 + 10	12	13	14
5,00	4820,00	3624,64	0,30	7,95	1,15	9,40	4,48	58,72	63,20	72,60	12,95	87,05	Λήμμα H = 1,86 m ³ /ha
10,00	2410,00	1812,32	0,60	15,90	2,30	18,80	4,48	29,36	33,84	52,64	35,71	64,29	Άξια εδάφους B = 0,28 €/m ²
12,50	1928,00	1449,86	0,75	19,88	2,88	23,50	4,48	23,49	27,97	51,47	45,66	54,34	Ζώνη κατάλληλης δασικού δρόμου b = 12,73 m
13,75	1753,36	1318,53	0,82	21,85	3,16	25,84	4,48	21,36	25,84	51,68	50,00	50,00	Επιτόκιο p = 3%
15,00	1606,67	1208,21	0,90	23,85	3,45	28,20	4,48	19,57	24,05	52,25	53,97	46,03	Χρόνος απόρριψης n = 30
20,00	1205,00	906,16	1,20	31,80	4,60	37,60	4,48	14,68	19,16	56,76	66,24	33,76	Κόστος κατασκευής δασικών δρόμων A = 58,29 €/m
25,00	964,00	724,93	1,50	39,75	5,75	47,00	4,48	11,74	16,22	63,22	74,34	25,66	Κόστος συντήρησης δασικών δρόμων Su = 0,42 €/m
28,31	851,29	640,17	1,70	45,01	6,51	53,22	4,48	10,37	14,85	68,07	78,18	21,82	Σταθές κόστος μετατόπισης E _π = 4,48 €/m ³
30,00	803,33	604,11	1,80	47,70	6,90	56,40	4,48	9,79	14,27	70,67	79,81	20,19	Μεταβλητό κόστος μετατόπισης E _μ = 0,0162RE _t €/m ³
35,00	688,57	517,81	2,10	55,65	8,05	65,80	4,48	8,39	12,87	78,67	83,64	16,36	Συντελεστής εδάφους F = 2,41
40,00	602,50	453,08	2,40	63,60	9,20	75,20	4,48	7,34	11,82	87,02	86,42	13,58	Συντελεστής ελγμών W = 1,504
45,00	535,56	402,74	2,70	71,55	10,35	84,60	4,48	6,52	11,00	95,60	88,49	11,51	
50,00	482,00	362,46	3,00	79,50	11,50	94,00	4,48	5,87	10,35	104,35	90,08	9,92	

- δ) Το δάσος διαχειριστικά είναι υποκηπευτό, οπότε η απορροφητικότητα του είναι μέγιστη και ανέρχεται σε 100%.
- ε) Το μέσο ύψος των δένδρων ανέρχεται κατά 60% από 10-20m, 35% >20m και 5% <10m, οπότε η απορροφητικότητα βάσει αυτού του κριτηρίου είναι 82,5%.
- στ) Ποιότητα τόπου: I-II: 30,34%, III-IV: 61,89% και V-VI: 7,76%, επομένως η απορροφητικότητα είναι 63,225%.
- ζ) Η παραγωγικότητα του δάσους είναι 1,86 m³/έτος ανά ha, σύμφωνα με τη τελευταία διαχειριστική μελέτη. Άρα η απορροφητικότητα ανέρχεται σε 50%.

2. Τοπογραφικά κριτήρια. Για την εύρεση των τιμών απορροφητικότητας προέκυψαν με τη βοήθεια του λογισμικού AutoCAD Civil 3D 2009 χάρτες κλίσεων και εκθέσεων χρησιμοποιώντας τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους DTM της περιοχής.

- α) Στις κατηγορίες κλίσεων 0-25%, 25-50% και 50-100% αντιστοιχούν ποσοστά 18,8%, 56,9% και 24,3% αντίστοιχα. Επομένως η τιμή του κριτηρίου βρέθηκε 51,325%.
- β) Με παρόμοιο τρόπο για τις εκθέσεις βρέθηκε: Βόρεια 31,93%, Ανατολική 18,52%, Νότια 28,35%, Δυτική 21,20%, άρα η τιμή του κριτηρίου είναι 81,92%.
- γ) Το είδος το ανάγλυφου χαρακτηρίστηκε ως πολυσχιδές μετά από επιτόπιες παρατηρήσεις της περιοχής. Έτσι η τιμή της απορροφητικότητας είναι 15%.

3. Κοινωνικά κριτήρια.

- α) Η περιοχή αποτελεί τουριστικό θέρετρο αφού σε οδική απόσταση 23 km βρίσκεται η κωμόπολη του Μετσόβου, σε οδική απόσταση 17 km χιονοδρομικό κέντρο και σε οδική απόσταση 3 km η τεχνητή λίμνη των Πηγών του Αώου. Επομένως η απορροφητικότητα εκτιμήθηκε σε 30%.
- β) Στη περιοχή υπάρχει το επαρχιακό δίκτυο που συνδέει το Μέτσοβο με τα χωριά του Ανατολικού Ζαγορίου και διέρχονται από αυτό ελάχιστα οχήματα κατά τη διάρκεια μόνο των καλοκαιρινών μηνών. Η τιμή λοιπόν του κριτηρίου αυτού υπολογίστηκε σε 95%.
- γ) Σιδηροδρομική γραμμή που να διασχίζει τη περιοχή δεν υπάρχει, επομένως το κριτήριο δεν βαθμολογείται.
- δ) Αρχαιολογικός χώρος δεν υπάρχει στην περιοχή επομένως το κριτήριο δεν λαμβάνεται υπόψη.
- ε) Παρακαείμενη μεγάλη πόλη δεν υπάρχει. Δεν βαθμολογείται το κριτήριο.
- στ) Στη περιοχή μελέτης δεν υπάρχει κάποια κωμόπολη ή παρακαείμενο χωριό. Η τιμή αυτού του κριτηρίου υπολογίστηκε σε 90%.
- ζ) Ευρωπαϊκό μονοπάτι δεν υπάρχει στη περιοχή επομένως δεν βαθμολογείται το κριτήριο.
- η) Στη περιοχή υπάρχει η τεχνητή λίμνη των Πηγών του Αώου, και το ποτάμι του Αώου, έτσι η απορροφητικότητα σε αυτή τη περίπτωση υπολογίστηκε σε 30%.

Πίνακας II. Κριτήρια έντασης.

Table II. Criteria of intensity.

ΕΝΤΑΣΗ				
a/a	Κριτήριο	Βαθμός	Βαρύτητα	Σύνολο
1	Οδική πυκνότητα	48,57	3	145,71
2	Μέσο μετατόπισης ξύλου	40,00	2	80,00
3	Ποσοστό διάνοιξης	96,10	3	288,30
4	Κατεύθυνση σύρσης	100,00	1	100,00
5	Κυκλοφοριακός φόρτος και τύπος οχημάτων			
5.1	Ποσοστό υπέρβαση κυκλοφοριακού φόρτου	86,66	2	173,32
5.2	Ποσοστό υπέρβασης λόγω υπερφόρτωσης	91,43	2	182,86
	ΣΥΝΟΛΟ		13	970,19
	Μέση τιμή $\Sigma E = \Sigma (E \cdot B_E) / \Sigma B_E$			970,19/13 = 74,63%

Πίνακας III. Κριτήρια απορροφητικότητας.

Table III. Criteria of absorption.

ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ				
α/α	Κριτήριο	Βαθμός	Βαρύτητα	Σύνολο
1	Δασοπονικά κριτήρια			
α	Είδος κάλυψης	63,445	3	190,335
β	Δασοπονικό είδος	65,330	3	195,990
γ	Διαχειριστική μορφή	100,000	3	300,000
δ	Ηλικία	100,000	3	300,000
ε	Ύψος δένδρων	82,500	3	247,500
στ	Ποιότητα τύπου	63,225	3	189,675
ζ	Παραγωγικότητα	50,000	3	150,000
2	Τοπογραφικά κριτήρια			0,000
α	Κλίση εδάφους	51,325	2	102,650
β	Έκθεση	81,920	2	163,840
γ	Ανάγλυφο	15,000	2	30,000
3	Κοινωνικά κριτήρια			0,000
α	Τουριστικό θέρετρο	30,000	1	30,000
β	Εθνικό οδικό δίκτυο	95,000	1	95,000
γ	Σιδηροδρομικό δίκτυο	-	-	-
δ	Αρχαιολογικός χώρος	-	-	-
ε	Παρακείμενη μεγάλη πόλη	-	-	-
στ	Παρακείμενο χωριό	90,000	1	90,000
ζ	Ευρωπαϊκό μονοπάτι	-	-	-
η	Λίμνη ή Ποταμός	30,000	1	30,000
	ΣΥΝΟΛΟ		31,000	2114,990
	Μέση τιμή $\Sigma A = \Sigma(A \cdot B_A) / \Sigma B_A$			2114,990/31 = 68,23%

Στους πίνακες II και III δίνονται συνοπτικά τα ποσοστά των κριτηρίων έντασης και απορροφητικότητας καθώς και οι αντίστοιχες τιμές ΣΕ και ΣΑ:

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με την οικονομικοτεχνική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του τοκοχρεωλύσιου για το δασικό οδικό δίκτυο της περιοχής έρευνας, η υπάρχουσα οδική πυκνότητα ($D_{\text{υπ}}=28,31\text{m/ha}$) είναι μεγαλύτερη τόσο από την οικονομικά άριστη οδική πυκνότητα ($D_{\text{οικ}}=13,75\text{m/ha}$), όσο και από τη θεωρητική άριστη οδική πυκνότητα ($D_{\text{θ}}=12,50\text{m/ha}$). Αυτό συμβαίνει γιατί κατά τον υπολογισμό της θεωρητικής και οικονομικής άριστης οδικής πυκνότητας χρησιμοποιούνται τύποι, οι οποίοι εκφράζουν ένα ιδανικό δίκτυο δασικών δρόμων, στο οποίο οι δρόμοι είναι παράλληλοι μεταξύ τους. Αυτό όμως δεν συμβαίνει στα δασικά τμήματα 3 και 4. Ακόμη το παραπάνω γεγονός οφείλεται στη μεγάλη άνοδο των δαπανών κατασκευής (K_R) και συντήρησης (K_{SU}) των δασικών δρόμων που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα, χωρίς να υπάρχει ανάλογη αύξηση στις δαπάνες μετατόπισης (K_T).

Μειονέκτημα στον υπολογισμό με τη μέθοδο του τοκοχρεωλύσιου της οικονομικής ($D_{\text{οικ}}$) και της θεωρητικής άριστης οδικής πυκνότητας ($D_{\text{θ}}$) είναι ότι δεν μπορούν να αποτιμηθούν σε χρηματικές μονάδες οι θετικές επιδράσεις των έργων διάνοιξης (π.χ. η προστασία από πυρκαγιές, η ανάπτυξη τοπικής και εθνικής οικονομίας, η δυνατότητα ανάπτυξης της αναψυχής, η προσέγγιση γεωργικών εκτάσεων, η μεταφορά γεωργικών προϊόντων, η τροφοδότηση της αγοράς με ξύλο, η βελτίωση της συγκοινωνίας, η βελτίωση της αγοράς εργασίας κ.ά., η διαχείριση υδάτινων πόρων, η συμβολή στην άμυνα της χώρας, η συμβολή στη λιβαδοποιία κ.ά.) στη δασική εκμετάλλευση. Ωστόσο οι επιδράσεις αυτές καθορίζουν το μέγεθος της προσφοράς της διάνοιξης στην εκμετάλλευση και την προστασία των δασών και δεν συμβάλλουν όμως στον υπολογισμό της ($D_{\text{οικ}}$) και ($D_{\text{θ}}$). Αντιθέτως λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό της ($D_{\text{οικ}}$) και ($D_{\text{θ}}$) το κόστος κατασκευής και συντήρησης των δασικών δρόμων, το κόστος μετατόπισης του ξύλου και η απώλεια της εδαφικής προσόδου.

Η μέση τιμή της θετικής έντασης της επίδρασης που προέκυψε στη περιοχή έρευνας ($\Sigma\text{E}=74,63\%$), δείχνει ότι τα υπάρχοντα έργα διάνοιξης κατα-

σκευάστηκαν με φιλικό (συμβατό) τρόπο με το φυσικό περιβάλλον. Από τη μέση τιμή της απορροφητικότητας, που υπολογίστηκε ($\Sigma\text{A}=68,23\%$), επιβεβαιώνεται ότι το συγκεκριμένο δασικό οικοσύστημα έχει απορροφήσει σε ικανοποιητικό βαθμό τις αρνητικές επιπτώσεις που προήλθαν από τα έργα διάνοιξης στη περιοχή.

Τα παραπάνω συμπεράσματα στηρίζονται σε μετρήσιμα μεγέθη, που αποτελούν δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων των έργων διάνοιξης στο φυσικό περιβάλλον. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής κρίνεται αξιόπιστη όχι μόνο στην αξιολόγηση των υφιστάμενων έργων αλλά και πριν τη κατασκευή νέων, προκειμένου να εξεταστεί η επίδρασή τους στο περιβάλλον και να βρεθεί η καλύτερη λύση.

Με τη καινούργια μέθοδο ελέγχου της συμβατότητας των έργων διάνοιξης με το φυσικό περιβάλλον με μετρήσιμα και αντικειμενικά μεγέθη πραγματοποιείται συστηματικότερος, ουσιαστικότερος, αντικειμενικότερος και πιο ολοκληρωμένος έλεγχος των επιπτώσεων που προκαλούνται από τα έργα διάνοιξης στο φυσικό περιβάλλον, από ότι με τη μέθοδο των υποκειμενικών απαντήσεων του πίνακα του ερωτηματολογίου των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων που ισχύει σήμερα.

Η συγκεκριμένη μέθοδος ελέγχου των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μπορεί να εφαρμοστεί κατά το σχεδιασμό ενός μεμονωμένου, αλλά και πολλών αναπτυξιακών έργων, στις ευαίσθητες ορεινές περιοχές, με απώτερο σκοπό να μειωθούν στο ελάχιστο δυνατό οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να ενσωματώνονται στο κόστος κάθε έργου. Η μέθοδος μπορεί επίσης να εφαρμοστεί με οικονομικό τρόπο πριν την κατασκευή των έργων με προσομοίωση στην οθόνη του υπολογιστή. Σε αυτό συμβάλλει η ανάπτυξη της τεχνολογίας των Η/Υ και των λογισμικών GIS.

Με την υιοθέτηση της μεθόδου ελέγχου της συμβατότητας της οδικής διάνοιξης με το φυσικό περιβάλλον:

α) Βελτιώνονται οι διαδικασίες των Μ.Π.Ε. με απώτερο σκοπό να πραγματοποιηθεί συστηματικότερη ανάπτυξη των χαρακτηριστικών των φυσικών μεταβλητών των ορεινών περιοχών, που θα μας οδηγήσει σε μέτρα και προϋποθέσεις, οι οποίες θα πρέπει προληπτικά να λαμβάνονται στις μελέτες και στα προγράμματα ανάδειξης των ορεινών περιοχών.

β) Δίνεται η δυνατότητα να πραγματοποιηθεί για πρώτη φορά η σύνταξη προδιαγραφών (κριτη-

ρίων) αξιολόγησης των έργων διάνοιξης, των μηχανισμών υλοποίησης της μελέτης και του ελέγχου αυτών, με σκοπό την φιλική στο περιβάλλον διάνοιξη του δάσους.

γ) Ακόμη γίνεται εφικτή η σύνδεση του χωροταξικού σχεδιασμού με τον σχεδιασμό διατήρησης και προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος, στα πλαίσια της ξεχωριστής αναπτυξιακής φυσιογνωμίας της κάθε περιοχής. (Καθορισμός των γενικών αρχών χωροταξικού σχεδιασμού ορεινών περιοχών).

Η εφαρμογή ενός μοντέλου ολοκληρωμένης ανάπτυξης της περιοχής πρέπει να βασίζεται στη λογική της βιώσιμης ανάπτυξης, η οποία θα στηρίζεται στη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος, στην ενεργοποίηση του ανθρώπινου και κοινωνικού δυναμικού, στην αξιοποίηση των ιδιαίτερων κοινωνικών, πολιτισμικών και οικονομικών χαρακτηριστικών που διαθέτει ο δήμος Μετσόβου. Ωστόσο όμως η παραπάνω ανάπτυξη πρέπει να επιτευχθεί με σεβασμό και προστασία της φύσης και του τοπίου.

Στα πλαίσια λοιπόν της ολοκληρωμένης βιώσιμης ανάπτυξης των ορεινών περιοχών γενικότερα, με την ταυτόχρονη εκμετάλλευση και προστασία του φυσικού τους περιβάλλοντος προτείνεται:

1. Η ανάγκη της προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος πρέπει να αρχίζει με βάση τις θεσμοθετημένες βασικές αρχές της Δασοπονίας (αειφορική διαχείριση των δασών) και της προστασίας της φύσης από τη φάση του σχεδιασμού της οδικής διάνοιξης (οδικού δικτύου) και να συνεχίζεται κατά τη προμελέτη, μελέτη, χάραξη και κατασκευή των δασικών δρόμων.

2. Η σύγχρονη τεχνολογία των λογισμικών ΓΣΠ (GIS) και των ΨΜΕ (DTM) βοηθά να πραγματοποιηθεί η διάγνωση του προβλήματος πριν την κατασκευή και να βρεθεί η άριστη λύση κατά το σχεδιασμό, τη χάραξη και την κατασκευή, μεταξύ πολλών εναλλακτικών λύσεων.

3. Τα κριτήρια και η διαδικασία ελέγχου που περιγράφηκαν στα πλαίσια της εργασίας αυτής μπορούν να αποτελέσουν έναν χρήσιμο οδηγό για τη δασική πράξη, αφού λαμβάνουν υπόψη τους, τις συνολικές επιδράσεις των έργων διάνοιξης στο φυσικό περιβάλλον, ώστε η διάνοιξη των δασών να διεξάγεται με τρόπο φιλικό (συμβατό) προς το περιβάλλον.

4. Το περιβαλλοντικό κόστος που θα προκύψει πρέπει να ενσωματώνεται στο συνολικό κόστος του έργου, που τελικά όμως θα απορροβηθεί από την αει-

φόρο ανάπτυξη της δασοπονίας, την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και την εξυπηρέτηση της κοινωνίας γενικότερα.

5. Η σύνταξη νέων, σύγχρονων τεχνικών προδιαγραφών από το ΥΠΕΧΩΔΕ, το Υπουργείο Γεωργίας και τη Γενική Διεύθυνση Δασών για τη σύνταξη Μ.Π.Ε., που να αφορούν την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, σε όλες τις φάσεις κατασκευής (σχεδιασμός, προμελέτη, μελέτη, χάραξη και κατασκευή) των δασικών δρόμων, σύμφωνα με όσα δίνονται αναλυτικά στα αποτελέσματα.

6. Η ανταπόκριση της διάνοιξη των δασών στις απαιτήσεις της Δασοπονίας πολλαπλών σκοπών και η κάλυψη των ανάγκες που δημιουργούνται από τις σύγχρονες απαιτήσεις των πολιτών, πρέπει να πραγματοποιείται με φιλικό τρόπο προς το φυσικό περιβάλλον. Για το σκοπό αυτό πριν γίνει μία οποιαδήποτε επέμβαση στο περιβάλλον θα πρέπει να γίνει πρώτα ο γενικός και ολοκληρωμένος σχεδιασμός της διάνοιξης, λαμβάνοντας υπόψη τα κριτήρια που προαναφέρθηκαν και μετά να ακολουθήσει η χάραξη και η κατασκευή του δικτύου δασικών δρόμων.

7. Το αποτέλεσμα του συνδυασμού των κριτηρίων έντασης της επίπτωσης και των κριτηρίων απορροφητικότητας της επίπτωσης, μας καταδεικνύουν τον συντελεστή συμβατότητας του δασικού οδικού δικτύου, ο οποίος εκφράζει τελικά τη συμβατότητα του με το δασικό οικοσύστημα.

8. Η χρήση μιας τέτοιας ρεαλιστικής και αντικειμενικής μεθόδου στη μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων συμπεριλαμβανομένη στο γενικότερο τεχνικοοικονομικό σχεδιασμό είναι πολύ σημαντική για τα οικολογικά ευαίσθητα μεσογειακά δασικά οικοσυστήματα.

Με την εφαρμογή των παραπάνω προτάσεων και μέσα στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης των ορεινών περιοχών επιτυγχάνονται οι στρατηγικές κατευθύνσεις της χωρικής ανάπτυξης οι οποίες στοχεύουν: α) στην ολοκληρωμένη ανάπτυξη των ορεινών περιοχών, β) στην προσαρμογή της οικονομίας τους στις κοινοτικές και διεθνείς εξελίξεις, γ) στην αύξηση της ελκυστικότητας των ορεινών περιοχών, δ) στη διασφάλιση των όρων για υπέρβαση της απομόνωσης των ορεινών όγκων, ε) στη διαφύλαξη του φυσικού τοπίου, περιβάλλοντος και πολιτιστικών πόρων και στ) στην αξιοποίηση-δραστηριοποίηση των υφιστάμενων φορέων προστασίας και ανάπτυξης νέων φορέων διαχείρισης.

Environmental Impact Assessment's evaluation to the natural environment by the opening-up of the mountainous forest areas

Stergios Th. Tampekis¹, Evangelos A. Karagiannis², Vasileios I. Giannoulas²

ABSTRACT

In this study is applied a new frame for the examination of the Environmental Impact Assessments that the opening-up forest works cause under the prism of the compatibility with the natural environment. The estimation of the Environmental Impact Assessments is hard to be valued with the classical opening-up methods which are mainly based on financial criteria of the familiar methods, such as cost-benefit analysis and other analytical methods. Therefore, is suggested and developed a new method for the examination of the Environmental Impact Assessments which includes countable, with natural units, technical, financial, environmental- ecological and social criteria.

This new method of estimating the compatibility of the opening-up forest works with the natural environment is mainly based on the use of countable criteria for the intensity of human impact to the forest ecosystem and the forest ecosystem absorption of the opening-up forest works.

In the frame of this new method of estimating the Environmental Impact Assessments with countable criteria is applied the estimation of the compatibility of the opening-up forest works (forest roads) to the natural environment of the mountainous forest areas of the Municipality of Metsovo. It is also valued the contribution of the opening-up works and this new method of estimating the compatibility that correspond to the sustainable development of the study area. Therefore the intensity of the consequences that the opening-up forest works (forest roads) have caused to the natural environment of the area and at the same time the ability of the absorption by the forest ecosystem are studied.

Keywords: Forest opening-up, Environment Impact Assessment, compatibility, intensity, absorption, G.I.S.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γ.Γ.Δ.Ε., (2006). Αναλυτικές Τιμές Έργων Οδοποιίας (Α.Τ.Ε.Ο), 2ου Τριμήνου 2006, ΥΠΕΧΩ-ΔΕ, Αθήνα.
- Γιαννούλας, Β., (2001). Διάνοξη δάσους με σύγχρονα μέσα-Τεχνοοικονομικές, περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη. Σελ. 268.
- Γιαννούλας, Β., Δρόσος, Β., Καραγιάννης Κ., Καραγιάννης, Ε., Δούκας, Κ., (2002). Μέτρηση απορροφητικότητας του οικοσυστήματος στο δασικό δρόμο. 10^ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο, Δασολογικής Εταιρείας στην Τρίπολη, Πρακτικά σελ. 525-530, Θεσσαλονίκη.
- Γιαννούλας, Β, Δρόσος, Β, (2005). Η Επίδραση της αναβάθμισης από Γ' σε Β' κατηγορία δασόδρομου στο φυσικό περιβάλλον. Πρακτικά 12ου Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου, της Δασολογικής Εταιρείας σελ.: 399-407, Δράμα.
- Δούκας, Κ., (2004). Δασικές Κατασκευές και Φυσικό Περιβάλλον. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη. σελ. 406.
- Becker, G., (1995). Walderschliessung auf dem Prüfstand. AFZ 1995, Vol. 9: 482-483. BLV Verlagsgesellschaft mbH München.
- Börger, R., Heider, O., Kohler, V., Steinlin, H., (1987). Leitfaden zur Beurteilung von Strassenbauvorhaben unter Gesichtspunkten des Natur und Landschaftsschutzes. Schriftenreihe des Instituts für Landpflege, Albert Ludwig Universität Freiburg, Heft 10.
- Buwal, Hg., (1990). Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) bei Meliorationen. Wegleitung und Empfehlungen. Mitteilungen zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP), Nr. 3. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern. p.p. 26.
- Doukas, K., (1994). Umweltschutz und Erschlies-

¹ PhD Forester-Environmentalist

² School of Forestry and Natural Environment, Faculty of Mechanical Sciences and Topography

- sungsmodelle. Tagungsbericht über das 28. Internationale Symposium in Langnau I.E. Schweiz, S.106-117
- Doukas, K., (1995). Die Verwendung moderner Informationstechnologie bei der Planung von Walderschliessung und Holzbringung in Griechenland. AFZ. 12: 664-667.
- Doukas, K., Akca A., (1998). Umweltverträglichkeitsprüfung bei der Waderschliessung in Griechenland. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung. V. 170 (3) S. 47-53. Jahrgang 1998, Heft 3 März, J.D.Sauerlaenders Verlag, Frankfurt am Main.
- Eskioglu, P., (2002). Environment-friendly forest road construction. 6th Iwt. Conference on Protection and Restoration of the Environment, Skia-thos, July 1-5 2002.
- Giannoulas, V., Doukas, V., Drosos, V., Soutsas, V., (2001). "The Environment Impact Assessment (E.I.A.) by the forest opening up in the forest complex of Down Olympus". Third Balkan Scientific Conference: "Study, Conservation and Utilization of Forest Resources", Bulgarian Academy of Sciences and the Forest Research Institute, 2-6 October 2001. Proceedings, ISBN: 954-90896-5-7. Volume I: 58-66. Sofia, Bulgaria.
- Heinimann, H., (1994). Umweltverträglichkeit forstlicher Erschließungen - Konzept für die Abwicklung, die Analyse und die Bewertung. S. Z. F., 145, S.139-157.
- Καραγιάννης, Ε., Κιαπίδου, Ε., (2001). Συνθήκες μακρομεταφοράς του ξύλου. Η περίπτωση των δασών του Νομού Δράμας. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, Σειρά II, Τόμος 13, τεύχος 3, σελ. 29-44, Θεσσαλονίκη.
- Καραγιάννης, Ε., (2007). Διάνοξη δάσους και μεταφορά ξύλου. Πανεπιστημιακές παραδόσεις. Εκδόσεις Υπηρεσία Δημοσιεύσεων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ. 187.
- Karagiannis, C., Giannoulas, V., Drosos, V., Doukas, K., 2001. "Environment Impact Assessment (E.I.A.) for the comparison of forest road alternative solutions". International Conference, "FOREST RESEARCH: a challenge for an integrated European approach", National Agricultural Research Foundation Proceedings, Volume II: 829-834, Thessaloniki.
- Kroth, W., (1973). Entscheidungsgrundlagen bei Walderchliessungsinvestitionen. Fw. Cbl. Jg. 87, H. 4: 237-248.
- Leibundgut, (1961). Walderschliessung als Voraussetzung für den Waldbau. S.Z.F., 112(3), S. 187-196, Zürich.
- Mader, H-J., (1990). Ökologische Aspekte des Waldwegebaues. AFZ. 46/47: 1184-1187.
- Sedlak, O., (1993). Walderschliessung und Naturschutz. Allgemeine Forstzeitung, Wien, 1993, 7(2): 8-11.
- Trzesniowski, A., (1993). Wozu Walderschließung in Österreich? Österreichische Forstzeitung. 104, 7: 5-7.
- United Nations, Economic Commission for Europe, SAEP., (1988). Report of the meeting of Experts on Environmental Impact Assessment. Geneva 29.1.1998. pp. 1-6.
- Zundel, R., (1990). Rechtliche Aspekte des Waldwegebaues. AFZ, 46-47. BLV Verlagsgesellschaft mbH München.

Φυτοκοινωνιολογικές μονάδες των δασών *Castanea sativa* και *Tilia tomentosa* στο ελληνικό τμήμα του όρους Μπέλες και στην οροσειρά των Κρουσίων.

Φωτιάδης Γεώργιος¹ και Αθανασιάδης Νικόλαος†

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η *Tilia tomentosa* και η *Castanea sativa*, είναι είδη τα οποία συνήθως εμφανίζονται σε μεικτές συστάδες φυλλοβόλων ειδών στη λοφώδη ημιορεινή περιοχή, κυρίως στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα, όπου και σχηματίζουν τον αυξητικό χώρο του Tilio-Castanetum. Στα όρη Μπέλες και Κρούσια τα δάση που σχηματίζουν είναι σχεδόν αμιγή, με μικρή παρουσία άλλων φυλλοβόλων ειδών. Η παρούσα έρευνα αφορά τις φυτοκοινωνιολογικές μονάδες των δασών που κυριαρχούνται από τα είδη *Tilia tomentosa* και *Castanea sativa*. Τα δάση μελετήθηκαν φυτοκοινωνιολογικά με τη μέθοδο του Braun-Blanquet με τη διενέργεια 29 φυτοληπιών και διακρίθηκαν δυο μονάδες βλάστησης: η *Castanea sativa-Silene compacta*-κοινότητα και η *Tilia tomentosa-Acer hyrcanum*-κοινότητα.

Λέξεις κλειδιά: Κεντρική Μακεδονία, βλάστηση, Quercion confertae, Tilio-Acerion

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η *Tilia tomentosa* και η *Castanea sativa*, είναι είδη τα οποία συνήθως εμφανίζονται σε μεικτές συστάδες φυλλοβόλων ειδών στη λοφώδη και ημιορεινή περιοχή και ο Ντάφης (1966) στη βορειοανατολική Χαλκιδική, οι Zoller et al. (1977) στο Άγιο Όρος και τη Δράμα, ο Raus (1980) στην ανατολική Θεσσαλία, ο Bergmeier (1990) στον Κάτω Όλυμπο κ.ά. έχουν διακρίνει μεικτές συστάδες με τα είδη *Castanea sativa*, *Tilia tomentosa* και *T. platyphyllos*.

Σύμφωνα με τους Athanasiadis (1975) και Bottema (1979), η *Castanea sativa* πιθανότατα εισήχθη στην Ελλάδα περίπου πριν από 3200 χρόνια και η εξάπλωσή της ευνοήθηκε από τον άνθρωπο για τους καρπούς και το ξύλο της. Σήμερα, το είδος σχηματίζει δάση στην Ελλάδα (π.χ. Χορτιάτης, Κάτω Όλυμπος, Πάικο, Ανατολική Θεσσαλία, Πελοπόννησος, Κρήτη κ.ά.), συνήθως γύρω από οικισμούς, σε ήπιες κλίσεις (όπου είναι εύκολη η εκμετάλλευση της καστανιάς) και πάντα σε εδάφη με όξινη αντίδραση (Raus 1980, Καραγιαννακίδου-Ιατροπούλου 1983, Bergmeier 1990, Κοράκης 2003, Konstantinidis et al. 2008, Bergmeier και Dimopoulos 2008 κ.ά.).

Η *Tilia tomentosa*, όπως αναφέρεται στον Τεχνικό Οδηγό Χαρτογράφησης για το δίκτυο Natura 2000

(Ντάφης κ.ά. 2001), δημιουργεί αμιγή ή μεικτά δάση με *Acer platanoides*, *A. pseudoplatanus* κ.ά., σε έντονες κλίσεις και σε σάρες. Τέτοια δάση περιγράφονται από τον Bergmeier (1990) και τους Reif και Löblich-Ille (1999) στον Κάτω Όλυμπο και στα Πιέρια αντίστοιχα.

Στην Ελλάδα η γνώση των φυτοκοινωνιολογικών μονάδων βλάστησης, που κυριαρχούν τα είδη *Tilia tomentosa* και *Castanea sativa*, είναι περιορισμένη και τα πρωτογενή δεδομένα που υπάρχουν είναι λίγα ώστε να γίνει ολοκληρωμένη συστηματική συνταξινόμηση τους (Bergmeier και Dimopoulos 2008). Τα όρη Μπέλες και Κρούσια κυριαρχούνται από δάση και θαμνώνες φυλλοβόλων δασών και μέρος αυτών κυριαρχείται από τα είδη *Castanea sativa* και *Tilia tomentosa*. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διάκριση των φυτοκοινωνιολογικών μονάδων βλάστησης των δασών που κυριαρχούνται από αυτά τα είδη στο ελληνικό τμήμα του όρους Μπέλες και της οροσειράς των Κρουσίων.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

2.1. Περιοχή έρευνας

Το ελληνικό τμήμα του όρους Μπέλες (2031 μ.) και η οροσειρά των Κρουσίων (1179 μ.) βρίσκονται στην κεντρική βόρεια Ελλάδα, το πρώτο νοτιοανατολικά του τριεθνούς των συνόρων Ελλάδας,

¹ Εργαστήριο Δασικής Βοτανικής – Γεωβοτανικής, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 541 24, Θεσσαλονίκη

Βουλγαρίας και Π.Γ.Δ.Μ., ενώ το δεύτερο ελαφρά εσωτερικότερα καταλαμβάνοντας το βορειοδυτικό τμήμα του νομού Σερρών και το βορειοανατολικό τμήμα του νομού Κιλκίς (Χάρτης 1).

Στοιχεία για το κλίμα των περιοχών παρέχονται από τους μετεωρολογικούς σταθμούς: Μεταξοχωρίου, Άνω Θεοδωρακίου, Μελανθίου, Λαχανά, Μουριών, Άνω Πορροίων, Κάτω Πορροίων, Αγκιστρού, Λιθότοπου και Σερρών. Από την επεξεργασία των στοιχείων των μετεωρολογικών σταθμών (Φωτιάδης 2004), οι περιοχές των σταθμών του Μεταξοχωρίου, Άνω Θεοδωρακίου, Μελανθίου και Σερρών ανήκουν στον "Cfa" κλιματικό τύπο κατά Köppen, δηλαδή σε κλίμα υγρό, που χαρακτηρίζεται από μεγάλης διάρκειας και πολύ θερμό καλοκαίρι, με ήπιους χειμώνες και πολύ υγρές όλες τις εποχές του έτους. Η περιοχή του σταθμού Λαχανά κατατάσσεται στον κλιματικό τύπο "Csa" κατά Köppen, δηλαδή σε χερσαίο μεσογειακό κλίμα, που χαρακτηρίζεται από πολύ θερμά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες (Φλόκας 1992). Βιοκλιματικά, οι ορεινοί όγκοι του Μπέλες και των Κρουσίων ανήκουν στον ύψυγο βιοκλιματικό όροφο, με χειμώνες ψυχρούς έως πολύ ψυχρούς. Στα μεγαλύτερα υψόμετρα, για τα οποία δεν υπάρχουν μετεωρολογικά στοιχεία, προφανώς οι χειμώνες είναι δριμύς. Το βιοκλίμα του ορεινού όγκου του Μπέλες και των Κρουσίων έχει υπομεσογειακό χαρακτήρα, με βιολογικά ξηρές ημέρες 0-40, ενώ οι χαμηλές λοφώδεις περιοχές τους έχουν βιοκλίμα με χαρακτήρα ασθενή μέσο - μεσογειακό (βιολογικά ξηρές ημέρες 40-75) (Μαυρομμάτης 1980).

Από γεωλογική άποψη το όρος Μπέλες και η οροσειρά των Κρουσίων ανήκουν στο σύνολό τους στη Σερβομακεδονική μάζα και ειδικότερα στη σειρά του Βερτίσκου (Μουντράκης 1985). Από πετρογραφική άποψη κυριαρχούν τα μεταμορφωμένα πετρώματα (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι με ενσπρώσεις μαρμάρων καθώς και, σε μικρότερη έκταση, αμφιβολίτες). Εκτός από μεταμορφωμένα πετρώματα εμφανίζονται σε μικρή έκταση όξινα πυριγενή πετρώματα (γρανίτες, γρανοδιορίτες και μονζονίτες) καθώς και μετατεκτονικά και βραδυτεκτονικά ιζητάματα του Πλειστόκαινου (λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις: άργιλοι, πηλοί, άμμοι, κροκαλοπαγή, κοκκινοχώματα κ.λ.π.). Επίσης, παρεμβάλλονται σεραπεντίνες με τεκτονικές επαφές μέσα σε άλλα πετρώματα (Κασώλη-Φουρναράκη 1981).

Η βλάστηση στις περιοχές έρευνας και κυρίως αυτή των χαμηλότερων υψομέτρων, είναι επηρεασμένη από την ανθρώπινη δραστηριότητα και κυ-

ριαρχείται από δρυοδάση, δάση οξιάς, θαμνώνες με *Quercus coccifera* και *Paliurus spina-christi*, ενώ εμφανίζονται κηλίδες με κυριαρχία από *Platanus orientalis*, *Tilia tomentosa*, *Castanea sativa* κ.ά. είδη.

2.2. Μέθοδος έρευνας

Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής του Φωτιάδη (2004). Για την έρευνα των συνθηκών βλάστησης και τη διάκριση των φυτοκοινωνικών μονάδων έγιναν 29 φυτοληψίες σε ισάριθμες δειγματοληπτικές επιφάνειες, κατά τους μήνες Μάιο, Ιούνιο και Ιούλιο των ετών 1999, 2000, 2001 και 2003. Οι φυτοληψίες έγιναν σύμφωνα με τη μέθοδο του Braun-Blanquet (1964), σε επιφάνειες περίπου 200-300 τ.μ.

Η θέση των δειγματοληπτικών επιφανειών σημειώθηκε σε χάρτη, μετά από ορισμό των συντεταγμένων με το G.P.S. (Global Positional System, Χάρτης 1). Για κάθε φυτοληψία καταγράφηκαν σε ειδικό έντυπο τα παρακάτω στοιχεία: αριθμός φυτοληψίας, ημερομηνία, θέση και μέγεθος δειγματοληπτικής επιφάνειας, υπερθαλάσσιο ύψος, έκθεση, κλίση, πέτρωμα και βαθμός κάλυψης για τον όροφο των θάμνων. Η καταγραφή των φυτικών ειδών έγινε κατά όροφο (Δ: όροφος δένδρων, Θ: όροφος θάμνων, Π: όροφος ποωδών). Για κάθε φυτικό είδος εκτιμήθηκε η πληθοκάλυψη σύμφωνα με την επτάβαθμια κλίμακα του Braun-Blanquet (1964).

Οι εργασίες για την ξήρανση των φυτικών δειγμάτων και ο προσδιορισμός τους έγιναν στο εργαστήριο Δαισικής Βοτανικής-Γεωβοτανικής. Για τον προσδιορισμό και την ονοματολογία των φυτικών taxa χρησιμοποιήθηκε κυρίως η Flora Hellenica, vol. 1,2 (Strid και Tan 1997, 2000) το Med - checklist, vol. I, III, IV (Greuter et al. 1984-1989), η Mountain Flora of Greece vol. I, II (Strid 1986, Strid και Tan 1991), η Flora Europaea (Tutin et al. 1968-1980, 1993), και άλλα βοηθητικά συγγράμματα.

Τα στοιχεία, που συλλέχθηκαν, εισήχθησαν στο λογισμικό Sort 3.9 (Ackermann και Durka 1997) όπου έγινε η επεξεργασία τους. Η διάκριση των μονάδων έγινε σύμφωνα με τη χλωριστικοστατιστική μέθοδο της σχολής Zürich-Montpellier (manual table method), όπως αυτή περιγράφεται από τους Braun-Blanquet (1964) και Αθανασιάδη (1986).

Για τη διάκριση των χαρακτηριστικών και διαγνωστικών ειδών των συνταξινομικών μονάδων, χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τα συγγράμματα ή οι ερευνητικές εργασίες των Raus (1980), Bergmeier (1990), Mucina (1997) κ.ά.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στα όρη Μπέλες και Κρούσια τα είδη *Tilia tomentosa* και *Castanea sativa* σχηματίζουν δάση στην ημιορεινή και λοφώδη ζώνη. Όμως, όπως φαίνεται και στο φυτοκοινωνιολογικό πίνακα, σε καμιά φυτοληψία που πραγματοποιήθηκε δεν εμφανίζονται και τα δυο είδη μαζί (Πίνακας 1). Οι μονάδες που διακρίθηκαν είναι η *Castanea sativa-Silene compacta*-κοινότητα και η *Tilia tomentosa-Acer hyrcanum*-κοινότητα.

3.1. *Castanea sativa-Silene compacta*-κοινότητα

Η εξάπλωση της *Castanea sativa* μόνο στο όρος Μπέλες και γύρω από παλαιούς οικισμούς (Παλαιά Καστανούσα και παλαιά Αγία Παρασκευή) οφείλεται κυρίως στο ότι παλαιότερα καλλιεργήθηκε, για τους καρπούς και για το ξύλο της. Η συλλογή καρπών συνεχίζεται στην παλαιά Καστανούσα, ενώ η ξύλευση σε μερικές περιοχές κοντά στα σύνορα με τη Βουλγαρία (παλαιός οικισμός Αγίας Παρασκευής) έχει σταματήσει, λόγω της απαγόρευσης από το στρατό της εισόδου στην περιοχή των καστανοδασών. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τα δάση αυτά να μετατρέπονται από την πρεμινοφυή διαχειριστική μορφή στη σπερμοφυή και η ποώδης βλάστηση να παραμένει αδιατάρακτη.

Η μονάδα βλάστησης που κυριαρχεί το είδος αντιπροσωπεύεται με 6 φυτοληψίες. Απαντάται σε υπερθαλάσσια ύψη 590-910μ., κυρίως σε ανατολικές εκθέσεις, στο μέσο τμήμα κοίλων κυρίως πλαγιών, με ήπιες κλίσεις. Ο αριθμός των ειδών στις φυτοληψίες κυμαίνεται από 16 έως 40, με μέσο όρο 30 είδη ανά φυτοληψία. Το ύψος των δέντρων είναι 10-11 μ. και η διάμετρος των κυριαρχούντων δέντρων κυμαίνεται από 32 έως 80 εκ.

Η μονάδα διακρίνεται, από την κυριαρχία της *Castanea sativa*, τη μεγάλη σταθερότητα και πληθοκάλυψη του είδους *Pteridium aquilinum* και την εμφάνιση του είδους *Silene compacta*, που σύμφωνα με τους Strid και Tan (1997) εμφανίζεται πολύ συχνά σε δάση της *Castanea sativa*.

Στη μονάδα της *Castanea sativa* κυριαρχούν είδη θερμόφιλων δρυοδασών (*Quercion confertae*, *Quercetalia pubescenti-petraeae*). Εκτός από αυτά τα είδη, εμφανίζονται αρκετά είδη δασών *Fagus* (*Fagus sylvatica*, *Cardamine bulbifera*, *Viola reichenbachiana*, *Melica uniflora* κ.ά.) που βεβαιώνουν καλό εφοδιασμό του εδάφους με νερό.

Ο Raus (1980) αναφέρει ότι η επίδραση της ξηρασίας στο εσωτερικό των δασών της *Castanea sativa* στο Πήλιο, που τα εντάσσει στην *Quercion frainetto-cerris* ως *Castanea sativa* κοινότητα, ήταν

πολύ μικρότερη σε σύγκριση με τα δάση του *Quercus frainetto*. Ο Bergmeier (1990) διακρίνει την *Castanea sativa*-κοινότητα μέσα στο *Quercion confertae* και δεν την εντάσσει σε φυτοκοινωνική ένωση λόγω της διαταραγμένης – προφανώς λόγω ανθρωπογενών επιδράσεων –, σε σύνθεση και σε βαθμό κάλυψης, βλάστησης του ποώδους ορόφου. Παράλληλα, αναγνωρίζει τρεις φυσιολογικούς τύπους, ανάλογα με τη χρήση των συστάδων (προστατευτικά, ξυλευόμενα, παραγωγής καρπών). Ο Κοράκης (2003), αν και εντάσσει τα κασταναριά (σπερμοφυής διαχειριστική μορφή) του Πάικου στην *Quercion confertae* ως *Castanea sativa*-κοινότητα, αναφέρει ότι, παρά την εμφάνιση του είδους *Pteridium aquilinum*, η βλάστηση του ποώδους ορόφου δεν εμφανίζεται ιδιαίτερα διαταραγμένη, όπως συμβαίνει και στην περιοχή έρευνας. Οι Bergmeier και Dimopoulos (2008) διακρίνουν 3 μονάδες βλάστησης, όπου κυριαρχεί η *Castanea sativa*, και εμφανίζονται στη βόρεια Ελλάδα (*Quercus frainetto-Castanetum*), στην Πελοπόννησο (*Cytisio villosi-Castanetum*) και στην Κρήτη (*Lathyro laxiflori-Castanetum*).

Αξίζει να αναφερθεί ότι, σε καμιά φυτοληψία των παραπάνω ερευνητών, καθώς και των Ντάφη (1966), Barbero και Quézel (1976), Zoller et al. (1977), Καραγιαννακίδου-Ιατροπούλου (1983) και Konstantinidis et al. (2008), που ερεύνησαν δάση με κυριαρχία της *Castanea sativa*, δεν εμφανίζεται η *Silene compacta*. Οι Strid και Tan (1997) αναφέρουν ότι η *Silene compacta* εμφανίζεται στα δάση *Castanea sativa* και *Fagus sylvatica* s.l., σε εδάφη που προέρχονται από αποσάθρωση σχιστόλιθου και γρανίτη. Η *Castanea sativa* εμφανίζεται αποκλειστικά σε εδάφη με όξινη αντίδραση (κυρίως σχιστολιθικά και γρανιτικά). Τα ίδια αποτελέσματα αναφέρουν και οι Ντάφης (1966), Καραγιαννακίδου-Ιατροπούλου (1983), Κοράκης (2003) με στοιχεία από εδαφοτομές σε δάση *Castanea sativa*.

Αν και αδιατάρακτη η βλάστηση του υπορόφου, λόγω απουσίας χαρακτηριστικών ειδών, η μονάδα της *Castanea sativa* στην περιοχή έρευνας εντάσσεται στην *Quercion confertae*, ως *Castanea sativa-Silene compacta*-κοινότητα. Περισσότερη έρευνα σε δάση *Castanea sativa* ίσως αναδείξει μια ένωση που θα περιλαμβάνει και τα δάση της περιοχής έρευνας, με ένα από τα χαρακτηριστικά είδη της τη *Silene compacta*.

3.2. *Tilia tomentosa-Acer hyrcanum*-κοινότητα

Στην περιοχή έρευνας, η εξάπλωση της *Tilia tomentosa* περιορίζεται σε νησίδες στις απότομες πλαγιές, σε βόρειες γενικές εκθέσεις, στην οροσει-

ρά των Κρουσίων (μόνο στο όρος Μαυροβούνι) και στις νότιες γενιές εκθέσεις στο όρος Μπέλες.

Η μονάδα βλάστησης που κυριαρχεί το είδος αντιπροσωπεύεται από 23 φυτοληψίες. Απαντάται σε υπερθαλάσσια ύψη 610-1290 μ., σε διάφορες εκθέσεις, σε μογάγγειες, με πολύ έντονες κλίσεις και πολύ καλό εφοδιασμό σε νερό ακόμα και το καλοκαίρι. Στις θέσεις εμφάνισης της μονάδας (απόκρημνες πλαγιές) έχει μειωμένη ανθρώπινη δραστηριότητα. Ο αριθμός των ειδών των φυτοληψιών κυμαίνεται από 21 έως 56, με μέσο όρο 35 είδη ανά φυτοληψία.

Η μονάδα βλάστησης εμφανίζεται σε δυο τύπους εδαφών: α. Σε εδάφη που καλύπτονται από χοντρά χαλίκια και ογκόλιθους (μάλλον πρώην σάρες) που εμποδίζουν την εξάτμιση νερού και συμπυκνώνουν υδρατμούς στο έδαφος, ακόμα και τις πιο θερμές μέρες του χρόνου. Τα εδάφη αυτά εμφανίζονται μόνο στο όρος Μπέλες, όπου οι κλίσεις είναι πολύ έντονες έως κατακόρυφες, β. Σε βαθιά και ελαφρά εδάφη, με καλό αερισμό.

Διακρίνεται από τις άλλες μονάδες βλάστησης της περιοχής έρευνας από τα είδη *Tilia tomentosa* (χαρακτηριστικό είδος της Tilio-Acerion), *Polystichum setiferum*, *Hedera helix* ssp. *helix* (χαρακτηριστικά είδη της Quercio-Fagetea) και *Dryopteris filix-mas* (χαρακτηριστικό είδος της Fagetalia sylvaticae) (Φωτιάδης 2004). Το είδος *Hedera helix* ssp. *helix* εμφανίζεται σε σκιερά δάση, με μεγάλη ζωτικότητα και υψηλή σχετική υγρασία. Οι περιοχές εμφάνισης της *Tilia tomentosa* είναι δυσπρόσιτες και όλα τα παραπάνω είδη επιβεβαιώνουν την περιορισμένη ανθρώπινη δραστηριότητα.

Εντυπωσιακή είναι η μεγάλη συμμετοχή ξυλωδών ειδών στον όροφο των δέντρων και των θάμνων, όπως τα *Acer campestre*, *A. hyrcanum*, *Sorbus torminalis*, *Clematis vitalba*, *Carpinus betulus*, *Acer platanoides*, *Corylus avellana*, *Euonymus latifolius*, *Fagus sylvatica*, *Ostrya carpinifolia*, *Carpinus orientalis* κ.ά. Στον ποώδη όροφο συμμετέχουν πολλά είδη χαρακτηριστικά της Quercetalia pubescentipetraeae, αλλά και αρκετά είδη χαρακτηριστικά της Tilio-Acerion και της Fagion (-etalia) sylvaticae. Παράλληλα απουσιάζουν πολλά χαρακτηριστικά, ξηρανθεκτικά είδη της Quercion confertae, με υπόγεια όργανα αποθήκευσης, όπως τα *Leontodon cichoriaceus*, *Geocaryum capillifolium*, *Symphytum bulbosum* κ.ά., τα οποία όμως εμφανίζονται στα δρυοδάση της περιοχής (Φωτιάδης 2004).

Ο Raus (1980) διακρίνει την ένωση Tilio-Castanetum μέσα στην Quercion frainetto-cerris και

υποστηρίζει ότι τα δάση αυτά έχουν περιοριστεί σε απότομες πλαγιές. Οι Dafis και Jahn (1975) περιγράφουν την υποχώρηση των μεικτών δασών *Tilia-Castanea*, λόγω της έντονης οικονομικής χρησιμοποίησης των πρεμνοφυών συστάδων. Το ίδιο ισχυρίζεται και ο Bergmeier (1990) που, επιπρόσθετα, αναφέρει ότι στον Κάτω Όλυμπο τα δάση αυτά διασώζονται λόγω του δύσβατου της περιοχής, ενώ σε άλλες περιοχές υποβαθμίζονται σε αμιγή δάση *Castanea sativa*. Ο ίδιος ερευνητής εντάσσει τα δάση αυτά στην Aesculo-Tilienion και στην Tilio-Acerion (Fagetalia sylvaticae) ως Tilio-Castanetum, αναφέροντας πως η Tilio-Castanetum διαφοροποιείται έντονα από την Quercion confertae, λόγω της απουσίας τυπικών ξηρανθεκτικών ειδών της Quercion confertae. Επίσης, δικαιολογεί την τοπική υποσυνένωση Aesculo-Tilienion tomentosae, λόγω εμφανίσεων των *Calystegia sylvatica*, *Lathyrus venetus*, *Lunaria annua* ssp. *pachyrhiza*, *Salvia glutinosa* και *Scutellaria columnae*. Τα είδη αυτά εμφανίζονται συχνά και στα δάση της *Tilia tomentosa* στην οροσειρά των Κρουσίων και στο όρος Μπέλες, χωρίς όμως την εμφάνιση του είδους *Aesculus hippocastanum*. Ο Petermann (1999) στη Ροδόπη κατατάσσει τα μεικτά δάση *Tilia tomentosa-Castanea sativa* στη συνένωση Quercion confertae, ως ένωση Tilio-Castanetum, αν και η παρουσία του *Castanea sativa* είναι περιορισμένη. Στην περιοχή έρευνας, όπως προαναφέρθηκε, αν και εμφανίζεται η *Castanea sativa*, δε συμμετέχει καθόλου στη σύνθεση της βλάστησης των δασών της *Tilia tomentosa*.

Οι Zoller et al. (1977), στο Άγιο Όρος και τη Ροδόπη, περιγράφουν δάση όπως αυτά του Κάτω Ολύμπου, χωρίς την εμφάνιση της *Castanea sativa*, αλλά με τη συμμετοχή του *Tilia platyphyllos*, ως σπάνιο είδος. Οι Habeck και Reif (1994) στον ανατολικό Όλυμπο διακρίνουν στην Fagion sylvaticae, μια υποβάθμιση από Tilio-Acerion. Ο Θεοδωρόπουλος κ.ά. (1998), στο Άγιο Όρος διακρίνουν μια μεταβατική κατάσταση προς την Tilio-Acerion, χωρίς τη συμμετοχή της *Castanea sativa*, και την εντάσσουν στην Fagetalia. Οι Reif και Löblich-Ille (1999) διακρίνουν στην Tilio-Acerion την *Umbilicus erectus* (= *U. luteus*)-*Acer pseudoplatanus* κοινότητα, χωρίς όμως την εμφάνιση της *Tilia tomentosa*, αλλά μόνο της *Tilia platyphyllos*. Οι Bergmeier και Dimopoulos (2008) διακρίνουν μια μονάδα βλάστησης στην Ελλάδα, όπου κυριαρχεί η *Tilia tomentosa*, με μεγάλη συμμετοχή του είδους *Acer hyrcanum* και την εντάσσουν στην ένωση Tilio-Castanetum και στη συνένωση Tilio-Acerion. Όλα τα παραπάνω δάση εμφανίζονται σε απότομες

κλιτύες, σε βόρειες συνήθως εκθέσεις και σε ασβεστολιθικά πετρώματα (κύριος λόγος για την απουσία της *Castanea sativa*). Στην περιοχή έρευνας η *Tilia tomentosa* εμφανίζεται σε εδάφη επί οχιοτολιθικών και γρανιτικών πετρωμάτων, με όξινη αντίδραση, γεγονός που δεν περιορίζει την επέκταση της *Castanea sativa*. Η απουσία της μάλλον οφείλεται στο δύσβατο της περιοχής (δε μπορούσε να καλλιεργηθεί ή να ευνοηθεί από τον άνθρωπο) αφού πολλές φορές η *Tilia tomentosa* εμφανίζεται, κυρίως στο όρος Μπέλες, σε περιοχές με σάρες, ενώ παράλληλα η *Castanea sativa* καλλιεργήθηκε σε χαμηλότερα υψόμετρα που πιθανόν λειτούργησαν αποτρεπτικά στην επέκτασή της προς τα άνω. Άλλες πιθανές αιτίες της απουσίας της *Castanea sativa* μπορεί να έχουν σχέση με το μικροπεριβάλλον και κυρίως αυτό που διαμορφώνεται στο έδαφος (μυκόριζες κλπ.)

Σύμφωνα με τα παραπάνω και με βάση τη χλωριδική σύνθεση της μονάδας, τα δάση της *Tilia tomentosa* εντάσσονται στο Tilio-Acerion, ως *Tilia tomentosa*-*Acer hyrcanum*-κοινότητα λόγω έλλειψης χαρακτηριστικών ειδών. Στην μονάδα διακρίνονται δυο παραλλαγές (Πίνακας 1): η παραλλαγή από *Verbascum nigrum*, που εμφανίζεται στις πιο θερμές περιοχές της μονάδας και την παραλλαγή από *Carpinus betulus*, που εμφανίζεται στις υπόλοιπες περιοχές της μονάδας. Η παραλλαγή από *Carpinus betulus* διακρίνεται σε δυο υποπαραλλαγές: την υποπαραλλαγή από *Acer platanoides* (που εμφανίζεται στο Μπέλες και στους καλύτερους σταθμούς στα Κρούσια) και η υποπα-

ραλλαγή από *Thalictrum aquilegifolium* (που εμφανίζεται στα Κρούσια) (Σχήμα 1).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στις περιοχές των Κρουσίων και του Μπέλες διακρίθηκαν δυο μονάδες βλάστησης που κυριαρχούν η *Castanea sativa* και η *Tilia tomentosa*: η *Castanea sativa*-*Silene compacta*-κοινότητα και η *Tilia tomentosa*-*Acer hyrcanum*-κοινότητα, αντίστοιχα. Η μονάδα, που κυριαρχεί η *Castanea sativa*, έχει περιορισμένη εξάπλωση και πιθανότατα συνδέεται με ανθρώπινες δραστηριότητες. Η μονάδα, που κυριαρχεί η *Tilia tomentosa*, εμφανίζεται σε απόκρημνες πλαγιές με έντονες κλίσεις, όπου η πρόσβαση του ανθρώπου είναι περιορισμένη.

Η συνταξινόμηση σύνοψη των δασών του *Castanea sativa* και του *Tilia tomentosa* στις περιοχές των Κρουσίων και του Μπέλες είναι:

Κλάση: Quercu-Fagetu Br.-Bl. et Vlieg. in Vlieger 1937
Τάξη: Quercetalia pubescenti-petraeae Br.-Bl. 1931 ex auct (in Braun-Blanquet 1931 non valid. publ.)
Συνένωση: Quercion confertae Ht. ex Horvat 1958
Castanea sativa-*Silene compacta*-κοινότητα
Τάξη: Fagetalia sylvaticae Pawl. 1928
Συνένωση: Tilio-Acerion Klika 1928

Tilia tomentosa-*Acer hyrcanum*-κοινότητα (Παραλλαγή από *Verbascum nigrum* και Παραλλαγή από *Carpinus betulus* με Υποπαραλλαγή από *Acer platanoides* και Υποπαραλλαγή από *Thalictrum aquilegifolium*)

Phytosociological units of *Castanea sativa* and *Tilia tomentosa* forests of Mt Beles and Mts Krousia in Greece

Georgios Fotiadis¹ and Nikolaos Athanasiadis[†]

ABSTRACT

Tilia tomentosa and *Castanea sativa* are usually found inside deciduous mixed stands in mid-elevation mountainous regions of central and north Greece where the ecologic optimum of Tilio-Castanetum is established. In Beles and Krousia mountains both species form forests, isolated from each other, with negligible presence of other deciduous taxa. These forests are being investigated from a phytosociological point of view by applying the Braun-Blanquet method on 29 relevés. Two vegetation units have been distinguished: *Castanea sativa*-*Silene compacta*-community and *Tilia tomentosa*-*Acer hyrcanum*-community.

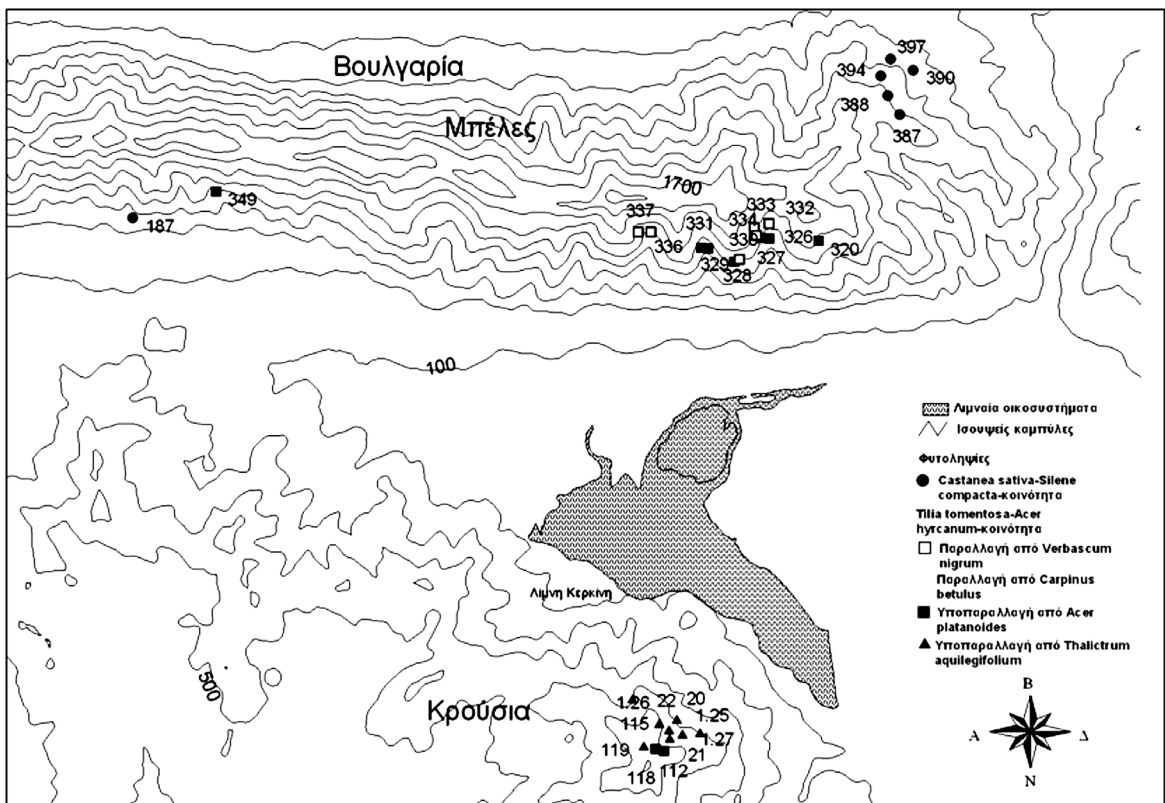
Key words: Central Macedonia, vegetation, Quercion confertae, Tilio-Acerion

¹ Laboratory of Forest Botany – Geobotany, School of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, PO box 270, 541 24, Thessaloniki, Greece

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ackermann W. και Durka W. 1997. Sort 3.9, Programme: Processing of vegetation relieves and species lists. English version 2. Pg. 109.
- Athanasiadis N. 1975. Zur postglazialen Vegetationsentwicklung von Litochoro Katerinis und Pertuli Trikalon (Griechenland). *Flora* 164:99-132.
- Αθανασιάδης ΗΡ. Ν. 1986. Δασική Φυτοκοινωνιολογία. Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. Σελ. 109.
- Barbéro M. και Quézel P. 1976. Les groupements forestiers de Grece Centro- Meridionale. *Ecologia Mediterranea* 2: 1-86.
- Bergmeier E. 1990. Wälder und Gebüsche des Niederen Olymp (Káto Olimbos, NO Thessalien). Ein Beitrag zur systematischen und orographischen Vegetationsgliederung Griechenlands. *Phytocoenologia* 18: 161-342.
- Bergmeier E. και Dimopoulos P. 2008. Identifying plant communities of thermophilous deciduous forest in Greece: Species composition, distribution, ecology and syntaxonomy. *Plant Biosystems* 142: 228-254.
- Bottema S. 1979. Pollen analytical investigations in Thessaly (Greece). *Palaeohistoria* 21: 19-40.
- Braun-Blanquet J. 1964. *Pflanzensoziologie*, Springer Verlag, 3 Auflage, Wien, Pg. 865.
- Dafis S. και Jahn G. 1975. Zum heutigen Waldbild Griechenlands nach ökologisch-pflanzengeographischen Gesichtspunkten. Veröffentlichungen des Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich, 55: 99-116.
- Θεοδωρόπουλος Κ., Αθανασιάδης Ν., Ελευθεριάδου Ε., Γερασμίδης Α., Τσιριπίδης Γ. και Κοράκης Γ. 1998. Μονάδες βλάστησης κατά μήκος του μονοπατιού Σκήτη Τιμίου Προδρόμου – Σκήτη Αγίας Άννης του Αγίου Όρους. Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Βοτανικής Εταιρείας, 80-95.
- Gamisans J. και Hebrard J.P. 1979. A propos de la végétation des forets d' Epire et de Macedoine grecque occidentale. *Doc. Phytosoc.* 4: 289-341.
- Gamisans J. και Hebrard J.P. 1980. A propos de la végétation des forets en Grèce du nord-est (Macédoine orientale et Thrace occidentale). *Doc. Phytosoc.* 5: 243-289.
- Greuter W., Burdet H.M. και Long G. 1984-1989. *Med-Checklist* 1,2,4. Geneve.
- Habeck F. και Reif A. 1994. Die Waldgesellschaften der montanen und subalpinen Stufe des Ostabfalls des Olymp, Griechenland. *Phytocoenologia* 22(4): 501-536
- Καραγιαννακίδου-Ιατροπούλου, Β. 1983. Σταθμολογική έρευνα στην Quercus – Fagetea κλάση του ορεινού συγκροτήματος του Χορτιάτη. Διδ. Διατριβή. Α.Π.Θ. Επιστ. Επετ. Σχολής Θετικών Επιστημών, Τόμος 22, Παράρτημα 25. Θεσσαλονίκη. Σελ. 161.
- Κασώλη-Φουρναράκη, Α. 1981. Συμβολή στην ορυκτολογική και πετρολογική μελέτη αμβολιτικών πετρωμάτων της Σερβομακεδονικής μάζας. Διδακτορική Διατριβή. Θεσσαλονίκη. Σελ. 231.
- Konstantinidis P., Tsiourlis G., Xofis P. και Buckley GP. 2008. Taxonomy and ecology of *Castanea sativa* Mill. forests in Greece. *Plant Ecology* 195: 235-256.
- Κοράκης, Γ. 2003. Οι μονάδες δασικής βλάστησης του όρους Πάικου και η αξιολόγησή τους από αναδασωτική σκοπιά. Διδακτορική Διατριβή. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη. Σελ. 264.
- Μαυρομάτης Γ. 1980. Το βιοκλίμα της Ελλάδος. Σχέσεις κλίματος και φυσικής βλάστησης. Βιοκλιματικοί χάρτες. Ι.Δ.Ε.Α. Αθήνα. Σελ. 63+χάρτες.
- Mucina L. 1997. Conspectus of Classes of European Vegetation. *Folia Geobot. Phytotax.* 32: 117-172.
- Μουντράκης Μ. Δ. 1985. Γεωλογία της Ελλάδος. Θεσσαλονίκη. Σελ. 207.
- Ντάφης Σ. 1966. Σταθμολογικά και δασοοποδοτικά έρευνα εις πρεμοφυή δρυοδάση και καστανωτά της βορειοανατολικής Χαλκιδικής. Θεσσαλονίκη. Σελ. 113.
- Ντάφης Σ., Παπαστεργιάδου Ε., Λαζαρίδου Ε., Τσιαφούλη Μ. 2001. Τεχνικός Οδηγός Αναγνώρισης, Περιγραφής και Χαρτογράφησης Τύπων Οικοτόπων της Ελλάδας. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ). Σελ. 393.
- Petermann J. 1999. Winterkahle Eichenwälder im Westen der Griechischen Rhodopen. Vegetation, Struktur und Dynamik. – Arbeiten Inst. Landschaftsäkol., Wilhelms-Univ. Münster 5: 1-150.
- Reif A. και Löblich-Ille K. 1999. Sind die Rotbuchenwälder im Pieria-Gebirge (Nordgriechenland) hohenzonal oder extrazonal? Eine Studie zum Übergang zwischen temperaten und sub-

- mediterranen Wäldern in Nordgriechenland. Phytocoenologia 29(1): 87-146.
- Raus, Th. 1980. Die vegetation Osthessaliens (Griechenland), III. Querco-Fagetea und azonale Gehölzgesellschaften. Bot. Jahrb. Syst. 101(3): 313-361.
- Strid, A. 1986. Mountain Flora of Greece, 1. Cambridge. Pg. 822.
- Strid, A. και Tan, K. 1991. Mountain Flora of Greece, 2. Edinburgh. Pg. 974.
- Strid, A. και Tan, K. (eds.) 1997, 2002. Flora Hellenica 1-2. Königstein.
- Tutin T. G., Burges N.A., Chater A.O., Edmonson J.R., Heywood V.H., Moore D.M., Valentine D.H., Walters S.M. και Webb D.A. (eds) 1993. Flora Europea I. 2nd edition. Cambridge.
- Tutin T.G., Heywood V.H., Burges N.A., Moore D.M., Valentine D.H., Walters S.M. και Webb D.A. (eds.) 1968-1980. Flora Europaea II - V. Cambridge.
- Φλόκας Α. 1992. Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Θεσσαλονίκη Σελ. 465.
- Φωτιάδης Γ. 2004. Καθορισμός των φυτοκοινωνιολογικών μονάδων του Ελληνικού τμήματος του όρους Μπέλες και της οροσειράς των Κρουσίων. Διδακτορική διατριβή. Θεσσαλονίκη. Σελ. 274.
- Weber H.E., Moravec J. και Theurillat J.-P. 2000. International Code of Phytosociological Nomenclature. 3rd edition. J. Veg. Sci. 11: 739-768.
- Zoller H., Geissler P. και Athanasiadis N. 1977. Beiträge zur Kenntnis der Wälder, Moos- und Flechtenassoziationen in den Gebirgen Nordgriechenlands. Bauhinia 6/1: 215-255.



Σχήμα Ι. Χάρτης των Κρουσίων και του Μπέλες (*Castanea sativa-Silene compacta*-κοινότητα και *Tilia tomentosa-Acer hyrcanum*-κοινότητα).

Figure I. Map of Kroussia and Beles (*Castanea sativa-Silene compacta*-community and *Tilia tomentosa-Acer hyrcanum*-community)

Πίνακας Ι. Φυτοκοινωνιολογικός πίνακας
Table I. Phytosociological table

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΥΤΟΛΗΨΙΑΣ										0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	1	3	3	3	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1		
	9	9	8	9	8	8	3	3	3	3	3	1	2	4	2	3	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2		
ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΥΤΟΛΗΨΙΑΣ*	0	7	8	4	7	7	4	6	7	2	0	3	2	0	9	9	1	8	6	7	8	9	1	2	5	7	0	6	5			
ΜΕΓΕΘΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (±10m)	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	3	2	3	2	3	3		
	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
ΥΠΕΡΘΑΛΑΣΣΙΟ ΥΨΟΣ (±10m)	5	6	8	8	9	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	9	8	9	3	1	0	1	1	2	1	2	7	8	2	7	5	8	8	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	1	0	2	8	0	7	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7	4	1	9	9	8	8	1	4		
ΕΚΘΕΣΗ	A	A	A	A	A	A	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	A	N	B	A	A	B	B	B	A	A	B	Δ
	A	A	A	A	A	A	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
ΚΛΙΣΗ (%)	5	5	5	1	1	1	9	9	9	9	9	7	9	3	8	9	7	8	9	8	7	3	7	6	7	6	4	7	6	4		
	0	5	0	0	5	0	5	0	9	5	9	5	9	5	9	5	9	5	0	9	0	0	0	5	5	0	0	5	5	0		
ΜΑΚΡΟΑΝΑΓΛΥΦΟ (Α-ΑΝΩ, Μ-ΜΕΣΟ, Κ-ΚΑΤΩ)	M	M	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K		
ΜΙΚΡΟΑΝΑΓΛΥΦΟ (ΚΥΡΤΑ, ΟΜΙΛΑ, ΚΟΙΛΟ)	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O		
	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I		
ΚΑΛΥΨΗ ΟΡΟΦΟΥ Δ1 (%)	8	8	8	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	7	5	8	8	8	8		
	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	5	0	0	5	0	0		
ΚΑΛΥΨΗ ΟΡΟΦΟΥ Δ2 (%)						6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1	1	1		
						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
ΚΑΛΥΨΗ ΟΡΟΦΟΥ Θ (%)	1	1	1	1	1	1	3	4	3	4	3	2	3	2	3	4	4	1	2	1	1	2	1	1	4	2	3	2	2	2		
	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	5	0	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0		
ΚΑΛΥΨΗ ΟΡΟΦΟΥ Π (%)	2	1	1	1	2	2	4	3	4	3	4	2	1	4	3	2	1	2	2	1	2	2	2	4	2	3	4	2	8	1		
	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0		
ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΚΥΡΙΑΡΧΟΥΝΤΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ (m)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1		
	1	0	1	1	1	0	2	2	3	3	3	3	3	3	6	2	8	6	5	4	8	0	2	8	3	6	5	8	8	8		
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΥΡΙΑΡΧΟΥΝΤΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ (cm)	3	4	4	4	4	5	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	4	2	2	1	3	3	3		
	2	1	5	3	8	6	6	9	8	4	7	5	9	6	7	8	8	6	6	8	5	1	0	0	8	0	8	0	8	0		
ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΔΩΝ	3	0	4	2	2	3	4	3	4	4	2	3	2	2	2	2	4	4	4	3	2	2	2	3	4	5	4	5	4			
Διαφοριστικά είδη της <i>Casanea sativa-Silene compacta</i> - κοινότητα	3	0	4	7	0	5	5	7	1	3	1	8	6	4	9	8	2	3	8	2	0	1	0	2	4	7	1	2	8			
Q.p. <i>Casanea sativa</i> Δ1	5	3	3	3	3	3																										
Q.p. <i>Casanea sativa</i> Δ2						2																										
Q.p. <i>Casanea sativa</i> Θ	+	1	+	2	+	1																										
Q.p. <i>Casanea sativa</i> Π	+	+	+	r	+	+																										
Q.p. <i>Casanea cymilis subsp. cymilis</i>	1	+	+	+	+																											
Q.p. <i>Silene compacta</i>	1	+	+	+	+																											
M-A <i>Genista tinctoria</i>	+	1	+	+	+																											
M-A <i>Pteridium aquilinum</i>	3	+	1	+	1	1																										
Διαφοριστικά είδη της <i>Tilia tomentosa-Acer hyrcanum</i> - κοινότητα																																
T-A <i>Tilia tomentosa</i> Δ1	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5			
T-A <i>Tilia tomentosa</i> Δ2																																
T-A <i>Tilia tomentosa</i> Θ																																
T-A <i>Tilia tomentosa</i> Π																																
Q.p. <i>Acer c. campestre</i> Δ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
Q.p. <i>Acer c. campestre</i> Θ	2						2																									
Q.p. <i>Acer c. campestre</i> Π	+						+																									
Q.p. <i>Acer hyrcanum</i> Δ																																
Q.p. <i>Acer hyrcanum</i> Θ																																
Q.p. <i>Acer hyrcanum</i> Π																																
Q.p. <i>Sorbus torminalis</i> Θ																																
Q.p. <i>Sorbus torminalis</i> Π																																
R-F3 <i>Cismatis viticida</i>																																
Q.c. <i>Styvia varia colymbas</i> sp. <i>colymbas</i>																																

* Σύμφωνα με την παράθεση των φυτοληψιών του Φωτιάδη (2004)

Q-F	<i>Polygonatum odoratum</i>	. . . . .	+	.	.	1	.	.	+	.	.	.	.	.	1	.	+	+	+	.	r	+	
T-A	<i>Arabis purrita</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	+
Q.P.	<i>Carex depauperata</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	+
Q.c.	<i>Trifolium medium</i> ssp. <i>balkanicum</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	+
Παράλλαξη από <i>Verbascum nigrum</i>																							
Q.c.	<i>Verbascum nigrum</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Q.c.	<i>Silene coronaria</i>	. . . . .	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.
Q.p.	<i>Teucrium chamaedrys</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Chaerophyllum temulum</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Torilis ucranica</i>	. . . . .	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Arabis laxa</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Παράλλαξη από <i>Carpinus betulus</i>																							
F.	<i>Carpinus betulus</i> Δ1	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Carpinus betulus</i> Δ2	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Carpinus betulus</i> Θ	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Carpinus betulus</i> Π	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
F.	<i>Dryopteris filix-mas</i>	. . . . .	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Q-F	<i>Polystichum setiferum</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Υποπαράλλαξη από <i>Acer platanoides</i>																							
T-A	<i>Acer platanoides</i> Δ	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Acer platanoides</i> Θ	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Acer platanoides</i> Π	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Q-F	<i>Corylus avellana</i> Δ	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Corylus avellana</i> Θ	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Corylus avellana</i> Π	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
T-A	<i>Eonymus latifolius</i> Θ	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Umbilicus luteus</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Υποπαράλλαξη από <i>Thalictrum aquilegifolium</i>																							
F.s.	<i>Thalictrum aquilegifolium</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Q.c.	<i>Melittis melissophyllum</i> ssp. <i>albida</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
F.	<i>Primula acaulis</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Q-F	<i>Ajuga reptans</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
T-A	<i>Lunaria annua</i> ssp. <i>pachyrhiza</i>	. . . . .	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Asphodeline lutea</i>	. . . . .	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Χαρακτηριστικά είδη της: <i>Tilio - Acerion</i>																							
	<i>Lathyrus venetus</i>	. . . . .	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Χαρακτηριστικά είδη της: <i>Fagion sylvaticae</i>																							
	<i>Fagus sylvatica</i> s.l. Δ1	. . . . .	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Fagus sylvatica</i> s.l. Δ2	. . . . .	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Fagus sylvatica</i> s.l. Θ	. . . . .	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Fagus sylvatica</i> s.l. Π	. . . . .	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Rosa arvensis</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Cardamine bulbifera</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Galium odoratum</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Viola reichenbachiana</i>	. . . . .	+	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Χαρακτηριστικά είδη της: <i>Fagetalia sylvaticae</i>																							
	<i>Melica uniflora</i>	. . . . .	+	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Mycelis muralis</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Campanula trachelium</i> ssp. <i>athoa</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Lilium martagon</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Primula veris</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Digitalis viridiflora</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Χαρακτηριστικά είδη της: <i>Quercio-Fagetea</i>																							
	<i>Hedera helix</i> ssp. <i>helix</i> Θ	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Hedera helix</i> ssp. <i>helix</i> Π	. . . . .	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Rubus hirtus</i> Θ	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Rubus hirtus</i> Π	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Euphorbia amygdaloides</i> ssp. <i>amygdaloides</i>	. . . . .	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Poa nemoralis</i>	. . . . .	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Aremonia agrimonoides</i> ssp. <i>agrimonoides</i>	. . . . .	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Geum urbanum</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	<i>Geranium robertianum</i> ssp. <i>robertianum</i>	. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Μέθοδοι πρόληψης και ελέγχου των μυκοτοξινών

Γεώργιος Δ. Κουρουσέκος*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι μυκοτοξίνες (με σπουδαιότερες τις: αφλατοξίνες, ωχρατοξίνη, δεοξυνιβαλενόλη, ζεαραλενόνη, φουμονισίνες) αποτελούν τοξικούς μεταβολίτες ορισμένων ειδών μυκήτων και η κατανάλωση τους από τα ζώα ή τον άνθρωπο, μέσω της τροφής, μπορεί να οδηγήσει σε παθολογικές καταστάσεις (μυκοτοξινώσεις) με ποικίλη συμπτωματολογία. Η τοξικότητα των εν λόγω τοξινών εκδηλώνεται, είτε απ' ευθείας είτε αφού μεταβολιστούν σε πιο δραστικές ουσίες. Κύριο όργανο μεταβολισμού των μυκοτοξινών αποτελεί το ήπαρ και ακολούθως οι νεφροί και η μεγάλη κοιλία των μηρυκαστικών. Λόγω των σοβαρών προβλημάτων που προκύπτουν από την κατανάλωση των μυκοτοξινών, η λήψη μέτρων πρόληψης και απαλλαγής από αυτές κρίνεται απολύτως απαραίτητη. Γενικά, η προ-σβολή των σιτηρών από τους μύκητες και τις μυκοτοξίνες τους μπορεί να αποφευχθεί με επιλογή ποικιλιών, ανθεκτικών στους μύκητες, καθώς και με τη λήψη μέτρων, κατά την παραγωγή και την αποθήκευση των ζωοτροφών, ώστε οι παράγοντες που ευνοούν την ανάπτυξη των μυκήτων στις ζωοτροφές να μειωθούν στο ελάχιστο (π.χ. έγκαιρη συγκομιδή των σιτηρών, κατάλληλος τεμαχισμός των καρπών, κάλυψη των σιλό κ.ά.). Για την απαλλαγή των ζωοτροφών από τις μυκοτοξίνες έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι, οι οποίες διακρίνονται σε φυσικές, χημικές και βιολογικές. Ο διαχωρισμός των προσβλημένων από τις μη προσβλημένες ζωοτροφές αποτελεί τη φυσική μέθοδο που βρίσκει τη συχνότερη εφαρμογή στην καθημερινή πράξη. Οι χημικές μέθοδοι περιλαμβάνουν τη χρήση χημικών ουσιών (π.χ. αμμωνία) για την εξουδετέρωση των μυκοτοξινών. Στις βιολογικές μεθόδους ανήκουν κυρίως η προσθήκη αναστολέων των μυκήτων καθώς και η προσθήκη δεσμευτικών παραγόντων, που μειώνουν την απορρόφηση των μυκοτοξινών από το γαστρεντερικό σωλήνα, όπως ο μπεντονίτης, ο ζεόλιθος και το Hydrated Sodium Calcium AluminoSilicate (HSCAS). Ακόμη, για την ελαχιστοποίηση της δράσης των μυκοτοξινών μελετήθηκαν η χορήγηση ορισμένων ουσιών μαζί με την τροφή (π.χ. ολιπράξη) και η ικανότητα συγκεκριμένων μικροοργανισμών (π.χ. οξυγαλακτικά βακτήρια) να δεσμεύουν ορισμένες τοξίνες.

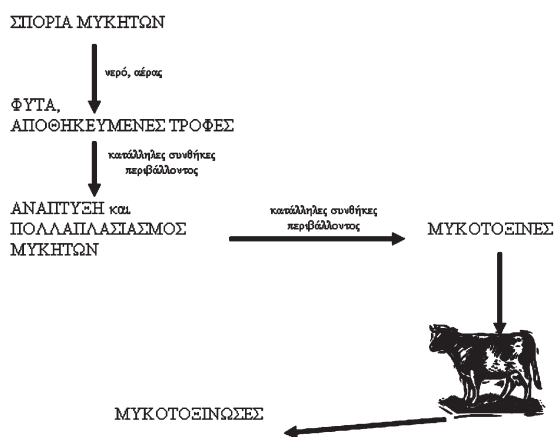
Λέξεις κλειδιά: μυκοτοξίνες, μυκοτοξινώσεις, πρόληψη, αντιμετώπιση, απαλλαγή

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μύκητες (fungi) ανήκουν στην κατηγορία των μικροοργανισμών, τα μεταβολικά προϊόντα των οποίων μπορεί να αποδειχθούν ιδιαίτερα επιβλαβή για τον οργανισμό των ζώων ή του ανθρώπου. Τα σπόρια των μυκήτων, μέσω του αέρα ή/και του νερού, μεταφέρονται στα φυτά ή στις αποθηκευμένες τροφές και, κάτω από κατάλληλες συνθήκες περιβάλλοντος, αρχίζει η ανάπτυξη και ο πολλαπλασιασμός των μυκήτων. Εφόσον οι κατάλληλες συνθήκες διατηρούνται, ορισμένοι μύκητες παράγουν τοξικούς, δευτερογενείς μεταβολίτες, που ονομάζονται μυκο-

τοξίνες (mycotoxins) (Diekman και Green 1992). Η κατανάλωση των μυκοτοξινών μέσω της τροφής μπορεί να οδηγήσει σε ποικίλα συμπτώματα, που έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση των αποδόσεων των ζώων και πιθανώς τη μεταφορά των μυκοτοξινών στην τροφική αλυσίδα. Οι παθολογικές καταστάσεις που δύνανται να προκύψουν από την κατανάλωση μυκοτοξινών ονομάζονται μυκοτοξινώσεις (ή μυκοτοξικώσεις, mycotoxicoses). Στο σχήμα 1 απεικονίζεται συνοπτικά η διαδρομή από τη μεταφορά των σπορίων των μυκήτων στις τροφές μέχρι και την πρόκληση τοξινώσεων από την κατανάλωση μυκοτοξινών.

* Διδάκτορας της Κτηνιατρικής Σχολής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης



Σχήμα 1: Απεικόνιση της διαδρομής από τη μεταφορά των σπορίων των μυκήτων στις τροφές μέχρι την πρόκληση μυκοτοξινώσεων.

Figure 1: Representation of the pathway starting from fungi growth till mycotoxin production and mycotoxicoses appearance.

Τα τελευταία χρόνια πολλές μελέτες επικεντρώθηκαν στις επιπτώσεις των μυκοτοξινών σε διάφορα είδη ζώων και στον άνθρωπο. Το ενδιαφέρον των ερευνητών αυξήθηκε ιδιαίτερα, όταν ορισμένες μυκοτοξίνες κατατάχθηκαν από το Διεθνή Οργανισμό για την Έρευνα του Καρκίνου (International Agency for Research on Cancer, IARC) στις πιθανές καρκινογόνες ουσίες για τον άνθρωπο (IARC 1993α, IARC 1993β). Οι μυκοτοξίνες, που έχουν μελετηθεί περισσότερο είναι οι αφλατοξίνες (aflatoxins), η ωχρατοξίνη (ochratoxin), η δεοξυνιβαλενόλη (deoxynivalenol), η ζεαραλενόνη (zearalenone) και οι φουμονισίνες (fumonisins). Στον πίνακα I αναγράφονται συνοπτικά οι πιθανές επιδράσεις των κυριότερων μυκοτοξινών (Κουρουσέκος κ.ά. 2006). Επιπλέον, στον πίνακα II παρουσιάζονται οι κυριότεροι, υπεύθυνοι μύκητες για την παραγωγή συγκεκριμένων μυκοτοξινών, καθώς και οι σπουδαιότερες ουσίες στις οποίες μπορεί να μεταβολίζονται οι μυκοτοξίνες στον οργανισμό των ζώων.

Πίνακας I: Πιθανές επιδράσεις των κυριότερων μυκοτοξινών.

Table I: Frequent effects of the most common mycotoxins.

<i>Μυκοτοξίνες</i>	<i>Κυριότερες επιδράσεις</i>
Αφλατοξίνες	Μείωση του μεταβολισμού και της πρόσληψης τροφής Μείωση του ρυθμού ανάπτυξης Μείωση των αποδόσεων Μείωση της ανοσίας έναντι παρασίτων και μικροβίων
Ωχρατοξίνη	Νεφρικές αλλοιώσεις Καρκινογένεση
Δεοξυνιβαλενόλη	Μείωση αποδόσεων Χαμηλός δείκτης μετατρεψιμότητας της τροφής Ανορεξία Εμετός
Ζεαραλενόνη	Εμφάνιση ψευδών οίστρων Εξοίδηση των εξωτερικών γεννητικών οργάνων Διόγκωση των μαστών Αγονιμότητα, αναφροδισία Ψευδοκύηση
Φουμονισίνες	Μείωση των αποδόσεων Πνευμονικό οίδημα (χοίροι) Ηπατοτοξικότητα (αρουραίοι) Εγκεφαλομαλάκυνση (ίπποι)

Πίνακας II: Οι κυριότεροι, υπεύθυνοι μύκητες για την παραγωγή των μυκοτοξινών, καθώς και οι σπουδαιότερες ουσίες (μεταβολίτες) στις οποίες μπορεί να μεταβολίζονται οι μυκοτοξίνες.

Table II: Responsible fungi for mycotoxin production and the most common metabolites after mycotoxin metabolism.

Κυριότεροι υπεύθυνοι μύκητες	Σπουδαιότερες παραγόμενες μυκοτοξίνες	Σπουδαιότεροι σχηματιζόμενοι μεταβολίτες
Aspergillus flavus Aspergillus parasiticus	Αφλατοξίνες B1, B2, G1, G2	M1 Q1 αφλατοξικόλη (αποτελούν μεταβολίτες της B1)
Penicillium verrucosum Aspergillus ochraceus	Ωχροτοξίνη A	
Fusarium graminearum Fusarium culmorum	Δεοξυνιβαλενόλη	
Fusarium graminearum Fusarium culmorum	Ζεαραλενόνη	α-ζεαραλενόλη β-ζεαραλενόλη
Fusarium moniliforme Fusarium proliferatum	Φουμονισίνες A1, A2, B1, B2, B3	

Μεταβολισμός και τοξικότητα των μυκοτοξινών

Οι περισσότερες μυκοτοξίνες, μετά από την κατανάλωσή τους, ανιχνεύονται στο αίμα, γεγονός που ενισχύει την άποψη ότι μπορεί να ανευρεθούν σε όλους σχεδόν τους ιστούς του σώματος. Η τοξικότητα της εκάστοτε μυκοτοξίνης, εκτός από την ηλικία και τη θρεπτική κατάσταση του ζώου, την προσλαμβανόμενη ποσότητα και τη διάρκεια έκθεσης του ζώου στη συγκεκριμένη τοξίνη, εξαρτάται κυρίως από το είδος του ζώου και της προσλαμβανόμενης τοξίνης (Diekman και Green 1992). Για να εκδηλωθεί η τοξική δράση ορισμένων μυκοτοξινών, απαιτείται ο μεταβολισμός τους σε άλλες ουσίες, πιο δραστικές. Αντίθετα, υπάρχουν μυκοτοξίνες, οι οποίες ασκούν την τοξική δράση τους απ' ευθείας, δίχως να προηγηθεί ο μεταβολισμός τους (Neal κ.ά. 1998). Κύριο όργανο μεταβολισμού των μυκοτοξινών αποτελεί το ήπαρ, και ακολούθως οι νεφροί και η μεγάλη κοιλία των μηρυκαστικών. Ωστόσο, ορισμένες μυκοτοξίνες μεταβολίζονται μόνο από συγκεκριμένα όργανα δίχως να επηρεάζονται από τη διέλευσή τους μέσω άλλων μεταβολικών οργάνων. Για παρά-

δειγμα, οι αφλατοξίνες δεν φαίνεται να υπόκεινται στη μεταβολική επίδραση της μικροβιακής χλωρίδας της μεγάλης κοιλίας των μηρυκαστικών. Σε *in vitro* πειραματισμό, η αφλατοξίνη B1 και άλλες 5 μυκοτοξίνες (ζεαραλενόνη, ωχροτοξίνη A, δεοξυνιβαλενόλη, T2 τοξίνη και διακετοξυσκιρπενόλη) αναμίχθηκαν με υγρό περιεχόμενο, πρωτόζωα και βακτήρια από τη μεγάλη κοιλία βοοειδών ή προβάτων. Η αφλατοξίνη B1 και η δεοξυνιβαλενόλη παρέμειναν αναλλοίωτες, ενώ αντίθετα, οι υπόλοιπες 4 μυκοτοξίνες μετατράπηκαν είτε σε τοξικούς είτε σε μη τοξικούς μεταβολίτες (Kiesling κ.ά. 1984).

Πιο συγκεκριμένα, οι αφλατοξίνες μεταβολίζονται κυρίως στο ήπαρ, με αποτέλεσμα οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις τους να ανιχνεύονται στο όργανο αυτό. Ωστόσο, ένα ποσοστό των αφλατοξινών B1 και M1 παραμένει ανεπηρέαστο, καθώς φαίνεται ότι απεκκρίνεται με τα ούρα και τα κόπρανα και μάλιστα για αρκετές ημέρες, μετά από τη διακοπή της πρόσληψης των παραπάνω τοξινών με την τροφή. Η ανίχνυσή τους σε αυτά χρησιμοποιείται για την εντόπιση των ζώων που έχουν κα-

ταναλώσει τροφές προσβλημένες από αφλατοξίνες (Stubblefield κ.ά. 1983, Fernandez κ.ά. 1997). Σε ό,τι αφορά στην τοξικότητά τους, η αφλατοξίνη M1 έχει άμεση τοξική δράση, χωρίς να απαιτείται ο μεταβολισμός της σε άλλες τοξικές ουσίες, σε αντίθεση με τη B1 (Neal κ.ά. 1998), η οποία δρα αφού μεταβολιστεί κυρίως σε αφλατοξίνη M1, αφλατοξίνη Q1 ή αφλατοξικόλη (aflatoxicol). Φαίνεται ότι η Q1 και η αφλατοξικόλη απεκκρίνονται με το γάλα, αλλά σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις, σε σχέση με την αφλατοξίνη M1 (Helferich κ.ά. 1986). Η M1 και η αφλατοξικόλη, πέρα από την τοξική δράση τους, βρέθηκε ότι δεσμεύουν σε πολύ μικρό ποσοστό τους υποδοχείς οιστρογόνων στη μήτρα (Kyrcin 1974, Blankenship κ.ά. 1982).

Η ωχρατοξίνη φαίνεται να μεταβολίζεται στο μεγαλύτερο ποσοστό της από τους νεφρούς, γεγονός που εξηγεί τη νεφροτοξική δράση της. Στους χοίρους, η ωχρατοξίνη εντοπίστηκε κυρίως στους νεφρούς και λιγότερο στους μυς, στο ήπαρ και στο λίπος (Madsen κ.ά. 1982). Επιπλέον, μεταβολίζεται και στη μεγάλη κοιλία των μηρυκαστικών (Kiessling κ.ά. 1984), γεγονός στο οποίο αποδίδεται το πολύ μικρό ποσοστό ωχρατοξίνης που απεκκρίνεται με το γάλα των μηρυκαστικών (Cserpy 2002). Ο μεταβολισμός της ωχρατοξίνης στα μηρυκαστικά, αδρανοποιεί την τοξική δράση της, για αυτό και τα παραπάνω ζώα εμφανίζονται ανθεκτικά στη συγκεκριμένη τοξίνη. Τα νεαρά μηρυκαστικά στην περίοδο της γαλουχίας επιδεικνύουν ευαισθησία στη δράση της ωχρατοξίνης αντίστοιχη με εκείνη των υπόλοιπων ζώων επειδή λειτουργούν ως μονογαστροικά (Krogh 1992). Μέρος της τοξικότητας της ωχρατοξίνης φαίνεται να οφείλεται στη δομική της ομοιότητα με τη φαινυλαλανίνη, οδηγώντας στην αναστολή της βιοσύνθεσης πρωτεϊνών, λόγω ανταγωνισμού με το ειδικό t-RNA. Αυτή η υπόθεση στηρίζεται στο γεγονός ότι η χορήγηση φαινυλαλανίνης έχει προστατευτική δράση, σε ό,τι αφορά στις αρνητικές επιδράσεις της ωχρατοξίνης. Τα ίδια ευεργετικά αποτελέσματα με τη φαινυλαλανίνη, έχει και το δομικό της ανάλογο, η ασπαρτάμη (Cserpy κ.ά. 1995).

Επιπλέον, η δεοξυνιβαλενόλη ανήκει στις μυκοτοξίνες, η τοξική δράση των οποίων εκδηλώνεται έπειτα από το μεταβολισμό τους σε άλλες ουσίες. Συνήθως, η τοξική δράση άλλων μυκοτοξινών οφείλεται στο σχηματισμό ενός εποξειδίου, που προκύπτει μετά τη μεταβολική επεξεργασία τους (Neal κ.ά. 1998). Στην περίπτωση της δεο-

ξυνιβαλενόλης, το εποξειδίο αυτό υφίσταται ήδη, γεγονός που εξηγεί και την άμεση τοξική δράση της. Κατά το μεταβολισμό της δεοξυνιβαλενόλης, όπως παρατηρήθηκε μετά από επώασή της σε μικροβιακή χλωρίδα του εντέρου χοίρου, χάνεται η τοξική της δράση, λόγω απο-εποξειδοποίησής της (Kollarczik κ.ά. 1994)

Σχετικά με τη ζεαραλενόνη, μετά τη λήψη της με την τροφή, μεταβολίζεται γρήγορα από τη μικροβιακή χλωρίδα των μηρυκαστικών, σε α-ζεαραλενόλη και β-ζεαραλενόλη. Οι μεταβολίτες αυτοί, όπως και η ζεαραλενόνη, έχουν οιστρογονική δράση, επηρεάζοντας άμεσα την αναπαραγωγική δραστηριότητα, καθώς φαίνεται να καταλαμβάνουν τους υποδοχείς οιστρογόνων της μήτρας (Katzenellenbogen κ.ά. 1979, Blankenship κ.ά. 1982).

Αναφορικά με τις φουμονισίνες, ο μεταβολισμός τους πραγματοποιείται κυρίως στο ήπαρ, γεγονός που επηρεάζει τη λειτουργία του οργάνου αυτού. Η κατανάλωση φουμονισίνης B1 από γαλακτοπαραγωγές αγελάδες οδήγησε σε ήπια ηπατική νόσο, η οποία εκδηλώθηκε με αύξηση της δραστηριότητας των ηπατικών ενζύμων (Diaz 2002). Η άμεση τοξικότητα ορισμένων φουμονισινών αποδίδεται στην ομόλογη δράση τους με φυσικούς ενδογενείς μεταβολίτες, γεγονός που είναι δυνατό να οδηγήσει στην αναστολή σημαντικών μεταβολικών λειτουργιών. Η φουμονισίνη B1 αναστέλλει τη δράση της σφιγγοσίνης N-ακετυλτρανσφεράσης, ενζύμου απαραίτητου για τον μεταβολισμό των λιπιδίων (Riley κ.ά. 1994α, Riley κ.ά. 1994β). Η επίδραση των φουμονισινών στο μεταβολισμό των σφιγγολιπιδίων έχει αποδειχθεί σε όλους τους ιστούς στόχους, εκτός από τον εγκέφαλο (Gelderbrom κ.ά. 1992, Riley κ.ά. 1993).

Πρόληψη της παρουσίας μυκοτοξινών και της πρόκλησης μυκοτοξινώσεων

Μέτρα πρόληψης και αντιμετώπισης των μυκοτοξινώσεων θεωρούνται απολύτως απαραίτητα εξαιτίας των σοβαρών επιπτώσεών τους στην υγεία των ζώων, αλλά και του ανθρώπου. Η διατροφή των ζώων, που αποτελεί τη βάση για τις αποδόσεις τους και τις οικονομικές απολαβές των κτηνοτρόφων, θα πρέπει να αντιμετωπίζεται πάντοτε και υπό το πρίσμα των πιθανών επιπτώσεων στην ποιότητα των τροφίμων ζωικής προέλευσης. Κεντρικό ρόλο σε οποιοδήποτε πρόγραμμα καταπολέμησης των μυκοτοξινών έχει ο επιστημονικός σύμβουλος

της εκτροφής (κτηνίατρος, γεωπόνος, ζωοτέχνης), που οφείλει να ενημερώνει και να πείθει τον κτηνοτρόφο για την έκταση και τη σοβαρότητα των προβλημάτων που μπορούν να προκληθούν από τις επιλογές του. Δυστυχώς, η ελληνική πραγματικότητα δείχνει απογοητευτική στον τομέα της πρόληψης των μυκοτοξινώσεων.

Γενικά, η προσβολή των σιτηρών από τους μύκητες και τις μυκοτοξίνες τους μπορεί να αποφευχθεί με εφαρμογή ορθής πρακτικής στους τόπους καλλιέργειας, καθώς και με επιλογή ποικιλιών που είναι περισσότερο ανθεκτικές στην προσβολή από μύκητες. Κατά την παραγωγή και την αποθήκευση των ζωοτροφών θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα ώστε οι παράγοντες που ευνοούν την ανάπτυξη των μυκήτων (θερμοκρασία, υγρασία, οξυγόνο) να μειωθούν στο ελάχιστο. Τέτοια μέτρα είναι τα ακόλουθα:

Συγκομιδή των σιτηρών στην περίοδο κατά την οποία η περιεκτικότητα των καρπών σε υγρασία αποτρέπει ή περιορίζει την ανάπτυξη μυκήτων.

Τεμαχισμός των καρπών σε κατάλληλο μέγεθος, ώστε να μειώνεται η επιφάνεια έκθεσής τους στους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Ταχεία πλήρωση των σιλό, ώστε να προλαμβάνεται η δράση των περιβαλλοντικών παραγόντων.

Κάλυψη των σιλό προκειμένου να μειωθεί η έκθεση των ζωοτροφών στο οξυγόνο.

Κατάλληλη συσκευασία των ζωοτροφών (Diaz 2002).

Κατά καιρούς έχουν καταβληθεί προσπάθειες για την πρόληψη της προσβολής των τροφών από μυκοτοξίνες. Στην Κύπρο (1992-1996), έγιναν προσπάθειες ώστε να τηρούνται οι κατάλληλες συνθήκες αποθήκευσης των ζωοτροφών, να ελέγχονται οι παραγόμενες αλλά και οι εισαγόμενες ζωοτροφές και να καταστρέφονται εκείνες στις οποίες οι συγκεντρώσεις της αφλατοξίνης ξεπερνούσαν τα ανώτατα όρια. Τέτοια μέτρα αποδείχθηκαν αποτελεσματικά, παρότι υπήρξαν περιπτώσεις ανίχνευσης μικρών συγκεντρώσεων αφλατοξινών, γεγονός που επιτάσσει την ανάγκη για συνεχή έλεγχο και έρευνα γύρω από το πρόβλημα (Ιοαννου-Κακουρί κ.ά. 1999). Στην Ελβετία ο έλεγχος των πρώτων υλών για την παρασκευή συμπτυκνωμένων ζωοτροφών είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των συγκεντρώσεων της αφλατοξίνης B1 σε διάστημα 3 ετών. Ανάλογη και αναμενόμενη ήταν και η μεί-

ωση της συγκέντρωσης της αφλατοξίνης M1 στο γάλα (Huni κ.ά. 1990).

Αντιμετώπιση της παρουσίας μυκοτοξινών και της πρόκλησης μυκοτοξινώσεων

Το σημαντικότερο πρόβλημα, που υφίσταται σε σχέση με τις μυκοτοξίνες, σε συνθήκες καθημερινής διαχείρισης μιας εκτροφής, αποτελεί το γεγονός ότι η παρουσία τους στις ζωοτροφές και η πρόκληση μυκοτοξινώσεων δεν γίνονται εύκολα και πάντοτε αντιληπτές από τους κτηνοτρόφους. Η προσβολή των ζωοτροφών από μύκητες και η παραγωγή μυκοτοξινών μπορεί να ξεκινήσουν πολύ πριν την εμφανή αλλοίωση των ζωοτροφών. Κατά συνέπεια, οι προσβλημένες ζωοτροφές χορηγούνται στα ζώα, χωρίς τη λήψη συγκεκριμένων μέτρων. Ο συχνός έλεγχος ορισμένων παραμέτρων στην καθημερινή πράξη από τους εκτροφείς ή/και τους συμβούλους των εκτροφών κρίνεται επιβεβλημένος. Βασικές αρχές που πρέπει να εφαρμόζονται για τη διαπίστωση και αντιμετώπιση των μυκοτοξινώσεων είναι οι ακόλουθες:

Η αναζήτηση γενικών συμπτωμάτων στα ζώα.

Ο αποκλεισμός άλλων πιθανών αιτιών (διατροφή, νοσήματα, κακή διαχείριση, κ.λπ.), που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στα ίδια συμπτώματα με τις μυκοτοξινώσεις.

Ο εργαστηριακός έλεγχος των ζωοτροφών για μυκοτοξίνες.

Η απομάκρυνση του προσβλημένου σιτηρεσίου.

Η αύξηση της περιεκτικότητας του σιτηρεσίου σε θρεπτικά συστατικά (πρωτεΐνες, λίπη, βιταμίνες, ιχνοστοιχεία και αντιοξειδωτικές ουσίες κ.ά.).

Η αποφυγή χορήγησης τροφής που περιέχει μυκοτοξίνες ιδιαίτερα στα ευαίσθητα ζώα (νεογνά, κνοφορούντα και ευαίσθητα είδη) (Diaz 2002).

Η προσπάθεια απαλλαγής από τις μυκοτοξίνες όταν αυτές έχουν ανιχνευθεί στις ζωοτροφές.

Για την απαλλαγή των ζωοτροφών από τις μυκοτοξίνες έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι, οι οποίες διακρίνονται σε φυσικές, χημικές και βιολογικές.

Οι φυσικές μέθοδοι περιλαμβάνουν κυρίως τον καθαρισμό, το πλύσιμο, το διαχωρισμό της προσβλημένης από τη μη προσβλημένη ζωοτροφή και ακολούθως τη θερμική επεξεργασία της

προσβλημένης. Η επιτυχία μιας τέτοιας επεξεργασίας εξαρτάται από το μέγεθος του φορτίου μυκοτοξινών που φέρουν οι ζωοτροφές (Charmley κ.ά. 1995). Αυτό διαπιστώθηκε και από μελέτες στις οποίες επιτεύχθηκε σημαντική μείωση των επιπέδων της δεοξυνιβαλενόλης στην τροφή των χοίρων με καθαρισμό και επεξεργασία αλλά δεν αποκλείστηκε η πιθανότητα πρόκλησης τοξίνωσης (Patterson και Young 1992, Patterson και Young 1993). Ο διαχωρισμός των προσβλημένων από τις μη προσβλημένες ζωοτροφές αποτελεί τη φυσική μέθοδο που βρίσκει τη συχνότερη εφαρμογή στην καθημερινή πράξη.

Οι χημικές μέθοδοι περιλαμβάνουν κυρίως τη χρήση χημικών ουσιών για την εξουδετέρωση των μυκοτοξινών. Από τις χημικές ουσίες, που δοκιμάστηκαν σε ποικιλία ζωοτροφών, μερικές μόνο αποδείχτηκαν αποτελεσματικές και χρησιμοποιούνται στην πράξη. Για παράδειγμα, η αμμωνία μπορεί να μειώσει σε σημαντικό βαθμό τη συγκέντρωση της αφλατοξίνης στις ζωοτροφές και κατά συνέπεια τη συγκέντρωσή της στους διάφορους ιστούς του σώματος των ζώων (Park κ.ά. 1988, Hoogenboom κ.ά. 2001) και ως μέθοδος θεωρείται αποτελεσματική και φθηνή. Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να ελαχιστοποιηθεί η συγκέντρωση της αφλατοξίνης M1 στο γάλα αγελάδων σε πολύ μεγάλο ποσοστό (Bailey κ.ά. 1994). Σε μερικές περιπτώσεις, οι φυσικές και οι χημικές μέθοδοι συνδυάζονται για την επίτευξη καλύτερου αποτελέσματος.

Στις βιολογικές μεθόδους ανήκουν κυρίως η προσθήκη αναστολέων των μυκήτων καθώς και η προσθήκη δεσμευτικών παραγόντων, που μειώνουν την απορρόφηση των μυκοτοξινών από το γαστρεντερικό σωλήνα. Ως δεσμευτικοί παράγοντες χρησιμοποιούνται διάφορες ουσίες, με κυριότερες το μπεντονίτη, το ζεόλιθο και το HSCAS (*Hydrated Sodium Calcium AluminoSilicate*) (Charmley κ.ά. 1995). Το HSCAS δεσμεύει την αφλατοξίνη B1 και μειώνει την απορρόφηση της από το γαστρεντερικό σωλήνα. Η προσθήκη HSCAS σε αναλογία 4% στην τροφή αιγών, που λάμβαναν 200 ppb αφλατοξίνης B1, είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της απέκκρισης της αφλατοξίνης M1 στο γάλα κατά 86,9% (Smith κ.ά. 1994).

Παραπέρα, πολλές μελέτες πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την ελαχιστοποίηση της δράσης των μυκοτοξινών και οι οποίες αφορούν στη χορήγηση ορισμένων ουσιών μαζί με την τροφή και στην ικανότητα συγκεκριμένων μικροοργανισμών

να δεσμεύουν ορισμένες τοξίνες. Οι περισσότεροι χαρακτηριστικές έρευνες αφορούν στις αφλατοξίνες, για αυτό παρακάτω, πραγματοποιείται αναφορά σε σχετικές μελέτες. Για παράδειγμα, αγελάδες που έλαβαν αφλατοξίνη B1 σε συνδυασμό με φαινοβαρβιτάλη, παρουσίασαν μείωση της απέκκρισης της αφλατοξίνης M1 στο γάλα, σε ποσοστό μεγαλύτερο από 50% (McGrew κ.ά. 1982). Επιπλέον, βρέθηκε ότι η ολιπράξη εμποδίζει το μεταβολισμό της αφλατοξίνης B1 σε M1 από τα ηπατικά κύτταρα των βοοειδών (Kuilmann κ.ά. 2000). Ακόμη, φαίνεται ότι η βιταμίνη E μπορεί να μειώσει την επίδραση της αφλατοξίνης στη στεροειδογένεση, αφού η χορήγηση συμπληρωματικής ποσότητας βιταμίνης E με την προσβλημένη τροφή συνέβαλε στην αύξηση των συγκεντρώσεων της τεστοστερόνης στο αίμα (Verma και Nair 2002).

Επιπλέον, βρέθηκε ότι οι αφλατοξίνες είναι δυνατό να δεσμεύονται και να μεταβολίζονται από συγκεκριμένους μικροοργανισμούς, γεγονός που μπορεί να αποβεί ευεργετικό σε αρκετές περιπτώσεις. Οι Pierides κ.ά. (2000) υποστήριξαν ότι ορισμένα είδη οξυγαλακτικών βακτηρίων έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν την αφλατοξίνη M1 και κατά συνέπεια να ελαττώνουν τη συγκέντρωσή της στο γάλα και έμμεσα στα παράγωγά του. Η δυνατότητα αυτή θα μπορούσε να αποδειχθεί χρήσιμη στην απαλλαγή των γαλακτοκομικών προϊόντων από τη M1 ή τουλάχιστον, στη μείωση της συγκέντρωσής της σε αυτά. Σε παρόμοια μελέτη βρέθηκε ότι οξυγαλακτικά βακτήρια των ειδών *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* και *Lactococcus* μπορούν να δεσμεύουν την αφλατοξίνη B1 σε ικανοποιητικά ποσοστά (Peltonen κ.ά. 2001). Μάλιστα η δεσμευτική ικανότητα του *Lactobacillus* μπορεί να αυξηθεί όταν το βακτήριο αυτό υποστεί διάφορες φυσικοχημικές εξεργασίες, όπως η προσθήκη υδροχλωρικού οξέος ή η θερμική επεξεργασία (El-Nezami κ.ά. 1998α). Επίσης, έχει διαπιστωθεί ότι η δέσμευση της αφλατοξίνης B1 από τον *Lactobacillus* εξαρτάται από τη θερμοκρασία και από το βακτηριακό πληθυσμό (El-Nezami κ.ά. 1998β). Σε άλλη μελέτη, αποδείχτηκε ότι η αφλατοξίνη B1 δεσμεύεται από *Bifidobacterium*, *Staphylococcus aureus* και *Escherichia coli*, μικροοργανισμούς που αποτελούν μέρος της φυσιολογικής μικροβιακής χλωρίδας του εντέρου του ανθρώπου. Η δέσμευση της B1 από αυτούς εμποδίζει την απορρόφηση της από τον εντερικό σωλήνα (Oatley κ.ά. 2000).

Prevention and control methods for mycotoxins

Georgios D. Kourousekos*

ABSTRACT

Mycotoxins (most common among them are: aflatoxins, ochratoxin, deoxynivalenol, zearalenone, fougmonisins) constitute toxic metabolites of certain species of fungi. Mycotoxin consumption by animals or humans, can lead to pathologic conditions (mycotoxicoses) presenting various effects. Mycotoxins act directly or after having been metabolised in other toxic substances. The liver constitutes the organ where mycotoxins can mainly be metabolised, whereas kidneys and rumen could play the same role. Because of the serious problems derived from mycotoxin consumption, courses of action, regarding prevention and control, are considered absolutely essential. Generally, the cereals invasion by the fungi could be avoided by cultivating fungi-resistant plants, as well as by eliminating the environmental factors that could favour fungi growth (e.g. cereals harvesting at the right time or cereals appropriate chopping, etc). Various methods have been developed regarding the elimination of mycotoxin concentration from feedstuffs. Such methods are natural (e.g contaminated feedstuff separation from not contaminated), chemical (e.g. ammoniation) and biological. As for the biological methods, the addition in feedstuffs of fungi inhibitory substances has been used, as well as the addition of substances that could bind mycotoxins, decreasing their absorption by the gastrointestinal tract. Such substances are bentonite, zeolith and HSCAS. The administration of certain substances, such as oltipraz or the ability of some micro-organisms (e.g. lactic acid bacteria) to bind mycotoxins have also been studied.

Key words: mycotoxins, mycotoxicoses, prevention, control

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bailey GS, Price RL, Park DL, Hendricks JD (1994) Effect of ammoniation of aflatoxin B1-contaminated cottonseed feedstock on the aflatoxin M1 content of cows' milk and hepatocarcinogenicity in the trout bioassay. *Food Chem Toxicol*, 32 (8): 707-715
- Blankenship LT, Dickey JF, Bodine AB (1982) In vitro mycotoxin binding to bovine uterine steroid hormone receptors. *Theriogenology*, 17: 325-329
- Charmley LL, Trenholm HL, Prelusky DB (1995) Mycotoxins: their origin, impact and importance: insights into common methods of control and elimination, *Biotechnology in the Feed Industry*, Proceedings of Altech's Eleventh Annual Symposium: edited by Lyons & Jacques, 1995, pp 41-63
- Creppy EE (2002) Update of survey, regulation and toxic effects of mycotoxins in Europe. *Toxicology Letters*, 127: 19-28
- Creppy EE, Baudrimont I, Betbeder AM (1995) Prevention of nephrotoxicity of ochratoxin A, a food contaminant. *Toxicol Letters*, 83: 869-877
- Diaz DE (2002) Unravelling the mystery of mycotoxins: novel solutions to counteract them. In: *Harnessing Nature, Practical Applications of Natural Technologies*, Proceedings from Alltech's 17th European, Middle Eastern and African Lecture Tour, pp 10-18
- Diekmann MA, Green ML (1992) Mycotoxins and Reproduction in Domestic Livestock. *J Anim Sci*, 70: 1615 - 1627
- El-Nezami H, Kankaanpaa P, Salminen S, Ahokas J (1998α) Ability of dairy strains of lactic acid bacteria to bind a common food carcinogen, aflatoxin B1. *Food Chem Toxicol*, 36: 321-326
- El-Nezami H, Kankaanpaa P, Salminen S, Ahokas J (1998β) Physicochemical alterations enhance the ability of dairy strains of lactic acid bacteria to remove aflatoxin from contaminated media. *J Food Prot*, 61 (4): 466-468
- Fernandez A, Belio R, Ramos JJ, Sanz MC, Saez T (1997) Aflatoxins and their metabolites in the tissues, faeces and urine from lambs feeding on an aflatoxin-contaminated diet. *J Sci Food Agric*, 74: 161-168
- Gelderbroem WC, Marasas WFO, Vleggar R, Thiel

* *PhD, Faculty of Veterinary Medicine, Aristotle University of Thessaloniki, Greece*

- PG, Cawood ME (1992) Fumonisin: isolation, chemical characterisation and biological effects. *Mycopathologia*, 117: 11-16
- Helferich WG, Baldwin RL, Hsieh DP (1986) 14C-aflatoxin B1 metabolism in lactating goats and rats. *J Anim Sci*, 62 (3): 697-705
- Hoogenboom LA, Tulliez J, Gautier JP, Coker RD, Melcion JP, Nagler MJ, Polman TH, Delort-Laval J (2001) Absorption, distribution and excretion of aflatoxins-derived ammoniation products in lactating cows. *Food Addit Contam*, 18 (1): 47-58
- Huni K, Schneider J, Zanetti G, Rihs T (1990) Survey of aflatoxin content in Swiss concentrate feeds for dairy cattle. *J Environ Pathol Toxicol Oncol*, 10 (3): 160-161
- International Agency for Research on Cancer (IARC) (1993α) Ochratoxin A. In: IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: some naturally occurring substances; food items and constituents, heterocyclic aromatic amines and mycotoxins, Vol 56. IARC, Lyon, pp 489-521
- International Agency for Research on Cancer (IARC) (1993β) Toxins derived from *Fusarium graminearum*, *F. culmorum* and *F. crookwellense*: zearalenone, deoxynivalenol, nivalenol and fusarenone X. In: IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: some naturally occurring substances, food items and constituents, heterocyclic aromatic amines and mycotoxins, Vol. 56. IARC, Lyon, pp 397-444
- Ioannou-Kakouri E, Aletrari M, Christou E, Hadjiannou-Ralli A, Koliou A, Akkelidou D (1999) Surveillance and control of aflatoxins B1, B2, G1, G2, and M1 in foodstuffs in the Republic of Cyprus: 1992-1996. *J AOAC Int*, 82 (4): 883-892
- Katzenellenbogen BS, Katzenellenbogen JA, Mordecai D (1979) Zearalenones: Characterization of the estrogenic potencies and receptor interactions of a series of fungal β -resocyclic acid lactones. *Endocrinology*, 105: 33-40
- Kiessling KH, Pettersson H, Sandholm K, Olsen M (1984) Metabolism of aflatoxin, ochratoxin, zearalenone, and three trichothecenes by intact rumen fluid, rumen protozoa, and rumen bacteria. *Appl Environ Microbiol*, 47 (5): 1070-1073
- Kollarczik B, Gareis M, Hanelt M (1994) In vitro transformation of the *Fusarium* mycotoxins, deoxynivalenol and zearalenone by the normal gut microflora of pigs. *Natural toxins*, 2: 105-110
- Κουρουσέκος Γ, Μπρόζος Χ, Σαράτης Φ, Μπόσκος Κ (2006) Ο ρόλος των μυκοτοξινών στην κτηνοτροφία. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*, σειρά VI, 17 (2): 61-68
- Krogh P (1992) Role of ochratoxin in disease causation. *Fd Chem Toxicol*, 30: 213-224
- Kuilman ME, Maas RF, Woutersen-van Nijnanten FM, Fink-Gremmels J (2000) Inhibition of aflatoxin M1 production by bovine hepatocytes after intervention with oltipraz. *Vet Q*, 22 (1): 30-35
- Kyrein HJ (1974) The binding affinity of aflatoxins on the uterine oestrogen receptor. *Z Lebensm Unters Forsch*, 154: 285-287
- Madsen A, Mortensen AP, Hald B (1982) Feeding experiments with ochratoxin A contaminated barley for bacon pigs. I. Influence on pigs performances and residues. *Acta Agric Scand*, 32: 225-239
- McGrew PB, Barnhart HM, Mertens DR, Wyatt RD (1982) Some effects of Phenobarbital dosing of dairy cattle on aflatoxins M1 and fat in milk. *J Dairy Sci*, 65: 1227-1233
- Neal GE, Eaton DL, Judah DJ, Verma A (1998) Metabolism and toxicity of aflatoxins M1 and B1 in human-derived in vitro systems. *Toxicol Appl Pharmacol*, 151: 152-158
- Oatley JT, Rarick MD, Ji GE, Linz JE (2000) Binding of aflatoxin B1 to bifidobacteria in vitro. *J Food Prot*, 63 (8): 1133-1136
- Park DL, Lee LS, Price RL, Pohland AE (1988) Review of the decontamination of aflatoxins by ammoniation: current status and regulations. *J Assoc Off Anal Chem*, 71: 685-703
- Patterson R, Young LG (1992) Using NovasilR to alleviate the effects of vomitoxin in moldy corn diets. *Ontario Swine Research Review*. O. A. C. Publication No. 0292: 18
- Patterson R, Young LG (1993) Efficacy of hydrated sodium-calcium aluminosilicate, screening and dilution in reducing the effects of mold contaminated corn in pigs. *Can J Anim Sci*, 73: 615-6624
- Peltonen K, El-Nezami H, Haskard C, Ahokas J, Salminen S (2001) Aflatoxin B1 binding by dairy strains of lactic acid bacteria and Bifidobacteria. *J Dairy Sci*, 84: 2152-2156
- Pierides M, El-Nezami H, Peltonen K, Salminen S, Ahokas J (2000) Ability of dairy strains of lactic acid bacteria to bind aflatoxin M1 in a food model. *J Food Prot*, 63 (5): 645-650

- Riley RT, An NY, Showker JL, Yoo HS, Norred WP, Chamberlain WJ, Wang E, Merrill AH, Motelin G, Beasley VR, Haschek VM (1993) Alteration of tissue and serum sphinganine to sphingosine ratio: an early biomarker of exposure to fumonisin-containing feeds in pigs. *Toxicol Appl Pharm*, 118: 105-112
- Riley RT, Hinton DM, Chamberlain WJ, Bacon CW, Wang E, Merrill AH, Voss KA (1994α) Dietary fumonisin B1 induces disruption of sphingolipid metabolism in Sprague-Dawley rats: a new mechanism of nephrotoxicity. *Journal of Nutrition*, 124: 594-603
- Riley RT, Wang E, Merrill AH (1994β) Liquid chromatographic determination of sphinganine and sphingosine: use of free sphinganine to sphingosine ratio as a biomarker for consumption of fumonisins. *J Assoc Off Anal Chem Int*, 77: 533-540
- Smith EE, Phillips TD, Ellis JA, Harvey RB, Kubena LF, Thompson J, Newton G (1994) Dietary hydrated sodium calcium aluminosilicate reduction of aflatoxin M1 residue in dairy goat milk and effects on milk production and components. *J Anim Sci*, 72 (3): 677-682
- Stubblefield RD, Pier AC, Richard JL, Shotwell OL (1983) Fate of aflatoxins in tissues, fluids, and excrements from cows dosed orally with aflatoxin B1. *Am J Vet Res*, 44 (9): 1750-1752
- Verma RJ, Nair A (2002) Effect of aflatoxins on testicular steroidogenesis and amelioration by vitamin E. *Food Chem Toxicol*, 40 (5): 669-672

Γλυκοαλκαλοειδή της πατάτας: Δομή, μεταβολισμός, κατανομή στο φυτό, τοξικότητα και παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωσή τους

Φωκίων Παπαθανασίου¹, Κων/νος Ποδηματάς² και Φώτιος Γραβάνης²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα γλυκοαλκαλοειδή (glycoalkaloids, GAs) αποτελούν φυσικές τοξίνες το μόριο των οποίων αποτελείται από ένα άγλυκο τμήμα (στεροειδές αλκαλοειδές) ενωμένο με ένα ή περισσότερα σάκχαρα. Απαντώνται σε μεγάλο αριθμό ειδών της οικογένειας *Solanaceae*, συσσωρεύονται σε όλα σχεδόν τα φυτικά όργανα και εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις σε νεαρούς ιστούς με υψηλή μεταβολική δραστηριότητα. Στις εμπορικές ποικιλίες πατάτας (*Solanum tuberosum* L.) απαντώνται κυρίως η α-σολανίνη και η α-χακονίνη, τριγλυκοζίτες οι οποίοι απαρτίζονται από 27 άτομα C και περιλαμβάνουν το ίδιο άγλυκο τμήμα τη σολανιδίνη, αλλά διαφέρουν στον τύπο του υδατανθρακικού τμήματος. Η τοξικότητα των γλυκοαλκαλοειδών αποδίδεται στην ικανότητα τους να παρεμποδίζουν τη δράση της χοληνεστεράσης καθώς επίσης και στην ικανότητα λύσης των μεμβρανών των κυττάρων κυρίως του γαστρεντερικού συστήματος. Για το λόγο αυτό έχουν καθορισθεί όρια ασφαλείας όσον αφορά στη συγκέντρωση των γλυκοαλκαλοειδών, χωρίς ωστόσο να καλύπτονται όλες οι περιπτώσεις. Στην παρούσα ανασκόπηση, παρέχονται πληροφορίες σχετικές με τη βιοσύνθεση, το μεταβολισμό, την κατανομή, το ρόλο των γλυκοαλκαλοειδών στους φυτικούς ιστούς, αλλά και την επίδραση ορισμένων παραγόντων στη συγκέντρωσή τους. Καταγράφονται επίσης οι διαφορετικές απόψεις που αφορούν στην τοξικότητα των ουσιών αυτών, με έμφαση στην ασφαλή κατανάλωση των τροφών που τις περιέχουν.

Λέξεις κλειδιά: πατάτα, *Solanum tuberosum*, γλυκοαλκαλοειδή, σολανίνη, χακονίνη, σολανιδίνη, τοξικότητα, ασφάλεια διατροφής, περιβάλλον, καταπόνηση, μέγεθος κονδύλου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πατάτα (*Solanum tuberosum* L. ssp. *tuberosum*) καλλιεργείται στο 80% των χωρών του κόσμου με ετήσια παραγωγή περίπου 326 εκατομμύρια τόνους το 2007. Η υψηλού δυναμικού ευρωπαϊκή παραγωγή αποτελεί το 40% της παγκόσμιας. Η πατάτα αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές καλλιέργειες και μια εξοχική πηγή θρεπτικών συστατικών με χαμηλό κόστος παραγωγής (FAO 2008). Στις αναπτυγμένες χώρες παρατηρείται μια μικρή ύφεση στην κατανάλωση νωπής πατάτας (ετήσια κατανάλωση στην Ευρώπη 94,2 Kg/άτομο) που όμως συνοδεύεται από σημαντική αύξηση της κατανάλωσης προϊόντων της που έχουν προέλθει από βιομηχανική επεξεργασία, όπως πατατάκια, προ-

τηγανισμένη, προμαγειρευμένη και σε κονσέρβες.

Μέση κατανάλωση πατάτας 250 g/ημέρα εξασφαλίζει μια θαυμάσια πηγή ενέργειας, καλύπτει περίπου το ένα τέταρτο των ημερήσιων αναγκών σε βιταμίνη C και παρέχει σημαντικές ποσότητες ανόργανων στοιχείων όπως το ασβέστιο, το κάλιο και ο φώσφορος (Friedman et al. 2003). Εν τούτοις, ένα σημαντικό μειονέκτημα της πατάτας ως τροφής αποτελεί η συγκέντρωση ορισμένων τοξικών δευτερογενών μεταβολιτών, γνωστών ως γλυκοαλκαλοειδή (GAs). Τα GAs εντοπίζονται σε όλα τα όργανα των περισσότερων φυτών της οικογένειας *Solanaceae*, με σημαντικούς εκπροσώπους τα καλλιεργούμενα, πατάτα (*Solanum tuberosum* L.), τομάτα (*Lycopersicon esculentum*) και

¹ ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής

² ΤΕΙ Λάρισας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής

μελιτζάνα (*Solanum melongela*). Οι κόνδυλοι της βρώσιμης πατάτας περιέχουν συνήθως μικρές ποσότητες α-σολανίνης και α-χακονίνης (γλυκοζίτες της σολανιδίνης), που δεν αποτελούν κίνδυνο για την υγεία του καταναλωτή. Ωστόσο, ορισμένοι παράγοντες καταπόνησης, αλλά και τραυματισμοί κατά την διάρκεια των μετασυλλεκτικών χειρισμών, μπορεί να προκαλέσουν *de novo* σύνθεση και αύξηση της συγκέντρωσής τους σε ανεπιθύμητα υψηλά επίπεδα (Paparathanasiou et al. 1999α). Συγκεκριμένα, έχουν αναφερθεί πολλοί θάνατοι και οξείες δηλητηριάσεις τόσο ανθρώπων όσο και ζώων, μετά την κατανάλωση κονδύλων με υπερβολικές συγκεντρώσεις γλυκοαλκαλοειδών (van Gelder 1990). Συγκεντρώσεις GAs υψηλότερες των 14 mg ανά 100 g νωπού βάρους (NB), προσδίδουν πικρή γεύση στους κονδύλους (Zitnak and Filadelfi 1985). Ωστόσο, ως αμυντικοί μεταβολίτες, προσδίδουν ανθεκτικότητα έναντι ορισμένων παθογόνων (Tingey 1984), και παρουσιάζουν τοξικότητα έναντι εμβρύων θηλαστικών (Friedman et al. 1992). Κατά το παρελθόν, ορισμένες ποικιλίες πατάτας, όπως η Lenape (ΗΠΑ) και Magnum Bonum (Σουηδία) αποσύρθηκαν από την αγορά, λόγω των εξαιρετικά υψηλών συγκεντρώσεων GAs στους κονδύλους, με αποτέλεσμα την πρόκληση δηλητηριάσεων σε καταναλωτές (Zitnak and Johnson 1970, Norberg 1987). Η συγκέντρωση των GAs διαφέρει σημαντικά μεταξύ διαφορετικών ποικιλιών (van Dam et al. 1999) ενώ οι περιβαλλοντικές καταπονήσεις μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τη συγκέντρωση της α-σολανίνης και α-χακονίνης (Dimenstein et al. 1997, Paparathanasiou et al. 1999β). Επίσης, ακατάλληλοι χειρισμοί κατά την συγκομιδή και τις συνθήκες αποθήκευσης μπορεί να οδηγήσουν σε ανεπιθύμητα υψηλά επίπεδα αυτών των ουσιών (Percival et al. 1996, Griffiths et al. 1997).

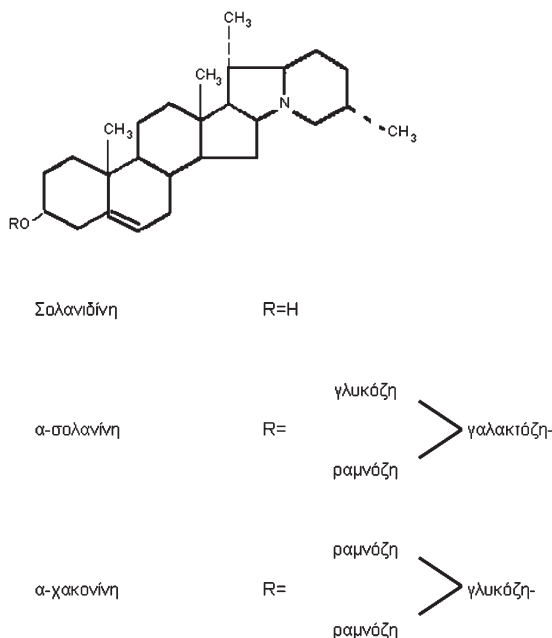
Σύμφωνα με τα παραπάνω, η μελέτη των διατροφικών, τοξικολογικών και φυσιολογικών ιδιοτήτων των GAs της πατάτας παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, κυρίως όσον αφορά την ασφάλεια και ποιότητα των τροφίμων. Σκοπός της παρούσας ανασκόπησης είναι η σύντομη καταγραφή των σημαντικότερων πληροφοριών που αφορούν στη δομή, στο μεταβολισμό, στον εντοπισμό τους σε επίπεδο ιστών και οργάνων, στην τοξικότητα των GAs αλλά και στους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη συγκέντρωσή τους.

2. ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΜΟΡΙΟΥ ΤΩΝ GAs ΚΑΙ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΥΝΘΕΣΗΣ

Το άγλυκο τμήμα των μορίων τόσο της α-σολανίνης όσο και της α-χακονίνης, αποτελείται από το στεροει-

δές αλκαλοειδές σολανιδίνη που περιλαμβάνει 27 άτομα C. Τα δυο όμως GAs διαφέρουν στο υδατανθρακικό τους τμήμα, το οποίο συνδέεται μέσω γλυκοζιτικού δεσμού στο C-3 άτομο του στεροειδούς (Σχ.1). Το υδατανθρακικό τμήμα της α-σολανίνης αποτελείται από γλυκόζη, γαλακτόζη και ραμνόζη, ενώ της α-χακονίνης περιλαμβάνει γλυκόζη και δύο μόρια ραμνόζης.

Η πλειονότητα των άγριων ειδών *Solanum*, που χρησιμοποιούνται στη γενετική βελτίωση της πατάτας, περιέχει διαφορετικά GAs, σε διαφορετικές συγκεντρώσεις, με ευρύ φάσμα τοξικών δράσεων. Τουλάχιστον 90 δομικά διαφορετικά στεροειδή αλκαλοειδή έχουν ταυτοποιηθεί σε 350 είδη *Solanum*, σημαντικότερα των οποίων είναι η σολανιδίνη, η ντεμισιδίνη, η σολασοδίνη, η τοματιδενόλη και η τοματιδίνη (Friedman 2006, Kozukuc et al. 2008). Διασπασίσεις της καλλιιεργούμενης πατάτας με άγρια είδη *Solanum*, έχουν ως αποτέλεσμα γενετικές τροποποιήσεις στις νέες ποικιλίες πατάτας με δυνατότητα σύνθεσης γλυκοαλκαλοειδών διαφορετικών από αυτά που έχουν τη σολανιδίνη ως το κύριο άγλυκο συστατικό (van Gelder and Scheffer 1991), γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στα προγράμματα βελτίωσης στα οποία αξιοποιούνται άγρια είδη. Για παράδειγμα, η ποικιλία Lenape, η οποία είχε το είδος *S. chacoense* ως πρόγονο, αποσύρθηκε από το εμπόριο λόγω των πολύ υψηλών συγκεντρώσεων GAs (Zitnak and Johnston 1970).



Σχήμα. 1. Δομή του στεροειδούς αλκαλοειδούς σολανιδίνης.

νη και των κυριότερων γλυκοαλκαλοειδών της πατάτας, α-σολανίνη και α-χακονίνη.

Figure 1. Structure of the steroidal alkaloid solanidine and the principal potato glycoalkaloids α-solanine and α-chaconine.

3. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΝ

Τα GAs της πατάτας βρίσκονται σε όλα τα όργανα του φυτού και οι υψηλότερες συγκεντρώσεις τους ανιχνεύονται σε νεαρούς ιστούς με έντονη μεταβολική δραστηριότητα (Friedman 2006). Από τον Πίνακα I φαίνεται ότι τα φύτρα και τα άνθη περιέχουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις. Όσον αφορά την κατανομή τους μεταξύ υπέργειου και υπόγειου τμήματος, ορισμένες ποικιλίες με υψηλά επίπεδα στους κονδύλους περιέχουν επίσης υψηλά επίπεδα στα φύλλα, χωρίς ωστόσο αυτό να αποτελεί τον κανόνα (Sarquis et al. 2000). Φυσικά, από την πλευρά ενός βελτιωτή, το ιδανικό φυτό πατάτας θα έπρεπε να έχει υψηλές συγκεντρώσεις στα φύλλα, για προστασία από τα παθογόνα και τους εχθρούς και χα-

μηλές συγκεντρώσεις στους κονδύλους, για ασφαλή κατανάλωση (Ginzberg et al. 2009).

Το 60% της συνολικής συγκέντρωσης των GAs αποτελεί η α-χακονίνη, ενώ το υπόλοιπο 40% η α-σολανίνη. Τα ποσοστά αυτά κυμαίνονται ανάλογα με την ποικιλία και τον βαθμό ωρίμανσης (Morris and Petermann 1985). Οι συγκεντρώσεις των αμυντικών αυτών μεταβολιτών μειώνονται από την επιδερμίδα και προς το εσωτερικό του κονδύλου, ενώ οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εντοπίζονται σε μία μικρή στρώση κυττάρων (1-3 mm) ακριβώς κάτω από την επιδερμίδα, στις περιοχές του περιδέματος και του εξωτερικού παρεγχύματος (Wunsch 1989). Ελάχιστη ή μη ανιχνεύσιμη ποσότητα GAs εντοπίζεται στην εντεριώνη, ενώ μόνο ίχνη στην ενδιάμεση περιοχή (Kozukue et al. 1987).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η αφαίρεση της “φλούδας” απομακρύνει σημαντικές ποσότητες, που αποτελούν το 60-96% των ολικών GAs (Peksa et al. 2002). Εάν οι κόνδυλοι περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις, το ξεφλούδισμα αφαιρεί μόνο το 35% της συνολικής ποσότητας GAs (Hellenas et al. 1995).

Πίνακας I. Συγκεντρώσεις των συνολικών γλυκοαλκαλοειδών (TGA σε mg/kg NB) σε διαφορετικούς ιστούς και όργανα του φυτού της πατάτας (τροποποιημένο από Friedman and McDonald 1997).

Table I. Total glycoalkaloid content (TGA in mg/kg Fresh Weight) in different tissues and organs of the potato plant (modified from Friedman and McDonald 1997).

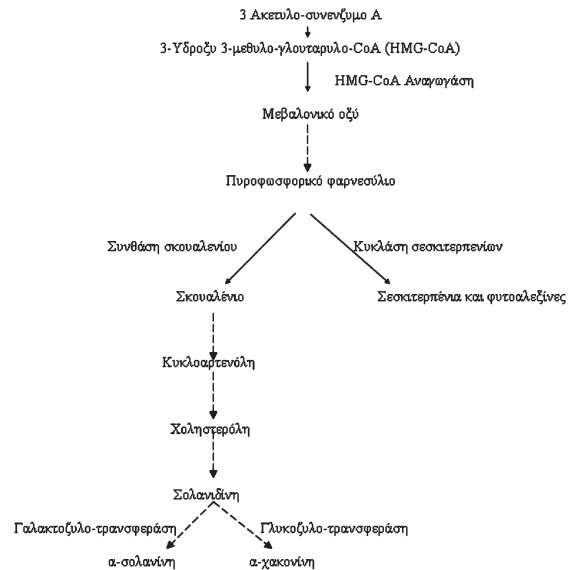
Φυτικός ιστός	Συγκέντρωση TGAs (mg/Kg FW)	Βιβλιογραφία
Ρίζες	180-400	Lampitt et al. 1943
Βλαστοί	23-71	Lampitt et al. 1943
Φύλλα	230-1000	Wood and Young 1974, Kozukue et al. 1987
Άνθη	2150-5000	van Gelder 1990, Lampitt et al. 1943
Καρπός	420	Lampitt et al. 1943
Φύτρα	1950-7300	van Gelder 1990, Kozukue and Mizuno 1989
Επιδερμίδα (2-3% κονδύλου)	300-640	Lampitt et al. 1943
Φλούδα (10-15% κονδύλου)	150-1068	van Gelder 1990, Lampitt et al. 1943
Σάρκα	12-100	Lampitt et al. 1943
Φλούδα+ οφθαλμός	300-500	Wood and Young 1974
Ολόκληρος κόνδυλος	10-150	van Gelder 1990
Κόνδυλοι με πικρή γεύση	250-800	Zitnak and Johnston 1970

4. ΒΙΟΣΥΝΘΕΣΗ ΤΩΝ GAs

Παρόλο που η βιοσυνθετική οδός των GAs δεν έχει διευκρινισθεί πλήρως, θεωρείται βέβαιο ότι ο ανθρακικός σκελετός του άγλυκου τμήματος (στεροειδές) συντίθεται μέσω της οδού του μεβαλονικού οξέος, που αποτελεί την κύρια οδό σύνθεσης τερπενίων, με πρόδρομο μόριο το ακετυλοσυνένζυμο A (Bergenstrahle et al. 1996, Arngvist et al. 2003). Η αναγωγή του 3-υδροξυ-3-μεθυλογλουταρυλο-συνενζύμου A (HMGR), καταλύει το πρώτο στάδιο στη βιοσύνθεση των τερπενίων (συμπεριλαμβανομένων και των GAs της πατάτας) μετατρέποντας το υδροξυμεθυλογλουταρυλοσυνένζυμο A σε μεβαλονικό οξύ (Σχ. 2). Το ένζυμο κωδικοποιείται από μια ομάδα γονιδίων, τα HMG1, HMG2 και HMG3 (Choi et al. 1992, Krits et al. 2007, Ginzberg et al. 2009). Ορισμένοι παράγοντες καταπόνησης, όπως τραυματισμοί και προσβολές παθογόνων επάγουν την έκφραση των γονιδίων αυτών, ωστόσο η επίδραση παρουσιάζεται εξειδικευμένη (Yoshioka et al. 1999, Kondo et al. 2003). Η συσσώρευση GAs μετά από τραυματισμό σχετίζεται με την επαγωγή έκφρασης του γονιδίου HMG1. Αντίστοιχα, το αραχιδονικό οξύ, το οποίο απελευθερώνεται από τον μύκητα *Phytophthora infestans*, προκαλεί επαγωγή της έκφρασης των γονιδίων HMG2 και HMG3, αύξηση της συγκέντρωσης σισκετερπενίων, τα οποία δρουν ως φυτοαλεξίνες και καταστολή της έκφρασης του γονιδίου HMG1 και μείωση της συγκέντρωσης των GAs (Choi et al. 1994). Πράγματι, οι Shih et al. (1973), είχαν παρατηρήσει ότι μόλυνση τμημάτων κονδύλου με *Phytophthora infestans* περιορίζει την συγκέντρωση GAs και προκάλεσε τη συσσώρευση της φυτοαλεξίνης ρισιτίνη. Επίσης, αύξηση της συγκέντρωσης της κυκλάσης των σεσκιτερπενίων με ταυτόχρονη μείωση της συνθάσης του σκουαλενίου παρατηρήθηκε μετά από προσβολή μυκήτων σε ιστό πατάτας (Zook and Kuc 1991). Τα πειράματα αυτά δείχνουν ότι πιθανόν η *de novo* παραγωγή GAs στοχεύει στην αντιμετώπιση φυτοφάγων, ενώ η *de novo* παραγωγή φυτοαλεξινών του τύπου των τερπενίων, στην αντιμετώπιση των παθογόνων.

Οι κόνδυλοι της πατάτας διαθέτουν τον κατάλληλο ενζυμικό εξοπλισμό τόσο για την προσθήκη των σακχάρων στο άγλυκο τμήμα, την γλυκοζυλο-τρανοσφεράση και την γαλακτοζυλο-τρανοσφεράση (Bergenstrahle et al. 1992, Moehs et al. 1997, McCue et al. 2007) όσο και για την αποικοδόμηση

των GAs (ραμνοζιδάση, γλυκοζιδάση και γαλακτοζιδάση). Οι Bushway et al. (1990) απομόνωσαν και χαρακτήρισαν ένα ένζυμο το οποίο συμμετέχει στην υδρόλυση των μορίων της ραμνοζης από την α-χακονίνη, μέσω της οποίας προκύπτει κυρίως β₁-χακονίνη και μικρή ποσότητα β₂-χακονίνης. Η συσσώρευση του άγλυκου τμήματος (σολανιδίνης) μετά από τραυματισμό των ιστών της πατάτας ενδεχομένως οφείλεται στη δράση υδρολυτικών ενζύμων (Zacharius et al. 1975). Θεωρείται πιθανό ότι η παραγωγή σολανιδίνης μετά από τραυματισμό οφείλεται στο γεγονός ότι τα αντίστοιχα ένζυμα εντοπίζονται σε διαφορετικά κύτταρα από αυτά που εντοπίζονται τα υποστρώματα και έτσι έρχονται σε επαφή μόνο μετά την καταστροφή της διαμερισματοποίησης.



Σχήμα 2. Σχηματική παρουσίαση της προτεινόμενης βιοσυνθετικής οδού των GAs της πατάτας (τροποποιημένο από Krits et al. 2007). Τα διακεκομμένα βέλη δείχνουν αρκετά ενζυματικά στάδια.

Figure 2. Schematic representation of proposed biosynthetic pathway of glycoalkaloids in potato (modified from Krits et al. 2007). Interrupted arrows represent several enzymatic steps.

Η γενετική τροποποίηση προσφέρει δυνατότητες για τη διαχείριση του μεταβολισμού των GAs σε διαγονιδιακά φυτά πατάτας. Οι Moehs et al. (1997) έδειξαν ότι με την κλωνοποίηση της γλυκοζυλο-τρανοσφεράσης της σολανιδίνης (SGT), του ενζύμου που καταλύει την γλυκοζυλίωση της σο-

λανιδίνης σε α-χακονίνη, παρέχεται η δυνατότητα αναστολής της δράσης του ενζύμου και περιορισμού στη βιοσύνθεση των GAs. Ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις η παρεμπόδιση σύνθεσης της α-σολανίνης συνοδεύεται από αυξημένη σύνθεση α-χακονίνης (Joyce et al. 1999, McCue et al. 2005). Η πιθανή γενετική τροποποίηση για χαμηλά επίπεδα GAs, θα οδηγήσει σε νέες χρήσεις για την πατάτα, όπως η χρησιμοποίηση των υπολειμμάτων από την επεξεργασία αμύλου για ζωοτροφή, αλλά και στην αύξηση των διαθέσιμων γενετικών πόρων για προγράμματα βελτίωσης, σε σχέση με την ανθεκτικότητα σε ασθένειες και έντομα (Yencho et al. 2000). Όμως, η εξέταση των γενετικά τροποποιημένων φυτών θα πρέπει να είναι σχολαστική, για την ανίχνευση αλλαγών σε άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά του φυτού.

5. ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΓΛΥΚΟΑΛΚΑΛΟΕΙΔΩΝ

Τα GAs της πατάτας αποτελούν ένα από τους πλέον τοξικούς παράγοντες όσο αφορά τη διατροφή (Hall 1992). Έχουν αναφερθεί πολλές περιπτώσεις οξείας ή λανθάνουσας δηλητηρίασης ανθρώπων λόγω κατανάλωσης βλαστημένων, πράσινων, ή τραυματισμένων κονδύλων ή άλλων τμημάτων του φυτού. Υπήρξαν πολυάριθμα, τεκμηριωμένα περιστατικά δηλητηρίασης από πατάτα, περιλαμβάνοντας 2000 άτομα και περίπου 30 θανάτους (όλες οι αναφορές συνοψίζονται από τον Van Gelder 1990). Ωστόσο, θεωρείται δεδομένο ότι ένας αριθμός δηλητηριάσεων εκλαμβάνονται λανθασμένα ως γαστρεντερίτιδα (Morris and Lee 1984).

Τα GAs παρουσιάζουν δυο τοξικές δράσεις. Η πρώτη αφορά στην παρεμπόδιση της χολινεστεράσης, που επηρεάζει το κεντρικό νευρικό σύστημα, με πρόκληση νευρολογικών διαταραχών. Η σολανιδίνη εμφανίζει μικρότερη ανασταλτική δράση έναντι της α-χακονίνης και της α-σολανίνης (Roddick 1989). Η δεύτερη δράση των GAs σχετίζεται με την ιδιότητά τους να συμπεριφέρονται ως σαπωνίνες, δηλαδή να αποδιατάσσουν τις μεμβράνες του γαστρεντερικού συστήματος (Roddick 1989). Τα GAs αλληλεπιδρούν με λιπώματα που περιέχουν χοληστερόλη, μεταβάλλοντας τις ιδιότητες των μεμβρανών (Keukens et al. 1995). Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται συνεργισμός μεταξύ της α-σολανίνης και α-χακονίνης (Roddick et al. 1992). Όμως, επειδή οι σχετικές μελέτες χρη-

σιμοποίησαν ως μοντέλα συστήματα λιπωμάτων, είναι δύσκολο να διευκρινισθεί εάν τα GAs αλληλεπιδρούν με παρόμοιο τρόπο στις μεμβράνες ζώντων κυττάρων.

Έρευνες με σημασμένα GAs σε πειραματόζωα, έδειξαν σημαντικές διαφορές ως προς την απορρόφηση και την αποβολή μεταξύ των ζωικών ειδών αλλά και μεταξύ της α-σολανίνης και α-χακονίνης (Groen et al. 1993). Η ενδοφλέβια χορήγηση σημασμένης σολανιδίνης σε ανθρώπους έδειξε πολύ αργούς ρυθμούς αποβολής, με χρόνο ημιζωής από 34 έως 68 ημέρες (Claringbold et al. 1982). Δόσεις μεταξύ 0,30 mg έως 1,25 mg TGA/kg σώματος, οι οποίες χορηγήθηκαν σε εθελοντές, δεν προκάλεσαν συμπτώματα οξείας δηλητηρίασης, παρά μόνο σε έναν εθελοντή, ο οποίος στη μεγαλύτερη δοσολογία παρουσίασε εμφανή γαστρεντερικά συμπτώματα (Mensinga et al. 2005). Ο αργός ρυθμός αποβολής και των δυο γλυκοαλκαλοειδών και η συσσώρευσή τους σε ανθρώπινα όργανα, υποδηλώνει ότι χρόνια έκθεση μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις.

Παρουσιάζει ενδιαφέρον το γεγονός ότι η τοξικότητα της α-χακονίνης μπορεί να είναι και μέχρι 10 φορές μεγαλύτερη από αυτή της α-σολανίνης. Η βιολογική δράση των GAs επηρεάζεται από τον τύπο του υδατανθρακικού τμήματος και τον αριθμό των μορίων των σακχάρων που είναι συνδεδεμένα με τη σολανιδίνη, ενώ η τοξικότητα μειώνεται μετά την απομάκρυνση των υδατανθράκων από τους τριγλυκοζίτες (Rayburn et al. 1994). Επίσης, αποτελέσματα σημαντικών ερευνών έχουν αναφερθεί στη συνεργιστικότητα και την αναλογία των GAs, που παίζουν σημαντικό ρόλο στη δράση και την τοξικότητά τους (Roddick et al. 1992, Roddick et al. 2001; Mandimika et al. 2007, Langkilde et al. 2009).

Οι μελέτες για την πιθανή πρόκληση τερατογένεσης από GAs έχουν να επιδείξουν αντικρουόμενα αποτελέσματα. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρήθηκε τερατογένεση σε θηλαστικά και σε μη-θηλαστικά είδη (Friedman et al. 1992, Friedman et al. 2003, Wang et al. 2005). Αντίθετα, σε άλλη μελέτη που αφορούσε στην επίδραση της α-χακονίνης σε ποντίκια που κυοφορούσαν, διαπιστώθηκε ότι τα GAs σε συγκεντρώσεις που συνήθως απαντώνται στις πατάτες, δεν αποτελούν κανένα κίνδυνο για τερατογένεση σε ανθρώπινα έμβρυα (Hellenas et al. 1992). Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι η α-σολανίνη και η α-χακονίνη

έχουν παρεμποδιστική δράση έναντι της ανάπτυξης διαφορετικών τύπων καρβινικών κυττάρων με σημαντική συνεργιστική δράση στην καταστροφή των κυττάρων (Friedman et al. 2005, Yang et al. 2006).

Επιτρεπόμενα όρια για τα GAs της πατάτας

Η συγκέντρωση των 20 mg/100 g NB είναι γενικά αποδεκτή ως το όριο ασφαλείας, όσον αφορά σε οξεία τοξικότητα, ωστόσο οι χρόνιες επιπτώσεις της α-σολανίνης και α-χακονίνης δεν έχουν αποσαφηνισθεί πλήρως. Λόγω των υψηλών διακυμάνσεων των επιπέδων των GAs σε ορισμένες ποικιλίες, τα οποία μπορεί και να ξεπεράσουν τα όρια ασφαλείας, ο Hellenas το 1994 πρότεινε ότι το ισχύον όριο ασφαλείας δεν μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητικό. Οι Ross et al. (1978) και οι Parnell et al. (1984) θεώρησαν την συγκέντρωση 6-7 mg/100 g NB, ως όριο για την επιλογή ποικιλιών για ανθρώπινη κατανάλωση.

Συμπερασματικά, οι προσπάθειες θα πρέπει να συνεχιστούν για τη μέτρηση της ασφάλειας των GAs μεμονωμένα και σε συνδυασμούς, που βρίσκονται σε διαφορετικές ποικιλίες πατάτας. Τα αποτελέσματα θα διαλευκάνουν πλήρως το μηχανισμό δράσης των GAs σε κυτταρικό επίπεδο και θα βοηθήσουν στην ανάπτυξη βελτιωμένων ποικιλιών, επιτρέποντας στους παραγωγούς και τους καταναλωτές να μειώσουν την περιεκτικότητα της ανθρώπινης διαίτας σε GAs. Επίσης θα πρέπει να συνεχιστεί η έρευνα για τη μείωση της σύνθεσης των GAs καταστέλλοντας τη δράση των ενζύμων και την έκφραση των γονιδίων που παίζουν σημαντικό ρόλο στη βιοσύνθεσή τους. Αυτό θα επιτρέψει τη δημιουργία ποικιλιών με χαμηλά επίπεδα σε GAs, χωρίς όμως να μειωθεί η πιθανή δράση αυτών των ουσιών εναντίον φυτοπαθογόνων.

6. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΩΝ GAs

Γενετική Παραλλακτικότητα

Η συγκέντρωση σε GAs είναι ένα γενετικά ελεγχόμενο χαρακτηριστικό με υψηλή πολυγονιδιακή κληρονομικότητα και μικρό αριθμό γονιδίων (Sanford et al. 1995, 1996, van Dam et al 1999). Στα είδη *Solanum* τα γονίδια για την παραγωγή των γλυκοαλκαλοειδών περιέχονται κυρίως στο χρωμόσωμα 1 (Hutvagner et al. 2001, Sorensen et al. 2008). Η συνολική συγκέντρωση των GAs δι-

αμορφώνεται κυρίως από δυο αλληλοεπιδρώσες τοποθεσίες χρωμοσωμάτων. Τα γονίδια που είναι υπεύθυνα για την παραγωγή του άγλυκου τμήματος διαφέρουν από τα γονίδια που είναι υπεύθυνα για τη γλυκοζιδίωσή τους (van Dam et al. 2003). Η ποιοτική και ποσοτική κληρονομικότητα της συγκέντρωσης των GAs είναι πολύπλοκη και όχι απόλυτα ξεκαθαρισμένη, ιδιαίτερα με τη συμμετοχή άγριων ειδών *Solanum* στα προγράμματα βελτίωσης. Όμως, οι έρευνες με τις νέες μοριακές στρατηγικές αναμένεται να δώσουν περισσότερα πολύτιμα αποτελέσματα.

Αξιολογήσεις εμπορικών ποικιλιών (Bintcliffe et al. 1982, Bhuva and Parnell 1983, Hellenas 1994, Sotelo and Serrano 2000, Eltayeb et al. 2003, Czopek et al. 2008) έχουν δείξει σημαντικές διαφορές στις συγκεντρώσεις των GAs. Οι διαφορές ανάμεσα στις ποικιλίες παραμένουν, ανεξαρτήτως χρόνου συγκομιδής και σταδίου ανάπτυξης των κονδύλων (Papathanasiou et al. 1999α).

Συγκρίσεις μεταξύ συμβατικών και γενετικά τροποποιημένων ποικιλιών πατάτας, κάτω από κανονικές συνθήκες ανάπτυξης, δεν έδειξαν καμία σημαντική διαφορά στην συγκέντρωση GAs (Esposito et al. 2002, Sanhoty et al. 2004). Ωστόσο, μετά από προσβολή από έντομα και ασθένειες παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης GAs σε γενετικά τροποποιημένες σειρές (Mathews et al. 2005) τονίζοντας την ανάγκη ελέγχου των γενετικά τροποποιημένων ποικιλιών πατάτας για GAs, κάτω από συνθήκες αγρού, καθώς στον επίσημο έλεγχο ασφαλείας δεν συμπεριλαμβάνεται η επίδραση καταπονήσεων στη συγκέντρωση ανεπιθύμητων τοξικών ουσιών.

Ηλιακή ακτινοβολία

Η διάρκεια και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την ανάπτυξη του φυτού επηρεάζει τη σύνθεση των GAs, με υψηλότερες συγκεντρώσεις σε εμπορικές ποικιλίες που αναπτύσσονται σε μακρές φωτοπεριόδους και σε υψηλές εντάσεις φωτισμού (Chungcharoen 1988, Nitithamyong et al. 1999). Σε άγρια είδη *Solanum* έχει αναφερθεί ποιοτική επίδραση της φωτοπεριόδου στη σύνθεση των GAs. Σε συνθήκες μακράς φωτοπεριόδου (φυσικό φως ημέρας), αυξάνονται τα επίπεδα γλυκοζιτών σολανιδίνης, αλλά σε συνθήκες βραχύτερης φωτοπεριόδου (12h), αυξάνονται τα επίπεδα άλλων γλυκοαλκαλοειδών (van Gelder and Scheffer 1991).

Η παρατεταμένη έκθεση των κονδύλων στο φως κατά τη διάρκεια της συγκομιδής, προκαλεί αύξηση στη συγκέντρωση των GAs η οποία εξαρτάται από την ποικιλία, την ένταση του φωτισμού και το χρόνο έκθεσης (Percival et al. 1993, Dale et al. 1993). Μεγαλύτερες αυξήσεις παρατηρούνται σε ανώριμους, σε σχέση με τους πιο ώριμους κονδύλους (Griffiths et al. 1994). Συνεπώς, η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία κατά την συγκομιδή μπορεί να αποτελεί σοβαρό πρόβλημα για τις πολύ πρώιμες ποικιλίες, των οποίων οι κόνδυλοι συγκομίζονται ανώριμοι.

Μετασυλλεκτική έκθεση των κονδύλων σε τεχνητό φωτισμό κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης ή της πώλησης στην αγορά, μπορεί επίσης να προκαλέσει περιορισμένη σύνθεση GAs, αλλά λόγω της μικρότερης έντασης φωτισμού οι αλλαγές δεν είναι εκτεταμένες όσο οι αυξήσεις μετά από έκθεση σε άπλετο ηλιακό φως (Uppal 1987, De Maine et al. 1988, Kaaber 1993, Percival et al. 1996, Edwards and Cobb 1999, Machado et al. 2007). Από τις παραπάνω μελέτες, καμία από τις ποικιλίες που εκτέθηκαν σε διαφορετικές εντάσεις τεχνητού φωτός δεν ξεπέρασαν το συνιστώμενο όριο ασφαλείας των 20 mg/ 100 g NB. Επίσης, έκθεση έγχρωμων κονδύλων σε πηγές τεχνητού φωτισμού δεν αύξησε σημαντικά την συγκέντρωση των GAs (Percival et al., 1993, 1994). Ενδεχομένως η φασματική κατανομή της πηγής ακτινοβολίας επηρεάζει την παρουσία χρωστικών στην επιδερμίδα των κονδύλων, οι οποίες μπορούν να απορροφούν ή να ανακλούν συγκεκριμένα μήκη κύματος του φωτός. Ο φωτισμός επηρεάζει επίσης την αναλογία α-σολανίνης και α-χακονίνης, αφού η σολανίνη αυξάνεται περισσότερο σε σχέση με την χακονίνη (Percival et al. 1996, Percival 1999β).

Η σύνθεση GAs παρουσία φωτισμού έχει συσχετιστεί με τη σύνθεση της χλωροφύλλης, αφού οι "πρασινισμένες" πατάτες διαθέτουν συνήθως μικρή γεύση και υπερβολικά επίπεδα GAs (Jadhav et al. 1981). Ωστόσο, οι δυο αυτές διαδικασίες μπορεί να λάβουν χώρα ανεξάρτητα η μια από την άλλη (Uppal 1987, De Maine et al. 1988), ενώ δεν παρατηρείται πάντα συσχέτιση μεταξύ επιπέδων GAs και χλωροφύλλης (Edwards et al. 1998, Percival 1999α, Kozukue et al. 2001). Το πρασίνισμα των κονδύλων αποτελεί ένα καλό δείκτη υψηλών συγκεντρώσεων GAs, ωστόσο η έλλειψη πρασινίσματος δεν σημαίνει ότι τα επίπε-

δα των γλυκοαλκαλοειδών στους κονδύλους είναι χαμηλά (Grunenfelder et al. 2006). Τα επίπεδα GAs των κονδύλων της αγοράς επηρεάζονται επίσης και από τον τύπο και το χρώμα του υλικού συσκευασίας (Gosselin and Mondy 1989, Rosenfeld et al. 1995).

Διάρκεια αποθήκευσης και θερμοκρασία

Οι επιδράσεις της θερμοκρασίας και του χρόνου αποθήκευσης είναι πολύ δύσκολο να διαχωριστούν. Δεν υπάρχει μια άριστη θερμοκρασία αποθήκευσης, που να έχει την ελάχιστη επίδραση στη σύνθεση των GAs. Υψηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης επιφέρουν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις GAs (Kaaber 1993, Percival et al. 1993, Love et al. 1994), αλλά το τελικό αποτέλεσμα εξαρτάται από την ποικιλία και τους διαφορετικούς χρόνους ληθάργου των ποικιλιών. Η υψηλή θερμοκρασία μειώνει το χρόνο ληθάργου, αυξάνοντας τη μεταβολική δραστηριότητα των κονδύλων, με αποτέλεσμα την ενδεχόμενη αύξηση της συγκέντρωσης των GAs. Οι χαμηλές θερμοκρασίες μπορεί επίσης να επηρεάσουν τη συγκέντρωση των γλυκοαλκαλοειδών (Griffiths et al. 1997). Γενικώς οι ακραίες θερμοκρασίες λειτουργούν ως παράγοντας καταπόνησης ο οποίος επάγει την σύνθεση των GAs. Κατά συνέπεια, θερμοκρασίες πάνω από 15°C ή κάτω από 5°C μπορεί να οδηγήσουν σε υψηλές συγκεντρώσεις GAs. Ενδιάμεσες θερμοκρασίες μεταξύ 7-10°C, ίσως αποτελούν την ενδεδειγμένη λύση για παρατεταμένους χρόνους αποθήκευσης. Η παρατεταμένη διάρκεια αποθήκευσης μπορεί επίσης να αυξήσει τα επίπεδα GAs στους κονδύλους (Love et al. 1994, Griffiths et al. 1997, Edwards and Cobb 1999).

Μηχανικός τραυματισμός των κονδύλων

Η μηχανική συγκομιδή και η ακατάλληλη, απρόσεκτη μετασυλλεκτική μεταχείριση των κονδύλων είναι δυνατό να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές, οι οποίες, δεν επηρεάζουν μόνο την ποιότητα των κονδύλων, αλλά προκαλούν και τη *de novo* σύνθεση γλυκοαλκαλοειδών (van Gelder 1990).

Οι τραυματισμοί που προκαλούν μεγάλες ρωγμές ή σχισίματα επίσης προκαλούν σημαντική αύξηση του ρυθμού σύνθεσης των GAs, τα οποία συσσωρεύονται σε ορισμένες ποικιλίες και είναι δυνατό να ξεπεράσουν κατά πολύ το όριο των 20 mg/ 100 g NB. Ωστόσο λιγότερο σοβαρές ζημιές,

όπως απλοί μάλωπες και μαύρες κηλίδες, δεν προκαλούν σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης των GAs στους κονδύλους (Olsson, 1986). Η αύξηση του ρυθμού σύνθεσης των GAs μετά από μηχανικό τραυματισμό δεν περιορίζεται μόνο στον ιστό που περιβάλλει το σημείο τραυματισμού (Johnsson and Hellenas 1983) αλλά μπορεί και να επεκτείνεται στο υπόλοιπο τμήμα του κονδύλου που δεν φέρει εμφανή συμπτώματα τραυματισμού (Mondy et al. 1987). Η σύνθεση GAs μετά από τραυματισμό είναι πιο ενεργή σε υψηλές θερμοκρασίες, καθώς τραυματισμένοι κόνδυλοι που αποθηκεύτηκαν στους 21° C περιείχαν πολύ υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με κονδύλους που αποθηκεύτηκαν στους 4° C (Mondy et al. 1987). Ο ρυθμός σύνθεσης των GAs τραυματισμένων κονδύλων διαφόρων ποικιλιών έχει συσχετισθεί με το ρυθμό σύνθεσης γλυκοαλκαλοειδών σε συνθήκες έντονου φωτισμού ή πολύ χαμηλών θερμοκρασιών (Dale et al. 1998). Σε κάθε περίπτωση η τελική συγκέντρωση των GAs τραυματισμένων κονδύλων συσχετίζεται άμεσα με τα "φυσικά" επίπεδα GAs που ελέγχονται από το γονότυπο της κάθε ποικιλίας.

Μέγεθος και ωριμότητα κονδύλων

Η ανωριμότητα και κατά συνέπεια το μικρό μέγεθος των κονδύλων, ιδιαίτερα σε πρώιμες ποικιλίες των οποίων η συγκομιδή επιβάλλεται συνήθως απο τις ανάγκες της αγοράς, έχουν συσχετισθεί με υψηλότερες από τις κανονικές ή ακόμα και υπερβολικές συγκεντρώσεις GAs (Verbist and Monnet 1979, Davies and Blincow 1984). Υψηλές συγκεντρώσεις GAs σε κονδύλους πρώιμων ποικιλιών εμφανίζονται σε δείγματα με μέγεθος κονδύλων μικρότερο των 40 g. Ανώριμοι κόνδυλοι πρώιμων ποικιλιών με μέσο νωπό βάρος 30 έως 50 g παρουσιάζουν συγκεντρώσεις 5.1 έως 22.1 mg/100 g NB (Hellenas 1994). Οι μικρού μεγέθους ανώριμοι κόνδυλοι παρουσιάζουν συγκεντρώσεις οι οποίες κυμαίνονται ανάλογα με την ποικιλία, ορισμένα ωστόσο δείγματα κονδύλων βάρους 11-20 g ξεπερνούν το προτεινόμενο όριο ασφαλείας (Papathanasiou et al. 1999γ).

Η σταδιακή αύξηση του μεγέθους των κονδύλων κατά την ωρίμανση τους επιφέρει μείωση της συγκέντρωσης των GAs και τροποποίηση της σχέσης της α-χακονίνης προς την α-σολανίνη αλλά οι ρυθμοί ελάττωσης διαφέρουν μεταξύ των ποικιλιών, ιδιαίτερα κατά τα τελευταία στάδια

ανάπτυξης των κονδύλων (Cronk et al. 1974). Σε μεμονωμένους κονδύλους πρώιμων ποικιλιών ο ρυθμός μείωσης της συγκέντρωσης των GAs έχει άμεση συσχέτιση με το ρυθμό αύξησης του νωπού βάρους του κονδύλου, αλλά διαφέρει σημαντικά ανά ποικιλία (Engel et al. 1996, Papathanasiou et al. 1998).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, όταν σχεδιάζεται πρώιμη συγκομιδή μικρών κονδύλων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ποικιλίες με εντονότερο ρυθμό μείωσης των γλυκοαλκαλοειδών κατά την αύξηση και ωρίμανση των κονδύλων, ώστε να αποφεύγονται οι υψηλές συγκεντρώσεις τους. Η παραγωγή στις Βόρειες χώρες συνδέεται με όψιμη φύτευση, με αποτέλεσμα η ωρίμανση και συγκομιδή των κονδύλων κάτω από αντίξοες συνθήκες να αυξάνει και την πιθανότητα συσσώρευσης GAs.

Εδαφοκλιματολογικές συνθήκες

Η συγκέντρωση των GAs στους κονδύλους μιας συγκεκριμένης ποικιλίας επηρεάζεται σημαντικά από τις συνθήκες ανάπτυξης των φυτών (Sinden and Webb 1974, Ross et al. 1978, Bintliffe et al. 1982). Σχετικά υψηλές GAs παρατηρούνται κυρίως κατά την συγκομιδή ανώριμων κονδύλων σε συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών και υψηλής εδαφικής υγρασίας. Σε ελεγχόμενες συνθήκες, τα επίπεδα των GAs αυξάνονται με τη μείωση της θερμοκρασίας ανάπτυξης από 16° C σε 12° C και επίσης με την αύξηση της θερμοκρασίας ανάπτυξης από 16° C στους 24° C (Chungcharoen et al. 1987, Van Swaaij 1992). Σε συνθήκες πεδίου ωστόσο ο έλεγχος της θερμοκρασίας δεν είναι εφικτός ώστε να περιοριστούν τα υψηλά επίπεδα των GAs (Olsson and Carlsson 1993).

Οι υψηλές θερμοκρασίες και η ξηρασία κατά την ανάπτυξη των φυτών αυξάνουν τη συγκέντρωση των GAs των κονδύλων (Morris και Petermann 1985, Levy et al. 1993, Dimenstein et al. 1997, Bejarano et al. 2000). Κόνδυλοι που αναπτύσσονται σε θερμά και ξηρά κλίματα παρουσιάζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις GAs έναντι αυτών που αναπτύσσονται σε καθεστώς επάρκειας νερού και ήπιων θερμοκρασιών. Οι συνθήκες ξηρασίας επηρεάζουν επίσης την αναλογία α-χακονίνης προς α-σολανίνη. Σε πειράματα καταπονήσεων τα επίπεδα συνολικών GAs σε μεμονωμένους κονδύλους από πρώιμες ποικιλίες, δεν επηρεάστηκαν από χαμηλή θερμοκρασία (12/9° C ημέρα/νύχτα) μετά από την έναρξη της κονδυλοποίησης. Ωστόσο

σο, η υπόξια λόγω υπερβολικής εδαφικής υγρασίας αυξάνει σημαντικά τη συγκέντρωση GAs (Papathanasiou et al. 1999β).

Συμπεράσματα

Για τον περιορισμό της συγκέντρωσης των GAs στους κονδύλους της πατάτας είναι σημαντική η χρήση ποικιλιών με μειωμένα επίπεδα γλυκοαλκαλοειδών αλλά και η παρακολούθηση των GAs όταν οι κόνδυλοι, κυρίως ποικιλιών με γενετικά υψηλές συγκεντρώσεις, αναπτυχθούν σε

συνθήκες καταπόνησης. Επίσης είναι πολύ σημαντικός ο έλεγχος των επιπτώσεων των καταπονήσεων στα επίπεδα GAs στα προγράμματα βελτίωσης και την αντίδραση νέων ποικιλιών πριν από την έξοδό τους στην αγορά. Οι παραγωγοί και οι έμποροι θα πρέπει να αναθεωρήσουν τις καλλιεργητικές τεχνικές και τις συνθήκες αποθήκευσης και πώλησης, με σκοπό την όσο το δυνατόν μειωμένη έκθεση στο φως κατά την ανάπτυξη των φυτών, τη συγκομιδή, την αποθήκευση και την πώληση των κονδύλων.

Potato glycoalkaloids Biosynthesis, metabolism, plant distribution, toxicity and effect of different factors in their concentrations

Fokion Papathanasiou¹, Konstantinos Podimatas² and Fotios Gravanis²

ABSTRACT

Glycoalkaloids are naturally occurring toxins with their molecule comprising of an aglycone (steroidal alkaloid) connected with one or more sugar molecules. They are found in a number of *Solanaceae* species, and accumulate in virtually all plant organs with the highest concentrations in young tissues with high metabolic activity. In commercial potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.), the primary glycoalkaloids are α -solanine and α -chaconine, glycosides which contain the same C-27 steroidal alkaloid solanidine, however they differ in the type of the carbohydrate moiety. Potato glycoalkaloids, if consumed, show two toxic actions: one on cholinesterase activity, and the other on membrane function. Safety limits have been established regarding glycoalkaloid concentrations without covering all the cases. In the present review, information is available on the biosynthesis, the metabolism and distribution, the role of glycoalkaloids in plant tissues and also the effect of different factors in glycoalkaloid concentrations. Different views on glycoalkaloid toxicity are also reported with emphasis to safe consumption of the foods that they contain.

Key words: potato, *Solanum tuberosum*, glycoalkaloids, solanine, chaconine, solanidine, environment, stress, tuber size, toxicity, food safety.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arnqvist, L., Dutta, P.C., Jonsson, L. and Sitbon, F. 2003. Reduction of cholesterol and glycoalkaloid levels in transgenic potato plants by overexpression of a type 1 sterol methyltransferase cDNA. *Plant Physiol.* 131: 1792-1799.
- Bejarano, L. Mignolet, E., Devaux, A., Espinola, N., Carrasco, E. and Larondelle, Y. 2000. Glycoalkaloids in potato tubers: the effect of variety and drought stress on the α -solanine and α -chaconine contents of potatoes. *J. Sci Food Agric.* 80: 2096-2100.
- Bergenstrahle, A., Tillberg, E. and Jonsson, L. 1992. Characterization of UDP-glucose: solanidine glucosyltransferase and UDP-galactose: solanidine galactosyltransferase from potato tubers. *Plant Sci.* 84: 35-44.

¹ TEI of Western Macedonia, Department of Plant Production (e-mail: fokionp@florina.teikoz.gr)

² TEI of Larisa, Department of Plant Production

- Bergenstrahle, A., Borga, P. and Jonsson, L. 1996. Sterol composition and synthesis in potato tuber discs in relation to glycoalkaloid synthesis. *Phytochemistry* 41: 155-161.
- Bhuva, V.S. and Parnell, A. 1983. Note on current work-the effects of site and genotype on the glycoalkaloid content of first and second early potato varieties. *J. Natl. Inst. Agric. Bot.* 16: 229-230.
- Bintcliffe, E.J.B., Clydesdale, A. and Draper, S.R. 1982. Effects of genotype, site and season on the glycoalkaloid content of potato tubers. *J. Natl. Inst. Agric. Bot.* 16: 86-91.
- Bushway, A.A., Bushway, R.J. and Kim, C.H. 1990. Isolation, partial purification and characterization of a potato peel glycoalkaloid cleaving glycosidase. *Am. Potato J.* 67: 233-238.
- Carlsson, H. 1989. Glykoalakloider I potatis. *Potatisodlaren* 1: 35-36.
- Choi, D., Bostock, R.M., Avdiushko, S. and Hildebrand, D.F. 1994. Lipid-derived signals that discriminate wound-and pathogen-responsive isoprenoid pathways in plants: methyl-jasmonate and the fungal elicitor arachidonic acid induce different 3-hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme A reductase genes and antimicrobial isoprenoids in *Solanum tuberosum* L. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91: 2329-2333.
- Choi, D., Ward, B.L. and Bostock, R.M. 1992. Differential induction and suppression of potato 3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase genes in response to *Phytophthora infestans* and to its elicitor arachidonic acid. *The Plant Cell* 4: 1333-1344.
- Chungcharoen, A. 1988. Glycoalkaloid content of potatoes grown under controlled environments and stability of glycoalkaloids during processing. Ph.D. Thesis, University of Wisconsin, Madison, WI.
- Chungcharoen, A., von Elbe, J.H., Wheeler, R.M. and Tibbits, T.W. 1987. Glycoalkaloids of potato tubers grown under controlled environments. *Am. Potato J.* 64: 432-433.
- Claringbold, W.D.B., Few, J.D. and Renwick, J.H. 1982. Kinetics of retention of solanidine in man. *Xenobiotica* 12: 293-302.
- Cronk, T.C., Kuhn, G.D. and McArdle, F.J. 1974. The influence of stage of maturity, level of nitrogen fertility and storage on the concentration of solanine in tubers of three potato cultivars. *Bull. Environ. Contamin. Toxicol.* 11: 163-168.
- Czopek A.T., Szyszka, M.J. and Lisinska, G. 2008. Changes in glycoalkaloids content of potatoes destined for consumption. *Food Chem.* 106:706-711.
- Dale, M.F.B., Griffiths, D.W. and Bain, H. 1998. Effect of bruising on the total glycoalkaloid and chlorogenic acid content of potato (*Solanum tuberosum*) tubers of five cultivars. *J. Sci. Food Agric.* 77: 499-505.
- Dale, M.F.B., Griffiths, D.W., Bain, H. and Todd, D. 1993. Glycoalkaloid increase in *Solanum tuberosum* on exposure to light. *Ann. Appl. Biol.* 123: 411-418.
- Davies, A.M.C. and Blincow, P.J. 1984. Glycoalkaloid content of potatoes and potato products sold in the UK. *J. Sci. Food Agric.* 35: 553-557.
- De Maine, M.J., Bain, H. and Joyce, J.A.L. 1988. Changes in the total tuber glycoalkaloid content of potato cultivars on exposure to light. *J. Agric. Sci. Camb.* 111: 57-58.
- Dimenstein, L., Lisker, N., Kedar, N. and Levy, D. 1997. Changes in the content of steroidal glycoalkaloids in potato tubers grown in the field and in the greenhouse under different conditions of light, temperature and daylength. *Physiol. Molecul. Plant Pathol.* 50: 391-402.
- Edwards, E.J. and Cobb, A.H. 1999. The effect of prior storage on the potential of potato tubers (*Solanum tuberosum* L) to accumulate glycoalkaloids and chlorophylls during light exposure, including artificial neural network modelling. *J. Sci. Food Agric.* 79: 1289-1297.
- Edwards, E.J., Saint, R.E. and Cobb, A.H. 1998. Is there a link between greening and light-enhanced glycoalkaloid accumulation in potato (*Solanum tuberosum* L) tubers? *J. Sci. Food Agric.* 76: 327-333.
- Eltayeb, E.A., Al-Sinani, S.S. and Khan, I.A. 2003. Determination of the glycoalkaloids α -solanine and α -chaconine levels in 18 varieties of potato grown in Oman. *Potato Res.* 46: 57-66.
- Engel, K.H., Blaas, W.K., Gabriel, B., and Beckman, M. 1996. Modern biotechnology in plant breeding: Analysis of glycoalkaloids in transgenic potatoes. In: *Biotechnology for*

- Improved Foods and Flavors*, eds Takeoka G R, Teranishi R, Williams P J, Kobayashi A. ACS, Washington, ACS Symposium Series 637: 249-260.
- Esposito, F., Fogliano, V., Cardi, T. Carputo, D. and Fibppone, E. 2002. Glycoalkaloid content and chemical composition of potatoes improved with nonconventional breeding approaches. *J. Agric. Food Chem.* 50: 1553-1561.
- FAO 2008. FAOSTAT Database. Food and Agricultural organization of the United Nations, New York. Available on the Internet: <http://faostat.fao.org>.
- Friedman, M. 2006. Potato glycoalkaloids and metabolites: Roles in the Plant and in the Diet. *J. Agric. Food Chem.* 54: 8655-8681.
- Friedman, M. and McDonald, G.M. 1997. Potato glycoalkaloids: chemistry, analysis, safety, and plant physiology. *Crit. Rev. Plant Sci.* 16: 55-132.
- Friedman, M., Rayburn, J.R. and Bantle, J.A. 1992. Structural relationships and developmental toxicity of *Solanum* alkaloids in the frog embryo teratogenesis assay- *Xenopus*. *J. Agric. Food Chem.* 40: 1617-1624.
- Friedman, M., Lee, K., Kim, H., Lee, I. and Kozukue, N. 2005. Glycoalkaloids from five potato varieties inhibit the growth of human cervical, liver, lymphoma and stomach cancer cells. *J. Agric. Food Chem.* 53:6162-6169.
- Friedman, M., Roitman, J.N. and Kozukue, N. 2003. Glycoalkaloid and calystegine contents of eight potato cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 51: 2964-2973.
- Ginzberg, I., Tokuhisa, J.G. and Veilleux, R.E. 2009. Potato steroidal glycoalkaloids: Biosynthesis and genetic manipulation. *Potato Res.* 52: 1-15.
- Gosselin, B. and Mondy, N.I. 1989. Effect of packaging materials on the chemical composition of potatoes. *Am. Potato J.* 65: 99-103.
- Griffiths, D.W., Bain, H. and Dale, M.F.B. 1997. The effect of low-temperature storage on the glycoalkaloid content of potato (*Solanum tuberosum*) tubers. *J. Sci. Food Agric.* 74: 301-307.
- Griffiths, D.W., Dale, M.F.B. and Bain, H. 1994. The effect of cultivar, maturity and storage on photoinduced changes in total glycoalkaloid and chlorophyll contents of potatoes. *Plant Sci.*, 98: 103-109.
- Groen, K., Pereboom-De Fauw, D.P.K.H., Besamusca, P., Beekho, P.K., Speijers, G.J.A. and Derks, H.J.G.M. 1993. Bioavailability and disposition of ³H-solanine in rat and hamster. *Xenobiotica* 23: 995-1005.
- Grunenfelder, L.A., Knowles, L.O., Hiller, L.K. and Knowles, N.R. 2006. Glycoalkaloid development during greening of fresh market potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *J. Agric. Food Chem.* 54:5847-5854.
- Hall, R.L. 1992. Toxicological burdens and the shifting burden of toxicology. *Food Technol.* 46: 109-112.
- Hellenas, K. E. 1994. Glycoalkaloids in potato tubers- Aspects on analysis, occurrence and toxicology. Ph.D. thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Hellenas, K.E., Branzell, C., Johnsson, H. and Slanina, P. 1995. High levels of glycoalkaloids in the established Swedish potato variety Magnum Bonum. *J. Sci. Food Agric.* 68: 249-255.
- Hellenas, K.E., Cekan, E., Slanina, P. and Bergman, K. 1992. Studies of embryotoxicity and the incidence of external malformations after continuous intravenous infusion of α -chaconine in pregnant rats. *Pharmacol. Toxicol.* 70: 381-383.
- Hutvágner, G., Bánfalvi, Z., Milánkovics, I., Silhavy, D., Polgár, Z., Horváth, S., Wolters, P. and Nap, J.-P. 2001. Molecular markers associated with leptinine production are located on chromosome 1 in *Solanum chacoense*. *Theoret. Appl. Genetics* 102: 1065-1071.
- Jadhav, S.J., Sharma, R.D. and Salunkhe, D.K. 1981. Naturally occurring toxic alkaloids in food. *Crit. Rev. Toxicol.* 9: 21-104.
- Johnsson, H. and Hellenas, K.E. (1983). Glycoalkaloids in Swedish potatoes. *Var Foda*, 35: 299-314.
- Joyce, P.J., McCue, K.F., Belknap, W.R., Corsini, D.L., Love, S.L., Groza, H. and Bowen, B.D. 1999. Glycoalkaloid levels in a genetically modified Lenape. *Am.J. Potato Res.* 76: 373.
- Kaaber, L. 1993. Glycoalkaloids, green discoloration and taste development during storage of some potato varieties (*Solanum tuberosum* L.). *Norw. J. Agric. Sci.* 7: 221-227.

- Keukens, E.A.J., de Vrije, T., van den Boom, C., de Waard, P., Plasman, H.H., Thiel, F., Chupin, V., Jongen, W.M.F. and de Kruijff, B. 1995. Molecular basis of glycoalkaloid induced membrane disruption. *Biochim. et Biophys. Acta* 1240: 216-228.
- Kondo, K., Uritani, I. and Oba K. 2003. Induction mechanism of 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA reductase in potato tuber and sweet potato root tissues. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 67:1007-1017.
- Kozukue, N. and Mizuno, S. 1989. Studies on glycoalkaloids of potatoes (Part IV). changes of glycoalkaloid content in four parts of a sprouted potato tuber and in potato tubers during storage. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 58:231-235.
- Kozukue, N., Kozukue, E. and Mizuno, S. 1987. Glycoalkaloids in potato plants and tubers. *HortScience* 22: 294-296.
- Kozukue, N., Tsuchida, H. and Friedman, M. 2001. Tracer studies on the incorporation of 2-¹⁴C DL-mevalonate into chlorophylls a and b, alpha-chaconine, and alpha-solanine of potato sprouts. *J. Agric. Food Chem.* 49: 92-97.
- Kozukue, N., Yoon, K.S., Byun, G.I.N., Misoo, S., Levin, C.E. and Friedman, M. 2008. Distribution of glycoalkaloids in potato tubers of 59 accessions of two wild and five cultivated *Solanum* species. *J. Agric. Food Chem.* 56: 11920-11928.
- Krits, P., Fogelman, E. and Ginzberg, I. 2007. Potato steroidal glycoalkaloid levels and the expression of key isoprenoid metabolic genes. *Planta* 227: 143-150.
- Lampitt, L.H., Bushill, J.H., Rooke, H.S. and Jackson, E.M. 1943. Solanine, glycoside of the potato. II distribution in the potato plant. *J. Soc. Chem. Ind.* 62: 48-51.
- Langkilde, S., Mandimika, T., Schroder, M., Meyer, O., Slob, W., Peijnenburg, A. And Poulsen, M. 2009. A 28-day repeat dose toxicity study of steroidal glycoalkaloids, a-solanine and a-chaconine in the Syrian Golden hamster. *Food Chem. Toxicol.* 47: 1099-1108.
- Levy, D., Lisker, N. and Dimenstein, L. 1993. The effect of temperature on the content of glycoalkaloids in the tubers. In: Abstracts of the 12th Triennial Conference of the European Association for Potato Research, Paris, 196-197.
- Love, S.L., Herrman, T.J., Thompson-Johns, A. and Baker, T.P. 1994. Effect and interaction of crop management factors on the glycoalkaloid concentration of potato tubers. *Potato Res.* 37: 77-85.
- Machado, R.M.D., Toledo, M.C.F., Garcia, L.C. 2007. Effect of light and temperature on the formation of glycoalkaloids in potato tubers. *Food Control* 18:503-508.
- Mandimika, T., Baykus, H., Vissers, Y., Jeurink, P., Poortman, J., Cutberto, G., Kuiper, H. and Peijnenburg, A. 2007. Differential gene expression in intestinal epithelial cells induced by single and mixtures of potato glycoalkaloids. *J. Agric. Food Chem.* 55: 10055-10066.
- Matthews, D., Jones, H., Gans, P., Coates, S., Smith, L. M. J. 2005. Toxic secondary metabolite production in genetically modified potatoes in response to stress. *J. Agric. Food Chem.* 53: 7766-7776.
- McCue, K.F., Shepherd, L.V.T., Allen, P.V., Maccree, M.M., Rockhold, D.R., Novy, R.G., Stewart, D., Davies, H. and Belknap, W.R. 2007. Potato glycoesterol rhamnosyltransferase, the terminal step in triose-chain biosynthesis. *Phytochemistry* 68:327-334.
- McCue, K.F., Allen, P.V., Shepherd, L.V.T., Blake, A., Maccree, M.M., Rockhold, D.R., Corsini, D.L., Davies, H. and Belknap, W.R. 2005. Metabolic compensation of steroidal glycoalkaloid biosynthesis in transgenic potato tubers: using reverse genetics to confirm the in vivo enzyme function of a steroidal alkaloid galactosyltransferase. *Plant Science* 168:267-273
- Mensinga, T.T., Sips, A.J.A.M., Rempelberg, C.J.M., van Twillert, K., Menlenbelt, J., van den Top, H.J. and van Egmond, H.P. 2005. Potato glycoalkaloids and adverse effects in humans: an ascending dose study. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 41: 66-72.
- Mochs, C.P., Allen, P.V., Friedman, M. and Belknap, W.R. 1997. Cloning and expression of solanidine UDP-glucose glucosyltransferase from potato. *The Plant J.* 11: 227-236.
- Mondy, N.I., Leja, M. and Gosselin, B. 1987. Changes in total phenolic, total glycoalkaloid and ascorbic acid content of potatoes as a

- result of bruising. *J. Food Sci.* 52: 631-635.
- Morris, S.C. and Lee, T.H. 1984. The toxicity and teratogenicity of Solanaceae glycoalkaloids, particularly those of the potato (*Solanum tuberosum*). *Food Technol. Aust.* 36: 118-124.
- Morris, S.C. and Petermann, J.B. 1985. Genetic and environmental effects on levels of glycoalkaloids in cultivars of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Food Chem.* 18: 271-282.
- Nitithamyong, A., Vonelbe, J.H., Wheeler, R.M. and Tibbitts, T.W. 1999. Glycoalkaloids in potato tubers grown under controlled environments. *Am. J. Pot. Res.* 76: 337-343.
- Norberg, H. 1987. Magnum bonum-en dod potatis?. *Lantbrukstidskr Stockholms lan* 1:17-18.
- Olsson, K. 1986. The influence of genotype on the effects of impact damage on the accumulation of glycoalkaloids in potato tubers. *Potato Res.* 29: 1-12.
- Olsson, K. and Carlsson, C. 1993. Do wet field conditions influence glycoalkaloids in potatoes? In: Abstracts of the 12th Triennial Conference of the European Association for Potato Research, Paris: 192-193.
- Papathanasiou, F., Mitchell, S.H. and Harvey, B.M.R. 1998. Glycoalkaloid accumulation during tuber development of early potato cultivars. *Potato Res.* 41: 117-125.
- Papathanasiou, F., Mitchell, S.H. and Harvey, B.M.R. 1999 α . Variation in glycoalkaloid concentration of potato tubers harvested from mature plants. *J. Sci. Food Agric.* 79: 32-36.
- Papathanasiou, F., Mitchell, S.H., Watson, S. and Harvey, B.M.R. 1999 β . Effect of environmental stress during tuber development on accumulation of glycoalkaloids in potato (*Solanum tuberosum* L.). *J. Sci. Food Agric.* 79: 1183-1189.
- Papathanasiou, F., Mitchell, S.H. and Harvey, B.M.R. 1999 γ . Glycoalkaloid levels in tubers of early cultivars sold in consumer markets. In Abstracts of the 14th Triennial Conference of the European Association for Potato Research, Sorrento, Italy: 632-633.
- Parnell, A., Bhuva, V.S. and Bintcliffe, E.J.B. 1984. The glycoalkaloid content of potato varieties. *J. Natl. Inst. Agric. Bot.* 16: 535-541.
- Peksa, A., Golubowska, G., Rytel, E., Lisinska, G. and Aniolowski, K. 2002. Influence of harvest date on glycoalkaloid contents of three potato varieties. *Food Chem.* 78: 313-317.
- Percival, G.C., Harrison, J.A.C. and Dixon, G.R. 1993. The influence of temperature on light enhanced glycoalkaloid synthesis in potato. *Ann. Appl. Biol.* 123: 141-153.
- Percival, G.C., Dixon, G.R. and Sword, A. 1994. Glycoalkaloid concentration of potato tubers following continuous illumination. *J. Sci. Food Agric.* 66: 139-144.
- Percival, G., Dixon, G.R. & Sword, A. 1996. Glycoalkaloid concentration of potato tubers following exposure to daylight. *J. Sci. Food and Agric.* 71: 59-63.
- Percival, G.C. 1999 α . The influence of light upon glycoalkaloid and chlorophyll accumulation in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Sci.* 145: 99-107.
- Percival G.C. 1999 β . Light-induced glycoalkaloid accumulation of potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *J. Sci. Food Agric.* 79: 1305-1310.
- Rayburn, J.R., Bantle, J.A., Qualls, C.W., Jr., and Friedman, M. 1994. Role of carbohydrate side chains of potato glycoalkaloids in developmental toxicity. *J. Agric. Food Chem.* 42: 1511-1515.
- Roddick, J.G. 1989. The acetylcholinesterase-inhibitory activity of steroidal glycoalkaloids and their aglycones. *Phytochemistry* 28: 2631-2634.
- Roddick, J.G., Rijnenberg, A.L. and Weissenberg, M. 1992. Alterations to the permeability of liposome membranes by the solasodine-based glycoalkaloids solasonine and solamargine. *Phytochemistry* 31: 1951-1954.
- Roddick, J.G., Weissenberg, M. and Leonard, A.L. 2001. Membrane disruption and enzyme inhibition by naturally-occurring and modified chactriose-containing *Solanum* steroidal glycoalkaloids. *Phytochemistry* 56: 603-610.
- Rosenfeld, H.J., Sundell, H.A., Lea, P. and Ringstad, M. 1995. Influence of packaging materials and temperature on the glycoalkaloid content of potato tubers. *Food Res. Int.* 28: 481-484.
- Ross, H., Pasemann, P. and Nitzsche, W. 1978. The dependence of the glycoalkaloid content of potatoes on location and year of production and its relation to taste. *Zeitschrift fir*

- Pflanzenzuecht 80: 64-79.
- Sanford, L.L., Deahl, K.L., Sinden, S.L. and Kobayashi, R.S. 1995. Glycoalkaloid content in tubers of hybrid and backcross populations from a *Solanum tuberosum* x *S. chacoense* cross. *Am. Potato J.* 72: 261-271.
- Sanford, L.L., Kobayashi, R.S., Deahl, K.L. and Sinden, S.L. 1996. Segregation of leptines and other glycoalkaloids in *Solanum tuberosum* (4x) x *S. chacoense* (4x) crosses. *Am. Potato J.* 73: 21-33.
- Sanhoty, R.E., Rahman, A.A. and Bogl, W.K. 2005. Quality and safety evaluation of genetically modified potatoes Spunta with Cry V gene: Compositional analysis, determination of some toxins, antinutrients compounds and feeding study in rats. *Food* 48:13-18.
- Sarquís, J.I., Coria, N.A., Aguilar, I. and Rivera, A. 2000. Glycoalkaloid content in *Solanum* species and hybrids from a breeding program for resistance to late blight (*Phytophthora infestans*). *Am. J. Potato Res.* 77: 295-302.
- Shih, M.J., Kuc, J. and Williams, E.B. 1973. Suppression of steroid glycoalkaloid accumulation as related to rishitin accumulation in potato tubers. *Phytopathol.* 63: 821-826.
- Sinden, S.L. and Webb, R.E. 1974. Effect of variety and location on the glycoalkaloid content of potatoes. *Am. Potato J.* 49: 334-338.
- Sorensen, K.K., Kirk, H.G., Olsson, K., Labouriau, R. and Christiansen, J. 2008. A major QTL and an SSR marker associated with glycoalkaloid content in potato tubers from *Solanum tuberosum* X *S. sparsipilum* located on chromosome I. *Theor. Appl. Genet.* 117:1-9.
- Sotelo, A. and Serrano, B. 2000. High-performance liquid chromatographic determination of the glycoalkaloids α -solanine and α -chaconine in 12 commercial varieties of Mexican Potato. *J. Agric. Food Chem.* 48: 2472-2478.
- Tingey, W.M. 1984. Glycoalkaloids as pest resistance factors. *Am. Potato J.* 61: 157-167.
- Uppal, D.S. 1987. Varietal and environmental effect on the glycoalkaloid content of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Foods Hum. Nutr.* 37: 333-340.
- van Dam, J., Levin, I., Struik, P.C. and Levy, D. 1999. Genetic characterisation of tetraploid potato (*Solanum tuberosum* L.) emphasising genetic control of total glycoalkaloid content in the tubers. *Euphytica* 110: 67-76.
- van Dam, J., Levin, I., Struik, P.C. and Levy, D. 2003. Identification of epistatic interaction affecting glycoalkaloid content in tubers of tetraploid potato (*Solanum tuberosum* L.). *Euphytica* 134: 353-360.
- van Gelder, W.M.J. 1990. Chemistry, toxicology and occurrence of steroidal glycoalkaloids: potential contaminants of the potato (*Solanum tuberosum* L.). In: *Poisonous Plants Contaminating Edible Plants*. Rizk, F. M., Ed., CRC Press, Boca Raton, Florida 117-156.
- van Gelder, W.M.J. and Scheffer, J.J.C. 1991. Transmission of steroidal glycoalkaloids from *Solanum vernei* to the cultivated potato. *Phytochemistry*, 30: 165-168.
- van Swaaij, A.C. 1992. Effect of growth conditions on glycoalkaloid accumulation in potato tubers. *Potato Res.* 35: 68-69.
- Verbist, J.F. and Monnet, R. 1979. The solanine content of small new tubers of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Res.* 22: 239-244.
- Wang, S., Panter, K.E., Gaffield, W., Evans, R.C. and Bunch, T.D. 2005. Effects of steroidal glycoalkaloids from potatoes (*Solanum tuberosum*) on in vitro bovine embryo development. *Anim. Reprod. Sci.* 85: 243-250.
- Wood, F.A. and Young, D.A. 1974. TGA in potatoes. Canadian Department of Agriculture, Can. Agric. Bull. 1533.
- Wunsch, A. 1989. Spatial distribution of glycoalkaloids of different potato varieties throughout the tuber. *Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm.* 12: 69-74.
- Yang, S., Paek, S.H., Kozukue, N., Lee, K.R. and Kim, J.A. 2006. α -Chaconine, a potato glycoalkaloid, induces apoptosis of HT-29 human colon cancer cells through caspase-3 activation and inhibition of ERK1/2 phosphorylation. *Food and Chem. Toxicol.* 44:839-846.
- Yencho, G.C., Kowalski, S.P., Kennedy, G.G. & Sanford, L.L. 2000. Segregation of leptine glycoalkaloids and resistance to Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* (Say)) in F2 *Solanum tuberosum* (4x) x *S. chacoense* (4x) potato progenies. *Am. J. Potato Res.* 77: 167-178.
- Yoshioka, H., Yamada, N. and Doke N. 1999.

- cDNA cloning of sesquiterpene cyclase and squalene synthase, and expression of the genes in potato tuber infected with *Phytophthora infestans*. *Plant Cell Physiol.* 40:993–998.
- Zacharius, R.M., Kalan, E.B., Osman, S.F., and Herb, S.F. 1975. Solanidine in potato (*Solanum tuberosum*) tuber tissue disrupted by *Erwinia atroseptica* and by *Phytophthora infestans*. *Physiol. Plant Pathol.* 6: 301-305.
- Zitnak, A. and Filadelfi, M.A. 1985. Estimation of taste thresholds of three potato glycoalkaloids. *J. Can. Inst. Food Sci. Technol.* 18: 337-339.
- Zitnak, A. and Johnston, G.R. 1970. Glycoalkaloid content of B5141-6 potatoes. *Am. Potato J.* 47: 256-260.
- Zook, M.N. and Kuc, J.A., 1991. Induction of sesquiterpene cyclase and suppression of squalene synthetase activity in elicitor treated or fungal infected potato tuber tissue. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 39:377–390.

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ
ΕΛΛΑΔΑΣ

ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ 64
546 31 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΠΛΗΡΩΜΕΝΟ ΤΕΛΟΣ
Κ.Ε.Μ.Π.ΚΡ
Αριθμός Άδειας 161

