

# ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΑΠΟ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΑ, ΤΟΞΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΙ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Γιαννουλάκη Ασημένια<sup>1</sup>, Σπανομήτσιος Μάριος-Παύλος<sup>2</sup>,  
Γεωργέλλης Παναγιώτης<sup>3</sup>, Γιαννουλάκης Θεολόγος<sup>4</sup>, Σπανομήτσιος  
Στέφανος<sup>5</sup>

1. Σπουδάστρια, ΤΕΙ Θεσσαλονίκης

2. Σπουδαστής, ΤΕΙ Θεσσαλονίκης

3. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Εκπαιδευτικός, ΕΠΑΛ Λαγκαδά

4. Τεχνολόγος Τροφίμων, Εκπαιδευτικός, 2<sup>ο</sup> ΕΠΑΛ Σταυρούπολης  
thgiannoulakis@sch.gr

5. Δρ. Χημικός Μηχανικός, Σχ. Σύμβουλος ΠΕ12, Περιφέρεια Κεντρικής  
Μακεδονίας, sspanomi@theo.auth.gr

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η βιώσιμη ανάπτυξη είναι μια οικονομικό-κοινωνική διαδικασία ανάπτυξης, που επιτρέπει την άντληση των απαραίτητων για την ευημερία του ανθρώπου πόρων από το περιβάλλον χωρίς να διαταράσσεται η ισορροπία του τελευταίου. Βιώσιμη ανάπτυξη σημαίνει ταυτόχρονα φροντίδα για την προστασία του περιβάλλοντος και για την ποιότητα ζωής όπως επίσης και διατήρηση της κοινωνικής συνοχής.

Η ανάπτυξη αυτή είναι δυνατή με την αξιοποίηση νέων τεχνολογιών, πιο φιλικών προς το περιβάλλον, πιο οικονομικών και πιο παραγωγικών. Η προστασία των φυσικών πόρων είναι η βάση της αειφόρου ανάπτυξης. Ένας σημαντικός φυσικός πόρος είναι το έδαφος και οι κίνδυνοι που το απειλούν είναι πάρα πολλοί.

Το έδαφος ρυπαίνεται με χημικά τοξικά φυτοφάρμακα και λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στην γεωργική παραγωγή, από εναπόθεση στερεών τοξικών αποβλήτων των βιομηχανιών και από υγρά απόβλητα. Η αύξηση της αλατότητας των νερών του υδροφόρου ορίζοντα λόγω εκτεταμένων γεωτρήσεων (υφάλμυρα νερά) και η εμφάνιση του φαινομένου της ερημοποίησης είναι αποτέλεσμα της άναρχης εκμετάλλευσης των υδάτινων πόρων. Η όξινη βροχή, αποτέλεσμα της αέριας ρύπανσης, είναι υπεύθυνη για τη διαλυτοποίηση των μετάλλων του εδάφους και την καταστροφή της γονιότητάς του. Τα εδάφη εν τέλει αποκτούν τοξικότητα.

Στην εργασία αυτή μελετήσαμε την τοξικότητα διαφόρων εδαφών με χρήση ειδικών σπόρων. Η μέθοδος του ελέγχου της φυτοτοξικότητας του εδάφους έγινε με βάση τη μέτρηση της ανάπτυξης, που παρατηρείται σε τρία είδη φυτών (ένα μονοκοτυλήδο και δύο δικοτυλήδονα).

Η μέθοδος, που χρησιμοποιήθηκε είναι επιστημονικά τεκμηριωμένη, απλή, οικονομική και δεν χρειάζεται πολύπλοκος και ακριβός εξοπλισμός. Το σημαντικότερο όμως κομμάτι της προσπάθειας αυτής είναι η εισαγωγή μιας καινοτόμου διδακτικής προσέγγισης στη εκπαιδευτική διαδικασία: ο έλεγχος της τοξικότητας του εδάφους όχι με νεκρές πρακτικές και χημικές αναλύσεις (in vitro), αλλά με παρακολούθηση της εξέλιξης της ίδιας της ζωής (in vivo), της φύτευσης

ευαίσθητων φυτών και της παρακολούθησης της ανάπτυξής τους μέρα με τη μέρα στα υπό έλεγχο τοξικά εδάφη.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Αειφόρος ανάπτυξη, βιώσιμη ανάπτυξη, οικοσύστημα, ρύπανση, φυτοτοξικότητα, βιοσυσσώρευση

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στόχος της προσπάθειας αυτής είναι η ανάδειξη του ρόλου της περιβαλλοντικής αγωγής στη διατήρηση των φυσικών πόρων, στην επίτευξη της κοινωνικής δικαιοσύνης, στην εξάλειψη της φτώχειας και στη διασφάλιση της ευημερίας για τις παρούσες και μελλοντικές γενιές στο πλαίσιο της αειφόρου ανάπτυξης, μέσα από μια επιστημονική ανίχνευση των επιπτώσεων της εδαφικής ρύπανσης στην γονιμότητα της γης και μέσα από την απόκτηση της γνώσης των προβλημάτων που προκύπτουν από την αλόγιστη χρήση των μέσων εντατικοποίησης των καλλιεργειών και της τεχνολογίας.

Γενικά, χρησιμοποιούνται δύο προσεγγίσεις για την εκτίμηση της ποιότητας του περιβάλλοντος. Η πρώτη βασίζεται σε φυσικοχημικές τεχνικές εργαστηριακών αναλύσεων του αέρα, του νερού και δειγμάτων εδάφους. Αυτή η προσέγγιση δίνει ωστόσο μόνο ένα μέρος της αναγκαίας γνώσης για να εκτιμήσουμε το επικίνδυνο δυναμικό των ρυπαντών. Στην πραγματικότητα οι περισσότερες ποσοτικές τεχνικές είναι ικανές να αναγνωρίσουν μόνο μια συγκεκριμένη ένωση ή τα παράγωγα μεταβολισμού της, και επομένως είναι δύσκολο να εκτιμηθούν τα αληθινά χαρακτηριστικά μιας γενικευμένης έκθεσης.

Η άλλη προσέγγιση είναι να καταγράψουμε τις βιολογικές επιδράσεις στα ζώα ή τα φυτά, που θα μπορούσαν να εκτεθούν σε επιβαρημένα περιβάλλοντα. Ένα προφανές πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η άμεση επίδειξη μιας βιολογικής βλάβης. Μελέτες βιολογικών επιδράσεων αποτυπώνουν τις επιπτώσεις από όλους τους επιβλαβείς παράγοντες, συμπεριλαμβάνοντας συνεργετικές και ανταγωνιστικές επιδράσεις. Οι βιοανιχνευτές μπορεί επίσης να εντοπίσουν ανύποπτους προηγούμενα χημικούς ή φυσικούς διεγέρτες ή να αποκαλύψουν βλάβες που προξενήθηκαν από ρυπαντές που αποικοδομήθηκαν και δεν είναι πλέον ανιχνεύσιμοι από ανάλυση των υπολειμμάτων. Οπωσδήποτε η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την εκτίμηση αγνώστων ρυπαντών, πολυσύνθετων μιγμάτων ή επικίνδυνων αποβλήτων.

Στην εκτίμηση της ποιότητας των εδαφών χρησιμοποιήσαμε φυτά, ως αντικείμενα ελέγχου. Τα φυτά φαίνεται να είναι πολύ κατάλληλα για μια περιβαλλοντική εκτίμηση, αφού παρουσιάζουν ταχεία ανάπτυξη και παρέχουν μεγάλο αριθμό βλαστών.

## **ΠΟΡΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

### **Μετρήσεις φυτοτοξικότητας**

Οι μετρήσεις φυτοτοξικότητας γίνονται με βάση τη μέτρηση της ανάπτυξης που παρατηρείται σε τρία είδη φυτών (ένα μονοκοτυλήδονο και δύο δικοτυλήδονα)



*Σχήμα1. Sorghum saccharatum*



*Σχήμα1. Sorghum saccharatum*



*Σχήμα 3. Sinapis alba*

Οι σπόροι (10 σπόροι x 3 επαναλήψεις) τοποθετούνται σε πρότυπο έδαφος (control) και στο δείγμα εδάφους ή στερεού αποβλήτου που θέλουμε να μελετήσουμε. Στη συνέχεια το πρότυπο έδαφος και το δείγμα διαβρέχονται με νερό, μέχρι κορεσμού και τοποθετούνται σε θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας (25 °C) για τρεις ημέρες. Στο διάστημα των τριών ημερών από τους σπόρους προκύπτουν τα αντίστοιχα φυτά τα οποία και αναπτύσσονται.

Μετά τις τρεις ημέρες μετράται το μήκος των φυτών στον μάρτυρα και στα δείγματα και από τη σύγκριση των δύο προκύπτει το ποσοστό μείωσης της ανάπτυξης των φυτών στο δείγμα (φυτοτοξικότητα) ή το ποσοστό αύξησης (ευτροφισμός). Για τον προσδιορισμό της φυτοξικότητας της λυματολάσπης και μειγμάτων λυματολάσπης/εδάφους, προτείνεται η παρακάτω διαδικασία.

Μέτρηση της ανάπτυξης των φυτών (φυτοτοξικότητα) σε δείγματα λυματολάσπης, εδάφους και σε διάφορες αναλογίες λυματολάσπης/εδάφους (π.χ. 1:1, 1:2, 2:1 κλπ.). Από τα αποτελέσματα που θα προκύψουν θα μπορέσει να εκτιμηθεί η δράση της λυματολάσπης όταν αποτίθεται στο έδαφος ή χρησιμοποιείται σε γεωργικές χρήσεις.

Πολλές φορές είναι δύσκολο για τεχνικούς και οικονομικούς λόγους να εντοπιστεί το σύνολο των χημικών ουσιών που μπορεί να υπάρξουν σε ένα δείγμα. Το γεγονός αυτό καθιστά αναγκαία την εφαρμογή των τεστ τοξικότητας, γνωστά και ως

βιοδοκιμές. Με τη χρήση των βιοδοκιμών γίνεται μία άμεση εκτίμηση της επίδρασης ενός δείγματος σε ζωντανούς οργανισμούς.

Ο προσδιορισμός της τοξικότητας εδαφών, ιζημάτων, κομπόστ και βιομηχανικών λασπών μπορεί να γίνει με την εκτίμηση του δείκτη βλαστικότητας (**Germination Index – GI**), ο οποίος επιτρέπει τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας ενός ρυπασμένου στερεού υλικού σε μικρό χρονικό διάστημα (τρεις ημέρες) και με μικρό κόστος.

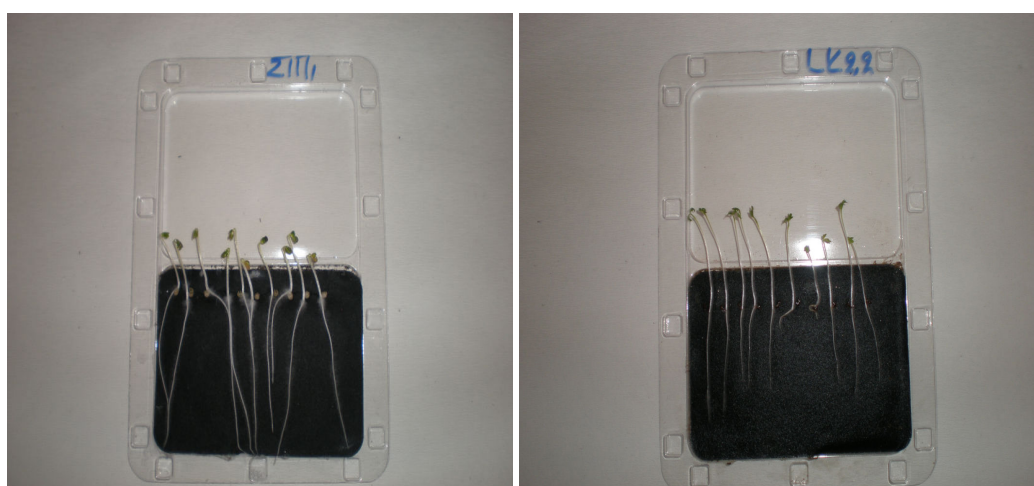
#### **Αποτελέσματα των μετρήσεων φυτοτοξικότητας**

Από τα δείγματα εδάφους που εξετάστηκαν αυτό που είχε ενδιαφέρον ήταν το δείγμα από την όχθη της λίμνης Κορώνειας. Το έδαφος στην όχθη της λίμνης είναι τόσο τοξικό που οι σπόροι των τριών φυτών δεν φύτρωσαν καθόλου.



**Σχήμα 4.**

Ενώ, αντίθετα σε μία απόσταση 300 μέτρων από την όχθη, παρουσίασε ευτροφισμό 97% σε σχέση με το πρότυπο χώμα.



**Σχήμα 5**

Η φυτοτοξικότητα προσδιορίζεται από τη σύγκριση της βλαστικότητας (ανάπτυξη ριζών) κάποιου είδους σπόρων στο υπό μελέτη ρυπασμένο έδαφος και της βλαστικότητας των ίδιων σπόρων σε πρότυπο εδαφικό υλικό (δείγμα αναφοράς).

Ο δείκτης βλάστησης υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Δείκτης βλάστησης Δ.Β. ή . .(}\% \text{)} 100 = \Sigma.Μ.100/\Sigma\text{o.Μο}$$

όπου:

- Σ: ο μέσος όρος του αριθμού των σπόρων που βλάστησαν στο υπό εξέταση δείγμα
- Σο: ο μέσος όρος των σπόρων που βλάστησαν στα δείγματα αναφοράς (συνήθως το σύνολο των δειγμάτων αναφοράς είναι 3)
- Μο: ο μέσος όρος του μήκους των ριζών των σπόρων που βλάστησαν στα δείγματα αναφοράς
- Μ: ο μέσος όρος του μήκους των ριζών των σπόρων που βλάστησαν στο υπό εξέταση δείγμα

Η τιμή του δείκτη βλάστησης καθορίζει την φυτοτοξικότητα του ρυπασμένου εδάφους, ως εξής:

- α) Δείκτης βλάστησης = 0-65%, το έδαφος χαρακτηρίζεται ως φυτοτοξικό
- β) Δείκτης βλάστησης = 66-100%, το έδαφος χαρακτηρίζεται ως μη φυτοτοξικό
- γ) Δείκτης βλάστησης >100%, το έδαφος θεωρείται φυτοδιεγερτικό.

Συνήθως, το δείγμα εξετάζεται υπό διάφορες συγκεντρώσεις (π.χ. τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις) έτσι ώστε τα προκύπτοντα αποτελέσματα σχετικά με την φυτοτοξικότητα να είναι πιο αξιόπιστα και να δίδουν μια εικόνα της επιρροής της συγκέντρωσης του δείγματος στην βλαστικότητα του εκάστοτε χρησιμοποιούμενου είδους σπόρων. Στην περίπτωση λοιπόν που εξετάζονται τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις Α, Β και C, υπολογίζονται τρεις δείκτες βλαστικότητας GI<sub>A</sub>, GI<sub>B</sub> και GI<sub>C</sub> και τα αποτελέσματα διεξάγονται βάσει του ακόλουθου πίνακα:

GI <sub>A</sub>	GI <sub>B</sub>	GI <sub>C</sub>	Συμπέρασμα
<66%	<66%	<66%	Εξαιρετικά φυτοτοξικό δείγμα
<66%	<66%	>66%	Ελαφριά λιγότερο φυτοτοξικό δείγμα
<66%	>66%	>66%	Ελαφριά φυτοτοξικό δείγμα – ακίνδυνο σε χαμηλές συγκεντρώσεις
>66%	>66%	>66%	Μη φυτοτοξικό δείγμα

Μια δεύτερη παράμετρος που μπορεί να υπολογιστεί και να δώσει εξίσου σημαντικά στοιχεία για την τοξικότητα ενός στερεού δείγματος είναι ο συντελεστής αναστολής, ο οποίος καθορίζει την επί τοις εκατό αναστολή (εμπόδιση) της βλάστησης συγκεκριμένων σπόρων, η οποία οφείλεται στην τοξικότητα ρύπων που πιθανόν βρίσκονται μέσα στο έδαφος. Ο συντελεστής αναστολής προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$\text{Συντελεστής αναστολής βλάστησης: } (\%) A B 100 = (A-B).100/A$$

όπου:

A: ο μέσος όρος του αριθμού των σπόρων που βλάστησαν ή μέσος όρος του μήκους των ριζών των σπόρων που βλάστησαν στα δείγματα αναφοράς

B: ο μέσος όρος του αριθμού των σπόρων που βλάστησαν στα δείγματα ή ο μέσος όρος του μήκους των ριζών των σπόρων που βλάστησαν στα υπό εξέταση δείγματα

Βάσει του δείκτη αναστολής βλάστησης μπορεί να υπολογιστεί ο δείκτης τοξικότητας IC<sub>50</sub> (Inhibitory Concentration 50%), ο οποίος εκφράζει τη συγκέντρωση του υπό εξέταση δείγματος που μπορεί να προκαλέσει 50% αναστολή της βλάστησης ενός συγκεκριμένου είδους σπόρων.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το τελικό αποτέλεσμα της προσπάθειας αυτής, ενθουσίασε όλους, μαθητές και εκπαιδευτικούς. Οι μαθητές μας, αποκόμισαν εξειδικευμένες γνώσεις γύρω από διαδικασίες βιοελέγχου της ρύπανσης των εδαφών και προβληματίστηκαν από τα αποτελέσματα, ιδίως στις περιπτώσεις έντονης επιβάρυνσης. Ήρθαν σε επαφή με καλλιεργήσιμες και εγκαταλειμμένες άγονες παραλίμνιες περιοχές, με τα ποτάμια και τις λίμνες της περιοχής και τα εδάφη τους. Συνεργάστηκαν με τους τοπικούς και άλλους φορείς, που είναι υπεύθυνοι για την ολιστική διαχείριση του μεγάλου εθνικού πάρκου που βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή του νομού Θεσσαλονίκης. Τους δόθηκε η ευκαιρία να εφαρμόσουν και να εμπλουτίσουν τις γνώσεις τους. Η συνεργατική δουλειά της ομάδας και των εκπαιδευτικών τους έδωσε τη δυνατότητα να εργασθούν δημιουργικά σε θέματα γνώσης του προβλημάτων του περιβάλλοντος, αποτέλεσμα ανθρωπογενούς επίδρασης πάνω σ' αυτό, να διατυπώσουν ερωτήματα και απόψεις, να διαμορφώσουν στάσεις, να κρίνουν, να στηλιτεύσουν, να αντιδράσουν, να απορρίψουν τέλος πρακτικές ασύστολης εκμετάλλευσης και αδιαφορίας για περιβαλλοντικά εγκλήματα που συντελούνται γύρω μας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Baird DJ, Douben PE, Greig-Smith P, Maltby L, 2003, eds. *ECOTOXICOLOGY: Ecological Dimensions*, Ecotoxicology Series, vols 1-10,1994-2003. Chapman & Hall, London.
2. Hoffman DJ, Rattner BA, 1994, eds. *Handbook of Ecotoxicology*. CRC Press, Boca Raton , FL, 1994.
3. Cairns J, Jr. ,1994. *Ecological Toxicity: Scale, Complexity and Relevance*. CRC Press, Boca Raton, FL, 1994
4. Newman MC, Jago CH.,1996. *Ecotoxicology: A Hierarchical Treatment*. CRC Press, Boca Raton, FL, 1996.
5. Jorgensen SE, Sorensen BH, Mahler A.,1998. *Handbook of Estimation Methods in Ecotoxicology and Environmental Chemistry*. CRC Press, Boca Raton, FL, 1998.
6. Newman MC, Unger MA, 2002. eds. *Fundamentals of Ecotoxicology*, 2<sup>nd</sup> ed. CRC Press, Boca Raton, FL, 2002.
7. Forbes VE, Forbes TL., 1993. *Ecotoxicology in Theory and Practice*. Chapman & Hall, London, 1993.