

**Πανεπιστήμιο Πειραιά**  
Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης  
& Τεχνολογίας

**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**  
Σχολή Χημικών Μηχανικών

**Δ.Π.Μ.Σ. Οργάνωση & Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων**  
**Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας & Προστασία Περιβάλλοντος**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ**  
**ΤΗΣ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ**  
**ΚΟΥΛΙΚΟΥΡΔΗ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ**

*Εισηγήτρια: Ε. Γρηγοροπούλου*

**ΑΘΗΝΑ 2004**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με βοήθησαν για την πραγματοποίηση της πτυχιακής μου μελέτης.

Ειδικότερα θα ήθελα να εκφράσω τις βαθύτατες ευχαριστίες μου στην Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Εργαστηρίου Τεχνικής Χημικών Διεργασιών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., κ. Ελένης Γρηγοροπούλου τόσο για την ανάθεση της διπλωματικής μελέτης όσο και για την κριτική ανάγνωση και διόρθωσή της.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνω στον Δρα Ευάγγελο Πασπάτη, του Εργαστηρίου Ολοκληρωμένης Αντιμετώπισης και Φυτορρυθμιστικών ουσιών του Μπενακείου Φυτοπαθολογικού Ινστιτούτου, για την ανεκτίμητη βοήθεια που μου προσέφερε και για τις πολύτιμες συμβουλές και υποδείξεις του κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του Εργαστηρίου Τεχνικής Χημικών Διεργασιών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π και ιδιαίτερα τον υποψήφιο διδάκτορα Δημήτρη Γεωργαντά για τη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής μου μελέτης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Ολοκληρωμένης Αντιμετώπισης και Φυτορρυθμιστικών ουσιών του Μπενακείου Φυτοπαθολογικού Ινστιτούτου και ιδιαίτερα την Μαρία Παπαευθυμίου, την Βάγια Κατή και την Αλεξία Δαμουλιάνου.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΛΟΥΜΙΝΑΣ.....</b>                      | <b>10</b> |
| Παραγωγή αλουμίνας στην Ελλάδα.....                             | 10        |
| Βωξίτης.....  | 10        |
| Αλουμίνα.....   | 11        |
| Πρωτόχυτο Αλουμίνιο.....  | 12        |
| <b>ΠΡΩΤΗ ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗ.....</b>                                    | <b>13</b> |
| Ο κλάδος της Έλασης.....  | 13        |
| Ο κλάδος της Διέλασης.....                                      | 14        |
| Τελικά προϊόντα.....  | 15        |
| Παγκόσμια παραγωγή και κατανάλωση αλουμινίου.....               | 16        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ</b>                       |           |
| <b>ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ.....</b>                | <b>23</b> |
| ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ.....                                     | 23        |
| ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ.....                                    | 25        |
| ΥΓΡΑΣΙΑ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ.....                                      | 25        |
| ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ.....                         | 25        |
| ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ.....                               | 26        |
| ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ.....                                       | 30        |
| ΔΙΑΦΟΡΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΣ.....                    | 31        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ.....</b>                   | <b>33</b> |
| ΔΙΑΘΕΣΗ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ.....                          | 33        |
| ΔΙΑΘΕΣΗ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ ΣΤΗ ΣΤΕΡΙΑ.....                           | 35        |
| Η ερυθρά ιλύς ως εδαφικό βελτιωτικό.....                        | 35        |
| Επανόρθωση (fixation) εδαφών με τη χρήση της ερυθράς ιλύος..... | 41        |
| Χρήσεις ερυθράς ιλύος σε βιομηχανικές εφαρμογές.....            | 42        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΕΣΤ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ.....</b>                        | <b>46</b> |
| Χρήσεις των τεστ τοξικότητας.....                               | 49        |
| Υδροχαρή φυτά: Λέμνα ( <i>Lemna minor</i> L.).....              | 50        |
| Εφαρμογές δοκιμών.....  | 51        |

|  |           |
|--|-----------|
| Επιλογή και προετοιμασία των οργανισμών στα τεστ ..... | 52        |
| Καλλιέργεια των οργανισμών για το τεστ .....           | 52        |
| Ασθένειες και εχθροί.....                              | 54        |
| Διαδικασία του τεστ τοξικότητας.....                   | 54        |
| Αποτελέσματα του τεστ .....                            | 56        |
| Στατιστική ανάλυση.....                                | 56        |
| Ποιοτικός έλεγχος.....                                 | 57        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΒΙΟΔΟΚΙΜΗ ΦΥΤΩΝ ΚΑΡΔΑΜΟΥ ΣΕ</b>         |           |
| <b>ΕΡΥΘΡΑ ΙΛΥ.....</b>                                 | <b>58</b> |
| 5.1. Σκοπός.....                                       | 58        |
| 5.2. Υλικά και Μέθοδοι .....                           | 58        |
| 5.3. Αποτελέσματα .....                                | 59        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΒΙΟΔΟΚΙΜΗ ΦΥΤΩΝ ΛΕΜΝΑΣ ΣΕ</b>           |           |
| <b>ΕΡΥΘΡΑ ΙΛΥ.....</b>                                 | <b>61</b> |
| 6.1. Σκοπός.....                                       | 61        |
| 6.2. Υλικά και Μέθοδοι .....                           | 61        |
| 6.3. Αποτελέσματα .....                                | 63        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΒΙΟΔΟΚΙΜΗ ΣΙΤΑΡΙΟΥ ΣΕ ΕΡΥΘΡΑ</b>        |           |
| <b>ΙΛΥ.....</b>  | <b>67</b> |
| 7.1. Σκοπός.....                                       | 67        |
| 7.2. Υλικά και Μέθοδοι .....                           | 67        |
| 7.3. Αποτελέσματα .....                                | 68        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>        | <b>81</b> |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>                     | <b>86</b> |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>                    | <b>88</b> |
| Στατιστικά αποτελέσματα.....                           | 88        |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>                              | <b>98</b> |

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

|  |    |
|--|----|
| Πίνακας 1. Πρωτογενής παραγωγή αλουμινίου .....  | 19 |
| Πίνακας 2. Ικανότητα πρωτογενούς παραγωγής αλουμινίου.....   | 20 |
| Πίνακας 3. Ικανότητα παραγωγής αλουμίνιας .....  | 21 |
| Πίνακας 4. Ικανότητα παραγωγής αλουμίνιας .....  | 22 |
| Πίνακας 5. Κοκκομετρική κατανομή Ερυθράς Ιλύος στην περιοχή Shanxi της Κίνας .....   | 26 |
| Πίνακας 6. Κοκκομετρική κατανομή Ερυθράς Ιλύος Κορινθιακού κόλπου .....  | 26 |
| Πίνακας 7. Χημική ανάλυση Ερυθράς Ιλύος (% κ.β.) επαρχίας Shanxi της Κίνας .....   | 27 |
| Πίνακας 8. Σύγκριση χημικής ανάλυσης Ερυθράς Ιλύος (% κ.β.) βόρειας Αυστραλίας και Αμερικής .....                                      | 28 |
| Πίνακας 9. Χημική ανάλυση Ερυθράς Ιλύος (% κ.β.) από την Γερμανία .....  | 28 |
| Πίνακας 10. Χημική ανάλυση ελληνικής Ερυθράς Ιλύς (% κ.β.) .....   | 29 |
| Πίνακας 11. Σύγκριση χημικής σύστασης Ερυθράς Ιλύος (% κ.β.) .....   | 29 |
| Πίνακας 12. Προστασία του χάλυβα από την διάβρωση για εποξυδικά επιστρώματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις χρωστικής ερυθράς ιλύς. .... | 45 |
| Πίνακας 13. Πρότυπα τεστ τοξικότητας στην εδαφική οικο-τοξικολογία .....   | 46 |
| Πίνακας 14. Ουσίες περισσότερο τοξικές σε υδρόβια φυτά από ότι σε ζωικούς οργανισμούς .....  | 49 |
| Πίνακας 15. Υδατικό θρεπτικό διάλυμα Λέμνας.....   | 53 |
| Πίνακας 16. Βάρος φυτών Λέμνας.....  | 64 |
| Πίνακας 17. Ύψος φυτών σιταριού (cm) .....   | 69 |
| Πίνακας 18. Νωπό βάρος σιταριού (gr / φυτό) .....  | 72 |
| Πίνακας 19. Μετρούμενο pH στα υποστρώματα φυτοχώματος, τύρφης και περλίτη. ....  | 76 |
| Πίνακας 20. Κοκκομετρική σύσταση φυτοχώματος, τύρφης και περλίτη. ....   | 78 |
| Πίνακας 21. Μέσος όρος ύψους φυτών με υπόστρωμα το φυτόχωμα, την τύρφη και τον περλίτη. ....   | 88 |
| Πίνακας 22. Μέσος όρος νωπού βάρους φυτών με υπόστρωμα το φυτόχωμα, την τύρφη και τον περλίτη. ....                                    | 89 |
| Πίνακας 23. Μέτρα διασποράς για το ύψος φυτού σιταριού σε υπόστρωμα φυτόχωμα. ....   | 90 |

|  |    |
|--|----|
| Πίνακας 24. Μέτρα διασποράς για το ύψος φυτού σιταριού σε υπόστρωμα τύρφη.....                   | 90 |
| Πίνακας 25. Μέτρα διασποράς για το ύψος φυτού σιταριού σε υπόστρωμα περλίτη. ....                | 90 |
| Πίνακας 26. Μέτρα διασποράς για το βάρος φυτού σιταριού σε υπόστρωμα φυτόχωμα. ....              | 91 |
| Πίνακας 27. Μέτρα διασποράς για το βάρος φυτού σιταριού σε υπόστρωμα τύρφη.....                  | 91 |
| Πίνακας 28. Μέτρα διασποράς για το βάρος φυτού σιταριού σε υπόστρωμα περλίτη. ....               | 91 |
| Πίνακας 29. Ανάλυση παραλλακτικότητας ANOVA των μέσων όρων του ύψους σε υπόστρωμα φυτόχωμα. .... | 92 |
| Πίνακας 30. Ανάλυση παραλλακτικότητας ANOVA των μέσων όρων του ύψους σε υπόστρωμα τύρφη.....     | 93 |
| Πίνακας 31. Ανάλυση παραλλακτικότητας ANOVA των μέσων όρων του ύψους σε υπόστρωμα περλίτη.....   | 93 |
| Πίνακας 32. Ανάλυση παραλλακτικότητας ANOVA του βάρους σε υπόστρωμα φυτόχωμα. ....               | 93 |
| Πίνακας 33. Ανάλυση παραλλακτικότητας ANOVA του βάρους σε υπόστρωμα τύρφη.....                   | 94 |
| Πίνακας 34. Ανάλυση παραλλακτικότητας ANOVA του βάρους σε υπόστρωμα περλίτη. ....                | 94 |
| Πίνακας 35. Διαχωρισμός των μέσων του ύψους σε υπόστρωμα φυτόχωμα.....                           | 95 |
| Πίνακας 36. Διαχωρισμός των μέσων του ύψους σε υπόστρωμα τύρφη.....                              | 95 |
| Πίνακας 37. Διαχωρισμός των μέσων του ύψους σε υπόστρωμα περλίτη.....                            | 96 |
| Πίνακας 38. Διαχωρισμός των μέσων του βάρους σε υπόστρωμα φυτόχωμα.....                          | 96 |
| Πίνακας 39. Διαχωρισμός των μέσων του βάρους σε υπόστρωμα τύρφη.....                             | 96 |
| Πίνακας 40. Διαχωρισμός των μέσων του βάρους σε υπόστρωμα περλίτη.....                           | 97 |

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

|   |    |
|---|----|
| Εικόνα 1. Πωλήσεις της εταιρείας Αλουμίνιο της Ελλάδος στο εσωτερικό και στο εξωτερικό την δεκαετία 1993-2002.....  | 12 |
| Εικόνα 2. Λέμνα ( <i>Lemna minor</i> L.).....   | 51 |
| Εικόνα 3. Ανάπτυξη των φυτών καρδάμου 28 ημέρες μετά την φύτευσή τους σε υπόστρωμα περλίτη αναμεμιγμένο με ερυθρά ιλύ σε αναλογίες 5 gr ερυθράς ιλύος με 2 gr περλίτη και 11 gr ερυθράς ιλύος με 2 gr περλίτη. ....                                       | 60 |
| Εικόνα 4. Μετρούμενο βάρος των μέσων όρων των δύο επαναλήψεων φυτών Λέμνας σε γραμμάρια, σε 8 διαφορετικές αναλογίες ερυθράς ιλύος (gr/l) (Α). Ποσοστά ανάσχεσης της ανάπτυξης των φυτών Λέμνας σε 8 διαφορετικές αναλογίες ερυθράς ιλύος (gr/l) (Β)..... | 66 |
| Εικόνα 5. Μετρούμενο ύψος των μέσων όρων των τεσσάρων επαναλήψεων φυτών σιταριού σε εκατοστά, σε υπόστρωμα φυτοχώματος (Α), τύρφης (Β) και περλίτη (Γ).....   | 71 |
| Εικόνα 6. Μετρούμενο νωπό βάρος των μέσων όρων των τεσσάρων επαναλήψεων φυτών σιταριού σε γραμμάρια, σε υπόστρωμα φυτοχώματος (Α), τύρφης (Β) και περλίτη (Γ).....  | 75 |
| Εικόνα 7. Αναλογία κοκκομετρικής σύστασης του φυτοχώματος, της τύρφης και του περλίτη.....  | 79 |
| Εικόνα 8. Σύγκριση των τριών υποστρωμάτων (τύρφη, περλίτης και φυτόχωμα) σε σκέτο μάρτυρα και σε ποσότητα 100 gr ερυθράς ιλύος αναμεμιγμένη με υπόστρωμα .....  | 80 |

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ερυθρά ιλύς είναι το υπόλειμμα κατά την επεξεργασία του βωξίτη για την παραγωγή αλουμινίου με την μέθοδο Bayer. Στην Ελλάδα παράγονται 750.000 τόνοι ένυδρης αλουμίνας εκ των οποίων το 90% χρησιμοποιείται για την παραγωγή αλουμινίου. Για κάθε τόνο παραγόμενης αλουμίνας παράγεται ένας με δύο τόνοι ερυθράς ιλύος, η ποσότητα της οποίας εξαρτάται από την ποιότητα της επεξεργασίας του βωξίτη. Η παραγόμενη ποσότητα ερυθράς ιλύος ανέρχεται σε περίπου 680.000 τόνους το έτος και απορρίπτεται στον Κορινθιακό κόλπο μέσω ενός αγωγού 500 μέτρων από την στεριά. Στην παρούσα μελέτη μελετήθηκαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ερυθράς ιλύος. Η ελληνική ερυθρά ιλύς είναι πλούσια σε  $Fe_2O_3$  ενώ περιέχει σημαντικά ποσοστά  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  και  $CaO$ . Σε μικρότερα ποσοστά υπάρχουν  $TiO_2$ ,  $Na_2O$ ,  $MgO$ ,  $K_2O$ ,  $V_2O_5$ . Επίσης το pH της είναι αρκετά υψηλό και κυμαίνεται από 9 έως 12, όπως επίσης και η αλκαλικότητά της που κυμαίνεται από 16 με 232 meq/l. Έχει χαμηλή περιεκτικότητα των αναγκαίων για τα φυτά μακρο- και μικρο-στοιχείων. Η ορυκτολογική σύσταση της ερυθράς ιλύος αποτελείται από Αιματίτη ( $\alpha-Fe_2O_3$ ), Πυριτικό, Διάσπορο ( $Al_2O_3 \cdot H_2O$ ), Ασβεστίτη και σύνθετες ενώσεις (Si-Na-Mg-Ca-Al). Ακόμη στην παρούσα μελέτη έγινε ανασκόπηση της βιβλιογραφίας όσον αφορά τις χρήσεις της ερυθράς ιλύος. Η ερυθρά ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφικό βελτιωτικό αναμεμιγμένη συνήθως με γύψο ή οργανικές ουσίες όπως αστικά λύματα για μείωση του εδαφικού pH, κυρίως σε αμμώδη εδάφη. Επιπρόσθετα η ερυθρά ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανικές εφαρμογές χάρη στη χημική και κοκκομετρική της σύσταση που την καθιστούν ένα υποψήφιο υλικό για χρήση στις βιομηχανίες τσιμέντου και παραδοσιακών κεραμικών καθώς και στην παραγωγή άλλων οικοδομικών υλικών (ελαφρά αδρανή, πορώδες, πλίνθοι κτλ), στην μεταλλουργία, στην επεξεργασία αποβλήτων, στην κατάλυση, στην επανόρθωση των εδαφών με την απομάκρυνση φωσφόρου (P) και βαρέων μετάλλων από το έδαφος και τα νερά, στην παραγωγή χρωμάτων, σιδήρου και τιτανίου. Στη συνέχεια μελέτη αξιολογήθηκε η δυνατότητα της ερυθράς ιλύος να χρησιμοποιηθεί σε γεωργικές εφαρμογές. Η ερυθρά ιλύς αναμίχθηκε με περλίτη και χρησιμοποιήθηκε ως υπόστρωμα στο φυτό κάρδαμο (*Lepidium sativum*), το οποίο και αναπτύχθηκε κανονικά σε συνθήκες δωματίου. Επιπλέον σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και φωτισμού η ερυθρά ιλύς μαζί με θρεπτικό διάλυμα Hoagland



δεν προκάλεσε την πλήρη ανάσχεση των φυτών Λέμνας (*Spirodella polyrhiza*). Οι μεγάλες ποσότητες ερυθράς ιλύος είχαν τοξική επίδραση στα φυτά και εμπόδισαν την ανάπτυξή τους. Οι μικρές ποσότητες ερυθράς ιλύος σε σχέση με τις ενδιάμεσες, προκάλεσαν μεγαλύτερη ανάσχεση της βλάστησης των φυτών Λέμνας κάτι το οποίο σημαίνει ότι ενδέχεται σε μικρές αναλογίες κάποιο συστατικό της ερυθράς ιλύος να δρα ανασταλτικά στην ανάπτυξη των φυτών. Ακόμη, η ερυθρά ιλύς αναμίχθηκε με τρία διαφορετικά υποστρώματα (φυτόχωμα, τύρφη και περλίτη) και δεν προκάλεσε την πλήρη ανάσχεση της ανάπτυξης των φυτών σιταριού (*Triticum aestivum*) σε μη κλιματιζόμενο θερμοκήπιο. Από τις μετρήσεις του ύψους και του βάρους των φυτών σιταριού η ερυθρά ιλύς στην αναλογία των 1000 gr/l υποστρώματος επέδρασε αρνητικά στην ανάπτυξη των φυτών σε σχέση με τις άλλες δύο αναλογίες (100 και 500 gr/l). Τα φυτά σιταριού αναπτύχθηκαν πολύ καλύτερα στο υπόστρωμα του φυτοχώματος σε σύγκριση με το υπόστρωμα της τύρφης και του περλίτη, γιατί το φυτόχωμα περιέχει οργανικά και ανόργανα θρεπτικά συστατικά που ευνοούν την ανάπτυξη των φυτών σε αντίθεση με την τύρφη και τον περλίτη, τα οποία περιέχουν από λίγα έως καθόλου θρεπτικά συστατικά (οργανικά και ανόργανα). Στο τέλος της παρούσας εργασίας προτείνεται η ανάμιξη της ερυθράς ιλύος με φυτόχωμα και η χρησιμοποίησή της ως εδαφικό βελτιωτικό στα ελληνικά εδάφη, αξιοποιώντας έτσι ένα ποσοστό της παραγόμενης ερυθράς ιλύος. Επίσης προτείνεται η ανάμιξη της ερυθράς ιλύος με γύψο για την αποκατάσταση παλαιών λατομείων με εγκατάσταση βλάστησης αυτών των χώρων με φυτά ανθεκτικά στην αλατότητα και αλκαλικότητα του εδάφους (φυτά της οικογένειας Graminae).

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΛΟΥΜΙΝΑΣ**

## **Παραγωγή αλουμίνιας στην Ελλάδα**

Ο κλάδος του αλουμινίου στην Ελλάδα χαρακτηρίζεται από έντονο δυναμισμό, από την εποχή των νηπιακών του βημάτων της δεκαετίας του 1960. Οι ρυθμοί ανάπτυξης του ήταν και είναι από τους σταθερότερους και υψηλότερους της ελληνικής οικονομίας. Από την ίδρυση της βιομηχανικής μονάδας παραγωγής πρωτόχυτου της Αλουμίνιον της Ελλάδος, στις αρχές της δεκαετίας του 1960, που επέτρεψε την εκμετάλλευση του μεγάλου όγκου εγχώριων κοιτασμάτων βωξίτη, ο κλάδος γνώρισε μια συνεχή δυναμική άνοδο, φτάνοντας σήμερα να αντιπροσωπεύει το 1,7% του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος (Α.Ε.Π.) παρέχοντας πάνω από 50.000 θέσεις εργασίας στον ευρύτερο εργασιακό χώρο. Οι συνεχείς επενδύσεις σε τεχνολογία και τεχνογνωσία, κατέστησαν τον κλάδο αφ' ενός πρότυπο για την εσωτερική οικονομική ανάπτυξη και επιχειρηματική δράση και αφ' ετέρου κατέστησαν τα προϊόντα της ελληνικής βιομηχανίας ανταγωνιστικά, όχι μόνον στην εσωτερική αγορά, αλλά και στην απαιτητική ευρωπαϊκή αγορά. Οι εξαγωγές αφορούν κυρίως τον πλεονάζοντα βωξίτη, αλουμίνα, πρωτόχυτο αλουμίνιο και προϊόντα πρώτης μεταποίησης, ενώ πρόσφατα διελάσεις προωθούν ολοκληρωμένα συστήματα κουφωμάτων, ακόμη και σε πολύ ανταγωνιστικές αγορές, όπως αυτή της Γερμανίας, ενώ έχουν κατακτήσει μεγάλο μέρος των αγορών στις χώρες των Βαλκανίων και της Ανατολικής και Κεντρικής Ευρώπης. Τα βασικά προϊόντα πρώτης μεταποίησης που εξάγονται είναι αυτά της έλασης καλωδίων και χυτών, που συνολικά αφορούν περίπου το 58% της συνολικής εγχώριας παραγωγής. Αναλυτικότερα, η σημερινή κατάσταση του κλάδου αποτυπώνεται με διαύγεια στα παρακάτω στοιχεία, πολλά από τα οποία προέρχονται από την Ελληνική Ένωση Αλουμινίου.

### **Βωξίτης**

Ο βωξίτης, η βασική πρώτη ύλη για την παραγωγή πρωτόχυτου αλουμινίου υπάρχει σε μεγάλες ποσότητες στο υπέδαφος της ελληνικής επικράτειας. Με βεβαιωμένα αποθέματα 120 εκατ. τόνων, η Ελλάδα κατέχει παγκοσμίως την 8η θέση των περιοχών με τα μεγαλύτερα αποθέματα βωξίτη (πρώτη ύλη για παραγωγή αλουμίνιας)

και πρακτικώς είναι η μόνη βωξίτοπαραγωγός χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σύμφωνα με στοιχεία του Συνδέσμου Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων, το έτος 2002 παρήχθησαν 2.492.000 τόνοι βωξίτη παρουσιάζοντας ετήσια αύξηση 21% σε σχέση με το 2001. Τα κύρια χαρακτηριστικά του Ελληνικού βωξίτη είναι:

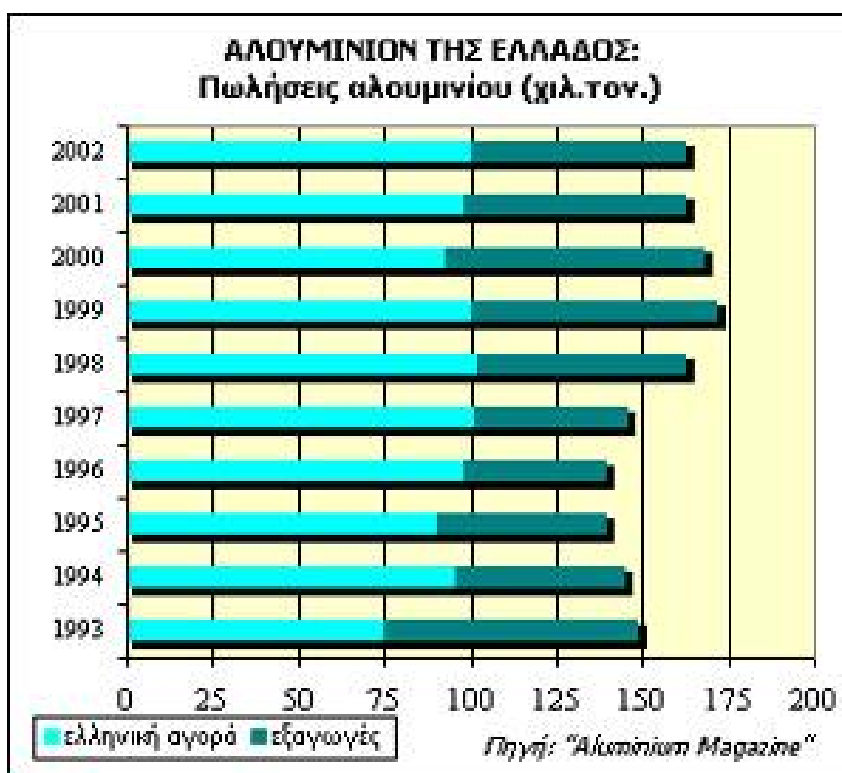
- Πλούσιος σε περιεκτικότητα αλουμίνας
- Δύσκολα κοιτάσματα ορυκτού (υψηλή σκληρότητα)
- Μικρά και διασκορπισμένα κοιτάσματα
- Υψηλότερο κόστος εξόρυξης από αυτό άλλων παραγωγών χωρών (Αυστραλίας, Τζαμάικας, Ινδιών, Βραζιλίας), όπου το βάθος εξόρυξης ξεκινά στο ένα μέτρο του υπεδάφους, πολλές φορές.

### **Αλουμίνα**

Η αλουμίνα είναι το βασικό ενδιάμεσο προϊόν για τη μεταλλουργία αλουμινίου. Όπως σε όλο τον κόσμο, έτσι και στην Ελλάδα, το 90% της παραγωγής αλουμίνας χρησιμοποιείται για την παραγωγή αλουμινίου και το υπόλοιπο στη χημική βιομηχανία πυριμάχων. Με παραγωγή ένυδρης αλουμίνας 750.000 τόνων - κατά 31.000 τόνους ανώτερη της περσινής - από την Αλουμίον της Ελλάδος, επετεύχθη ρεκόρ παραγωγής κατά το 2002. Σε αυτό συνετέλεσε η διαδικασία του sweetening, που είχε ξεκινήσει το 2000 και λειτούργησε επιτυχώς. Οι βελτιώσεις της χημικής διαδικασίας και της ακρίβειας των μηχανολογικών εξοπλισμών, αποτέλεσαν τους παράγοντες αυτής της επιτυχίας. Κατά τη διάρκεια του 2002 πωλήθηκαν από την Αλουμίον της Ελλάδος, τη μοναδική παραγωγό στη χώρα μας, 433.000 τόνοι αλουμίνας, και οι οποίοι είναι αυξημένοι κατά 9% σε σχέση με το 2001. Όπως και τα προηγούμενα χρόνια, κατά την περσινή χρονιά το μεγαλύτερο μέρος του όγκου των πωλήσεων εσωτερικού - κυρίως σε ένυδρη μορφή - αντιπροσωπεύει μόλις το 1% του συνολικού όγκου των πωλήσεων. Η αύξηση της παραγωγής πρωτόχυτου αλουμινίου είχε ως αποτέλεσμα την απορρόφηση του πλεονάσματος στην αγορά αλουμίνας, γεγονός που σε συνδυασμό με τις καλύτερες προοπτικές ζήτησης οδήγησε σε σημαντική αύξηση των τιμών. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ήμισυ της παραγωγής εξάγεται, ενώ οι άλλες ευρωπαϊκές χώρες εισάγουν το 35% των αναγκών τους σε αλουμίνα.

## Πρωτόχυτο Αλουμίνιο

Οι πωλήσεις πρωτόχυτου αλουμινίου σύμφωνα με στοιχεία της Αλουμίνιον της Ελλάδος, έφτασαν τους 163.900 τόνους το 2002, οι οποίες ήταν αυξημένες κατά 1% σε σχέση με το 2001. Σημειώνεται ότι το 1990 οι πωλήσεις πρωτόχυτου αλουμινίου, τόσο στην εσωτερική αγορά όσο και στις εξαγωγές, ήταν 155.000 τόνοι. Παράλληλα, η παραγωγή κολώνων έφτασε στους 108.500 τόνους. Η βιομηχανία πρωτόχυτου αλουμινίου είναι επίσης μια βαριά βιομηχανία εντάσεως κεφαλαίου που υπόκειται στην κυκλικότητα των χρηματιστηριακών τιμών του μετάλλου και κατ' εξοχήν ενεργοβόρος βιομηχανία. Το κόστος ενέργειας κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 30 - 40% του κόστους παραγωγής.



**Εικόνα 1.** Πωλήσεις της εταιρείας Αλουμίνιο της Ελλάδος στο εσωτερικό και στο εξωτερικό την δεκαετία 1993-2002.

## ΠΡΩΤΗ ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗ

Από τις αρχές της δεκαετίας του '70, η ελληνική βιομηχανία πρώτης μεταποίησης αλουμινίου (έλαση, διέλαση, καλώδια, χυτήρια) αναπτύχθηκε με εντυπωσιακούς ρυθμούς. Στην εξέλιξη αυτή επέδρασαν από την μια πλευρά η ύπαρξη εγχώριας πρώτης ύλης αλουμινίου και από την άλλη η ευρεία χρήση του αλουμινίου σε διάφορες εφαρμογές. Η παραγωγή του κλάδου, από μερικές χιλιάδες τόνους προϊόντων το 1970, έφτασε το 2002 στους 297 χιλ. τόνους. Οι πωλήσεις προϊόντων πρώτης μεταποίησης αλουμινίου κατά το 2002 απευθύνθηκαν κατά 41,6% στην εσωτερική αγορά και το υπόλοιπο 58,4% σε εξαγωγές. Σημειώνεται ότι η έλλειψη εγχώριας αυτοκινητοβιομηχανίας και ανεπτυγμένων κλάδων μηχανολογικών και ηλεκτρολογικών κατασκευών στη χώρα μας, έχει περιορίσει τη βιομηχανία πρώτης μεταποίησης αλουμινίου σε δύο βασικούς τομείς: την έλαση και την διέλαση.

### Ο κλάδος της Έλασης

Η εγχώρια αγορά έλασης αλουμινίου παρουσιάζει μέσο ρυθμό αύξησης 13,09% την τελευταία 12ετία. Πιο συγκεκριμένα, από τους 57.000 τόνους που ήταν η παραγωγή στις αρχές του 1990, το 2002 ανήλθε στους 163 χιλ. τόνους, παρουσιάζοντας ετήσια αύξηση σε ποσοστό 15,4% έναντι του 2001. Σε μεγάλο βαθμό, η εξέλιξη αυτή οφείλεται στις υψηλές επενδύσεις που έχει πραγματοποιήσει ο μοναδικός εκπρόσωπος του κλάδου στην Ελλάδα, η ΕΛΒΑΛ, η οποία για το 2003 αναμένεται να αυξήσει την παραγωγή της στους 200.000 τόνους. Οι εξαγωγές του 2002 αντιπροσωπεύουν το 73,9% των συνολικών πωλήσεων και ανήλθαν στους 97,9 χιλ. τόνους. Όσον αφορά στις προοπτικές, ο κλάδος, τουλάχιστον στην εγχώρια αγορά, δεν αναμένεται να δώσει στοιχεία περαιτέρω ανόδου την αμέσως προσηχή περίοδο, καθώς η αγορά δεν έχει περαιτέρω περιθώρια απορρόφησης περισσότερων τελικών προϊόντων. Η αναμενόμενη περαιτέρω ανάπτυξη έχει επικεντρωθεί στην συνεχή αύξηση της παραγωγής ημι-προϊόντων προς εξαγωγή. Επενδύσεις στο εξωτερικό (Βρετανία, εξαγορά της Mardon Star από τον βασικό παραγωγό ΕΛΒΑΛ) διευρύνουν τους ορίζοντες της ελληνικής έλασης σε Ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο, με αξιώσεις ποιότητας και αντοχές στον ανταγωνισμό.

## Ο κλάδος της Διέλασης

Σημαντική αύξηση παρουσίασαν την τελευταία 12ετία οι πωλήσεις των προϊόντων διέλασης, καθώς σημείωσαν αύξηση σε ποσοστό 157%. Συγκεκριμένα, από τους 52.000 τόνους που ήταν οι συνολικές πωλήσεις το 1990, ανήλθαν στους 134.000 τόνους το 2002, παρουσιάζοντας μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 11,9%. Οι πωλήσεις του κλάδου στην εσωτερική αγορά από τους 31.000 τόνους που ήταν το 1990, το 2002 ανήλθαν στους 81 χιλ. τόνους. Οι εξαγωγές το 2002 αντιπροσωπεύουν το 39% των συνολικών πωλήσεων του κλάδου, ενώ το 1990 αντιπροσώπευαν το 43% των συνολικών πωλήσεων, γεγονός, που μαζί με την αλματώδη αύξηση της παραγωγής αποδεικνύει την έντονη κατάκτηση της εσωτερικής αγοράς από το αλουμίνιο. Τα προϊόντα διέλασης (προφίλ) στην εγχώρια αγορά αφορούν τις αρχιτεκτονικές και κατασκευαστικές εφαρμογές. Χαρακτηριστικά προϊόντα στον τομέα αυτό αποτελούν τα εξωτερικά κουφώματα αλουμινίου. Τα κουφώματα αλουμινίου για εξωτερικά ανοίγματα οικοδομών κατέχουν ποσοστό πάνω από το 75% σε σχέση με τα αντίστοιχα προϊόντα άλλων υλικών (ξύλο 10%, PVC 15%). Η προτίμηση του ελληνικού καταναλωτικού κοινού για τα κουφώματα αλουμινίου δεν είναι τυχαία. Έχει αποδειχθεί ότι το αλουμίνιο είναι το πλέον κατάλληλο υλικό για εξωτερικά κουφώματα στις κλιματολογικές συνθήκες της Ελλάδος. Τα συστήματα κουφωμάτων αλουμινίου που κυκλοφορούν σήμερα στην ελληνική αγορά ικανοποιούν στο ακέραιο τις απαιτήσεις σε σχεδιασμό, λειτουργικότητα, αεροστεγάνωση, θερμομόνωση, ηχομόνωση και αντοχή στο χρόνο, με ελάχιστο κόστος συντήρησης. Στην εγχώρια αγορά, ο κλάδος της διέλασης αναμένεται να επωφεληθεί από την αύξηση της οικοδομικής δραστηριότητας, που παρατηρείται με την ένταση της λήψης στεγαστικών δανείων, αλλά και των νέων μέτρων που βρίσκονται υπό επεξεργασία από την κυβέρνηση και που έχουν στόχο την βελτίωση της καταναλισκόμενης ενέργειας από νέα και υπάρχοντα κτίρια. Επίσης, επωφελείται και από τις αντικαταστάσεις παλαιών κουφωμάτων, αφού κατά την συντριπτική πλειοψηφία τους τοποθετούνται κουφώματα από αλουμίνιο, ακόμα και σε παραδοσιακές περιοχές λόγω των νέων βαφών αποχρώσεων ξύλου. Πάντως, για τα επόμενα χρόνια είναι σίγουρο ότι η αύξηση της κατανάλωσης στην ελληνική αγορά θα επιβραδύνεται. Όμως, ο σχεδόν μονομερής προσανατολισμός των εταιριών του κλάδου προς τα οικοδομικά προφίλ δημιουργεί ανησυχίες για πιθανά προβλήματα ανταγωνισμού. Οι εταιρίες του κλάδου της διέλασης θα πρέπει να αναζητήσουν (και μερικές έχουν

αρχίσει αντίστοιχες κινήσεις) και άλλες λύσεις προς άλλους τομείς δραστηριότητας. Τέτοιου είδους δραστηριότητες είναι η παραγωγή ειδικών προφίλ και βιομηχανικού προφίλ. Τέλος, οι εξαγωγές θα πρέπει να αποτελούν - και αποτελούν ήδη - βασικό στόχο των εταιριών για την περαιτέρω αύξηση των πωλήσεών τους. Ήδη ένας σημαντικός αριθμός βιομηχανιών διέλασης έχει κατορθώσει να ανοιχτεί σε αγορές χωρών, όχι μόνον των Βαλκανίων και της Ανατολικής Ευρώπης, αλλά και της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η πιστοποίηση των βιομηχανιών διέλασης θα έχει ακόμη καλύτερα αποτελέσματα. Επιπρόσθετα όπλα μπορούν να θεωρηθούν οι συνεχείς επενδύσεις σε τεχνογνωσία, τεχνολογία, σχεδίαση, μάρκετινγκ και φυσικά στην συνεχή εκπαίδευση του προσωπικού.

### **Τελικά προϊόντα**

Ο τομέας αυτός της δεύτερης μεταποίησης, αφορά την παραγωγή τελικών προϊόντων με χρήση στην οικοδομή, συσκευασία, μεταφορές, οικιακό εξοπλισμό κλπ. Εκτιμάται ότι πάνω από 8.000 επιχειρήσεις από μεγάλες βιομηχανίες μέχρι μικρές οικογενειακές βιοτεχνίες, δραστηριοποιούνται στον τομέα αυτόν. Είναι δε αξιοσημείωτο ότι ο κύκλος εργασιών της δεύτερης μεταποίησης αντιπροσωπεύει το 42% του συνόλου του κλάδου. Ωστόσο, στην ελληνική αγορά υπάρχουν ακόμη μεγάλα περιθώρια ανάπτυξης του κλάδου, ιδιαίτερα μέσω εξειδικευμένων προϊόντων. Η κατανάλωση αλουμινίου στην Ελλάδα είναι σήμερα 15 κιλά ανά κάτοικο, έναντι 21 κιλών κατά μέσο όρο στην Ευρώπη, 34 κιλών στις Η.Π.Α. και 27 κιλών στην Ιαπωνία. Η μειωμένη κατανάλωση αλουμινίου στην Ελλάδα οφείλεται στο γεγονός ότι στην χώρα μας δεν υπάρχουν βασικοί βιομηχανικοί τομείς απορρόφησης αλουμινίου, όπως της αυτοκινητοβιομηχανίας και της ναυπηγικής, που είναι πρακτικά ανύπαρκτοι, και οι τομείς του οικιακού εξοπλισμού, των μηχανολογικών και ηλεκτρολογικών εφαρμογών που παρουσιάζουν πολύ μικρή ανάπτυξη. Αν και για τα επόμενα χρόνια τα εγχώρια προϊόντα αλουμινίου θα απευθύνονται κυρίως στους τομείς των οικοδομών και της συσκευασίας, ο κλάδος σίγουρα θα επωφεληθεί, μέσω των εξαγωγών, από τη διεύρυνση της χρήσης του αλουμινίου στις διεθνείς αγορές.

## Παγκόσμια παραγωγή και κατανάλωση αλουμινίου

Σύμφωνα με στοιχεία του 2002, υπάρχει μία οριακή αλλά σταθερή άνοδος της παραγωγής στη βιομηχανία πρωτόχυτου αλουμινίου. Η κρίση που πυροδοτήθηκε από τις τρομοκρατικές επιθέσεις της 11ης Σεπτεμβρίου, έχει δώσει την θέση της σε μια ανάκαμψη διαφορετική από τις προηγούμενες, καθώς τώρα η αγορά απορροφά τις αντιδράσεις της παγκοσμιοποιημένης διακίνησης προϊόντων και όχι μόνο πρωτόχυτου. Το αποτέλεσμα ήταν μια σχεδόν άμεση αλλά οριακή ανάκαμψη των τιμών των μετάλλων, καθώς ξανάρχισε η σταδιακή απορρόφηση μέρους των διεθνών αποθεματικών από τις ΗΠΑ και λιγότερο από την Ευρώπη.

Ένα μεγάλο μέρος της παραγωγής βασικών βιομηχανικών μετάλλων, που πριν την κρίση διοχετεύονταν στις ΗΠΑ και Ευρώπη, κατά την διάρκεια της κρίσης βρέθηκε χωρίς αγοραστές με αποτέλεσμα την υπερπροσφορά.

Η παραγωγή πρωτόχυτου αλουμινίου απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ενέργειας και υψηλή τεχνολογική βάση. Οι ΗΠΑ ηγούνται της παραγωγής, βασιζόμενες στους χαμηλούς φόρους ενέργειας και στην υψηλή κατανάλωση της εγχώριας αγοράς, που ξεπερνάει τα 270 εκ. ανθρώπων. Οι ΗΠΑ συνεχίζουν την σταθερή αυξητική τους πορεία, σε αντίθεση με την κατάσταση στο μεγαλύτερο μέρος της Λατινικής Αμερικής που βρίσκεται σε οικονομική ύφεση και στην Ευρωπαϊκή αγορά που παρουσίασε αδυναμία απορρόφησης προϊόντων.

Η κατάσταση άρχισε να αντιστρέφεται τον Ιούνιο του 2002 όταν χώρες όπως η Γερμανία και η Γαλλία είχαν θετικούς ρυθμούς ανάπτυξης, βάζοντας έτσι ένα τέλος στους αρνητικούς ρυθμούς ανάπτυξης των παραπάνω περιοχών, που τα τελευταία δύο χρόνια ταλαιπώρησαν αυτές τις οικονομίες.

Ο Καναδάς εν αντιθέσει δεν έχει μεγάλη εγχώρια αγορά, αλλά έχει προικιστεί από την φύση με μεγάλες λίμνες και καταρράκτες, κάτι το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα ένα πολύ χαμηλό κόστος ενέργειας και υψηλά ποσοστά αποθεματικών για εξαγωγές και χρήση σε ενεργοβόρες βιομηχανίες, όπως αυτή της παραγωγής πρωτόχυτου αλουμινίου. Για αυτό η βιομηχανία παραγωγής του Καναδά είναι από τις πλέον παραγωγικές.

Η Ρωσία, μαζί με τις υπόλοιπες χώρες της Κοινοπολιτείας Ανεξαρτήτων Χωρών μοιράζονται την βιομηχανική ιστορία της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, που λειτουργούσε με βάση τον κεντρικό σχεδιασμό. Εκτός από την μεγάλη δυναμικότητα



παραγωγής, οι ανάγκες αυτής της μεγάλης υπερδύναμης οδήγησαν την βιομηχανία αλουμινίου στην δημιουργία και εφαρμογή ορισμένων μοναδικών στο είδος τους κραμάτων, που δεν υπάρχουν αλλού στον κόσμο. Η παραγωγή δε στην περιοχή αυτή βρίσκεται σε συνεχή άνοδο καθώς οι εξαγωγές αλουμινίου συνεπάγονται πολύτιμο ξένο συνάλλαγμα. Σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα, η Ρωσία στοχεύει στην αγορά της Κίνας.

Η Κίνα είναι ο πιο νεότευκτος παραγωγός μεγάλων ποσοτήτων στον κόσμο. Με την στροφή της πιο πολυπληθούς χώρας στον κόσμο προς ένα σύστημα συγκρατημένου καταναλωτισμού, η χώρα αυτή των 1,2 δισ. ανθρώπων αντιπροσωπεύει την μεγαλύτερη αγορά στην υφήλιο. Με την αλλαγή του συστήματος ιδιοκτησίας ακίνητης περιουσίας, χιλιάδες άνθρωποι αγοράζουν διαμερίσματα τα οποία ανακαινίζουν χρησιμοποιώντας έτσι μεγάλο όγκο προϊόντων αλουμινίου. Η παραγωγή όμως του γίγαντα αυτού δεν είναι σε θέση να καλύψει την ζήτηση, που συμπληρώνεται από εισαγωγές και συνεχείς επενδύσεις σε νέες δυναμικότητες. Ελάχιστα είναι τα στοιχεία για την παραγωγική δυναμικότητα της Κίνας. Τα νέα φράγματα στον Κίτρινο ποταμό, που κατασκευάστηκαν για την αποτροπή των πλημμύρων, αναμένεται να αυξήσουν σημαντικά την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος δίνοντας έτσι ώθηση στην παραγωγή αλουμινίου με μικρότερο κόστος.

Οι χώρες της Λατινικής Αμερικής, που έχουν μία σχετικά μεγάλη παραγωγή βωξίτη, κατάφεραν να αποσπάσουν ένα τμήμα της διεθνούς αγοράς, υποβοηθούμενες από το χαμηλό κόστος ενεργείας, αλλά η κατάσταση των εσωτερικών αγορών τους δεν επιτρέπει στις εταιρίες παραγωγής αισιοδοξία και ασφάλεια, μια και η ύπαρξή τους εξαρτάται από τις εξαγωγές.

Η Ευρώπη παραμένει ένας από τους δύο μεγαλύτερους καταναλωτές και παραγωγούς πρωτόχυτου μετάλλου. Παρά την μεγάλη σχετικά παραγωγή, που φτάνει τους 3,5 εκ. τόνους, είναι αναγκασμένη να προβαίνει σε εισαγωγές, καθώς η βιομηχανία της γηραιάς ηπείρου είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη. Μάλιστα για φέτος, η αύξηση της ζήτησης αναμένεται να αυξηθεί στην Ευρώπη κατά 1,5%.

Η βαριά βιομηχανία στις ανεπτυγμένες χώρες, και ιδιαίτερα στις ΗΠΑ, Ιαπωνία και Ευρωπαϊκή Ένωση, βασίζεται όλο και πιο πολύ στην χρήση του αλουμινίου. Η βασικές χρήσεις αλουμινίου εστιάζονται στις συσκευασίες, στον τομέα κατασκευών κτιριακών εγκαταστάσεων και στην κατασκευή οχημάτων. Ο κλάδος του αυτοκινήτου και γενικότερα της κατασκευής μέσω μεταφορών, καταναλώνει περίπου 1 εκατομμύριο τόνους πρωτόχυτου αλουμινίου κατ' έτος και αναμένεται να

φτάσει τα 4 εκ τόνους στην επόμενη δεκαετία. Η αυξητική τάση κατανάλωσης στον κλάδο αυτό δεν είναι μόνον αποτέλεσμα της αυξημένης κατανάλωσης οχημάτων, αλλά και η σταθερά ανοδική πορεία χρήσης του μετάλλου για την κατασκευή τμημάτων οχημάτων που μέχρι τώρα κατασκευάζονταν από άλλα μέταλλα.

Η ραγδαία άνοδος της χρήσης του μετάλλου εστιάζεται σε χώρες με βαριά βιομηχανία, με αποτέλεσμα να δίδεται μια στρεβλή εικόνα της κατανάλωσης. Για παράδειγμα, η Γερμανία έχει σχεδόν οκταπλάσια κατανάλωση από την Ελλάδα, αλλά στην κατανάλωση της Γερμανίας προσμετράται και η κατασκευή αυτοκινήτων που πωλούνται εδώ στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες. Επομένως θα υπάρχει μια συνεχής άνοδος της παραγωγής αλουμινίου, καθώς το αλουμίνιο βρίσκει όλο και νέες χρήσεις. Έτσι σύντομα, νέες χώρες να προσθέτονται στο κατάλογο των παραγωγών, όπως για παράδειγμα η Μοζαμβίκη και το Τομπάγκο ( <http://www.alunet.gr>, 2002).

Τα παρακάτω δεδομένα προέρχονται από την στατιστική έκθεση του Διεθνούς Ινστιτούτου αλουμινίου ( <http://www.world-aluminium.org>, 2004) στις 20 Φεβρουαρίου 2004.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα δεδομένα πρωτογενούς παραγωγής αλουμινίου σε όλο τον κόσμο, συγκρίνοντας την παραγωγή των ετών 2000 έως 2003 και των μηνών του έτους 2003.

**Πίνακας 1.** Πρωτογενής παραγωγή αλουμινίου

| Περίοδος     | Πρωτογενής παραγωγή αλουμινίου (σε χιλιάδες μετρικούς τόνους) |              |              |                |               |               |              |        |
|--------------|---|--------------|--------------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------|
|              | Περιοχή<br>1  | Περιοχή<br>2 | Περιοχή<br>3 | Περιοχή<br>4/5 | Περιοχή<br>6Α | Περιοχή<br>6Β | Περιοχή<br>7 | Σύνολο |
| Έτος 2000    | 1.178   | 6.041        | 2.167        | 2.221          | 3.801         | 3.689         | 2.094        | 21.191 |
| Έτος 2001    | 1.369   | 5.222        | 1.991        | 2.234          | 3.885         | 3.728         | 2.122        | 20.551 |
| Έτος 2002    | 1.372   | 5.413        | 2.230        | 2.261          | 3.928         | 3.825         | 2.170        | 21.199 |
| Έτος 2003    | 1.428   | 5.495        | 2.275        | 2.475          | 4.068         | 3.996         | 2.198        | 21.935 |
| Ιαν. 2003    | 110   | 476          | 194          | 201            | 337           | 333           | 187          | 1.838  |
| Φεβ. 2003    | 99  | 432          | 177          | 184            | 306           | 302           | 169          | 1.669  |
| Μαρ.<br>2003 | 109   | 475          | 197          | 206            | 340           | 335           | 186          | 1.848  |
| Απρ. 2003    | 107   | 455          | 192          | 202            | 328           | 324           | 180          | 1.788  |
| Μάιο<br>2003 | 111   | 467          | 198          | 209            | 343           | 337           | 184          | 1.849  |
| Ιουν. 2003   | 112   | 450          | 191          | 202            | 334           | 327           | 178          | 1.794  |
| Ιουλ. 2003   | 117   | 463          | 194          | 203            | 343           | 338           | 184          | 1.842  |
| Αυγ. 2003    | 127   | 463          | 184          | 210            | 347           | 340           | 186          | 1.857  |
| Σεπ. 2003    | 129   | 446          | 178          | 205            | 338           | 333           | 184          | 1.813  |
| Οκτ. 2003    | 134   | 462          | 186          | 217            | 353           | 345           | 187          | 1.884  |
| Νοε. 2003    | 133   | 446          | 187          | 213            | 343           | 335           | 184          | 1.841  |
| Δεκ. 2003    | 137   | 461          | 196          | 223            | 356           | 347           | 189          | 1.909  |
| Ιαν. 2004    | 142   | 453          | 195          | 229            | 356           | 352           | 188          | 1.915  |

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται η ικανότητα πρωτογενούς παραγωγής αλουμινίου σε όλο τον κόσμο, ανά εξάμηνο για τα έτη 2003 έως 2006.

**Πίνακας 2.** Ικανότητα πρωτογενούς παραγωγής αλουμινίου

| Περίοδος   | Ικανότητα πρωτογενούς παραγωγής αλουμινίου<br>(σε χιλιάδες μετρικούς τόνους) |              |              |                |               |               |              |        |
|------------|--|--------------|--------------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------|
|            | Περιοχή<br>1   | Περιοχή<br>2 | Περιοχή<br>3 | Περιοχή<br>4/5 | Περιοχή<br>6Α | Περιοχή<br>6Β | Περιοχή<br>7 | Σύνολο |
| Ιουν. 2003 | 1.545  | 6.973        | 2.350        | 2.489          | 4.215         | 3.868         | 2.174        | 23.614 |
| Δεκ. 2003  | 1.596  | 6.989        | 2.312        | 2.628          | 4.184         | 3.893         | 2.193        | 23.795 |
| Ιουν. 2004 | 1.824  | 6.792        | 2.349        | 2.703          | 4.284         | 3.930         | 2.227        | 24.109 |
| Δεκ. 2004  | 1.958  | 6.794        | 2.357        | 2.703          | 4.298         | 3.939         | 2.251        | 24.300 |
| Ιουν. 2005 | 1.968  | 6.883        | 2.382        | 2.963          | 4.323         | 3.945         | 2.278        | 24.742 |
| Δεκ. 2005  | 1.966  | 6.983        | 2.418        | 3.108          | 4.389         | 3.985         | 2.298        | 25.147 |
| Ιουν. 2006 | 1.966  | 7.105        | 2.419        | 3.214          | 4.482         | 3.985         | 2.321        | 25.492 |
| Δεκ. 2006  | 1.982  | 7.105        | 2.519        | 3.214          | 4.483         | 3.986         | 2.323        | 25.612 |

Υποσημείωση Πίνακα 1 και 2:

Περιοχή 1: Αφρική (Καμερούν, Αίγυπτος, Γκάνα, Μοζαμβίκη, Νιγηρία, Νότιος Αφρική)

Περιοχή 2: Βόρεια Αμερική (Καναδάς, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής)

Περιοχή 3: Λατινική Αμερική (Αργεντινή, Βραζιλία, Μεξικό, Σουρινάμ, Βενεζουέλα)

Περιοχή 4: Ανατολική Ασία (Κίνα, Ιαπωνία, Βόρεια Κορέα, Νότια Κορέα, Τατζικιστάν)

Περιοχή 5: Νότια Ασία (Αζερμπαϊτζάν, Μπαχρέιν, Ινδία, Ινδονησία, Ιράν, Τουρκία, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα)

Περιοχή 6Α: Δυτική Ευρώπη (Γαλλία, Γερμανία, Ελλάδα, Ισλανδία, Ιταλία, Κάτω Χώρες, Νορβηγία, Ισπανία, Σουηδία, Ελβετία, Ηνωμένο Βασίλειο)

Περιοχή 6Β: Ανατολική / Κεντρική Ευρώπη (Βοσνία και Ερζεγοβίνη, Κροατία, Ουγγαρία, Πολωνία, Ρουμανία, Ομοσπονδία της Ρωσίας, Σερβία και Μαυροβούνιο, Σλοβακία, Σλοβενία, Ουκρανία)

Περιοχή 7: Ωκεανία (Αυστραλία, Νέα Ζηλανδία)

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται η παραγωγή αλουμίνας σε όλο τον κόσμο, για το τελευταίο τρίμηνο 2002 και για κάθε τρίμηνο του έτους 2003. Επίσης γίνεται σύγκριση της παραγωγής των ετών 2002 και 2003.

**Πίνακας 3.** Ικανότητα παραγωγής αλουμίνας

| Περίοδος                          | Διαβάθμιση αλουμίνας | Παραγωγή αλουμίνας (σε χιλιάδες μετρικούς τόνους) |           |           |             |            |            |           |        |
|-----------------------------------|----------------------|---|-----------|-----------|-------------|------------|------------|-----------|--------|
|                                   |                      | Περιοχή 1   | Περιοχή 2 | Περιοχή 3 | Περιοχή 4/5 | Περιοχή 6Α | Περιοχή 6Β | Περιοχή 7 | Σύνολο |
| 4 <sup>ο</sup><br>Τρίμηνο<br>2002 | Χημική               | 11  | 231       | 46        | 218         | 319        | 150        | 62        | 1.037  |
|                                   | Μεταλλουργική        | 169   | 1.211     | 2.817     | 1.018       | 1.251      | 1.126      | 4.011     | 11.603 |
|                                   | Σύνολο               | 180   | 1.442     | 2.863     | 1.236       | 1.570      | 1.276      | 4.073     | 12.640 |
| Έτος<br>2002                      | Χημική               | 29  | 874       | 178       | 849         | 1.242      | 585        | 208       | 3.965  |
|                                   | Μεταλλουργική        | 669   | 4.612     | 11.012    | 4.035       | 4.859      | 4.454      | 16.179    | 45.820 |
|                                   | Σύνολο               | 698   | 5.486     | 11.190    | 4.884       | 6.101      | 5.039      | 16.387    | 49.785 |
| 1 <sup>ο</sup><br>Τρίμηνο<br>2003 | Χημική               | 8   | 227       | 43        | 199         | 312        | 132        | 49        | 970    |
|                                   | Μεταλλουργική        | 164   | 1.198     | 2.907     | 1.077       | 1.175      | 1.134      | 4.017     | 11.672 |
|                                   | Σύνολο               | 172   | 1.425     | 2.950     | 1.276       | 1.487      | 1.266      | 4.066     | 12.642 |
| 2 <sup>ο</sup><br>Τρίμηνο<br>2003 | Χημική               | 0   | 229       | 51        | 212         | 341        | 157        | 66        | 1.056  |
|                                   | Μεταλλουργική        | 180   | 1.325     | 3.034     | 1.077       | 1.179      | 1.134      | 4.151     | 12.080 |
|                                   | Σύνολο               | 180   | 1.554     | 3.085     | 1.289       | 1.520      | 1.291      | 4.217     | 13.136 |
| 3 <sup>ο</sup><br>Τρίμηνο<br>2003 | Χημική               | 0   | 217       | 74        | 208         | 309        | 157        | 64        | 1.029  |
|                                   | Μεταλλουργική        | 190   | 1.296     | 3.107     | 1.058       | 1.242      | 1.150      | 4.147     | 12.190 |
|                                   | Σύνολο               | 190   | 1.513     | 3.181     | 1.266       | 1.551      | 1.307      | 4.211     | 13.219 |
| 4 <sup>ο</sup><br>Τρίμηνο<br>2003 | Χημική               | 0   | 214       | 47        | 217         | 325        | 156        | 63        | 1.022  |
|                                   | Μεταλλουργική        | 189   | 1.353     | 3.214     | 1.129       | 1.237      | 1.179      | 4.235     | 12.536 |
|                                   | Σύνολο               | 189   | 1.567     | 3.261     | 1.346       | 1.562      | 1.335      | 4.298     | 13.558 |
| Έτος<br>2003                      | Χημική               | 8   | 887       | 215       | 836         | 1.287      | 602        | 242       | 4.077  |
|                                   | Μεταλλουργική        | 723   | 5.172     | 12.262    | 4.341       | 4.833      | 4.597      | 16.550    | 48.478 |
|                                   | Σύνολο               | 731   | 6.059     | 12.477    | 5.177       | 6.120      | 5.199      | 16.792    | 52.555 |

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται η ικανότητα παραγωγής αλουμίνας σε όλο τον κόσμο, ανά εξάμηνο για τα έτη 2003 έως 2006.

**Πίνακας 4.** Ικανότητα παραγωγής αλουμίνιας

| Περίοδος   | Ικανότητα παραγωγής αλουμίνιας (σε χιλιάδες μετρικούς τόνους) |           |           |             |            |            |           |        |
|------------|---|-----------|-----------|-------------|------------|------------|-----------|--------|
|            | Περιοχή 1   | Περιοχή 2 | Περιοχή 3 | Περιοχή 4/5 | Περιοχή 6A | Περιοχή 6B | Περιοχή 7 | Σύνολο |
| Ιουν. 2003 | 688   | 6.979     | 12.989    | 6.188       | 6.120      | 5.201      | 16.555    | 54.720 |
| Δεκ. 2003  | 723   | 6.979     | 13.400    | 6.238       | 6.143      | 5.235      | 16.580    | 55.298 |
| Ιουν. 2004 | 778   | 6.981     | 13.456    | 6.248       | 6.178      | 5.235      | 16.711    | 55.587 |
| Δεκ. 2004  | 778   | 6.981     | 13.457    | 6.298       | 6.183      | 5.236      | 16.711    | 55.644 |
| Ιουν. 2005 | 778   | 7.004     | 13.477    | 6.338       | 6.244      | 5.236      | 17.795    | 56.872 |
| Δεκ. 2005  | 778   | 7.004     | 13.509    | 6.338       | 6.279      | 5.609      | 17.795    | 57.312 |
| Ιουν. 2006 | 778   | 7.004     | 15.309    | 6.338       | 6.369      | 5.609      | 17.904    | 59.311 |
| Δεκ. 2006  | 778   | 7.029     | 15.309    | 6.338       | 6.454      | 5.609      | 17.904    | 59.421 |

Υποσημείωση Πίνακα 3 και 4:

Περιοχή 1: Αφρική (Γουινέα)

Περιοχή 2: Βόρεια Αμερική (Καναδάς, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής)

Περιοχή 3: Λατινική Αμερική (Βραζιλία, Γουιάνα, Τζαμάικα, Σουρινάμ, Βενεζουέλα)

Περιοχή 4: Ανατολική Ασία (Κίνα, Ιαπωνία, Νότια Κορέα)

Περιοχή 5: Νότια Ασία (Αζερμπαϊτζάν, Ινδία, Ιράν, Καζακστάν, Τουρκία)

Περιοχή 6A: Δυτική Ευρώπη (Γαλλία, Γερμανία, Ελλάδα, Ιρλανδία, Ιταλία, Ισπανία)

Περιοχή 6B: Ανατολική / Κεντρική Ευρώπη (Βοσνία και Ερζεγοβίνη, Ουγγαρία, Ρουμανία, Ομοσπονδία της Ρωσίας, Σερβία και Μαυροβούνιο, Ουκρανία)

Περιοχή 7: Ωκεανία (Αυστραλία)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ

### ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ

Στην Ελλάδα η ερυθρά ιλύς που αποτελεί το υπόλειμμα κατά την παραγωγή αλουμίνιας με τη μέθοδο Bayer και παράγεται κατά την επεξεργασία του βωξίτη από το εργοστάσιο «Αλουμίνιο της Ελλάδος», εκβάλλεται μέσω ενός αγωγού στον κόλπο της Αντίκυρας, που βρίσκεται κεντρικά της βόρειας ακτής του Κορινθιακού κόλπου, με έναν ετήσιο ρυθμό 500.000 τόνων (Varnavas & Achilleopoulos, 1995). Σύμφωνα με πιο πρόσφατα δεδομένα των Ποντίκη *et al.* (2003) η παραγόμενη ποσότητα ερυθράς ιλύος που απορρίπτεται στον Κορινθιακό κόλπο ανέρχεται σε περίπου 680.000 τόνους το έτος. Η παραγόμενη ποσότητα ερυθράς ιλύος εξαρτάται από την ποιότητα της επεξεργασίας του βωξίτη και κυμαίνεται περίπου σε ένα με δύο τόνους για κάθε τόνο παραγόμενης αλουμίνιας (Vassiliou, 1990)

Η απόρριψη της ερυθράς ιλύος στο βόρειο Κορινθιακό κόλπο, προκαλεί μία μεγάλη διασπορά της και μεταφοράς της σε μακρινές αποστάσεις, κάτι το οποίο οφείλεται και στο χαμηλό βάθος της θάλασσας όπου εκβάλλεται. Κατά συνέπεια οι σημαντικές ποσότητες τοξικών μετάλλων που περιέχονται στην ερυθρά ιλύ και εναποτίθενται στο βυθό της θάλασσας, είναι εκτεθειμένα σε ρεύματα ύδατος και υδρόβιους οργανισμούς, και διασκορπίζονται στον Κορινθιακό κόλπο (Varnavas & Achilleopoulos, 1995).

Οι Βαρνάβας και Παπαθεωδόρου (1987) έδειξαν ότι η εναπόθεση μετάλλων έχει ένα ελλειψοειδές σχήμα και βρίσκεται περίπου στο κέντρο του κόλπου της Αντίκυρας, σχηματίζοντας ένα τόξο που εκτείνεται από βόρειο-ανατολικά έως νότιο-δυτικά και καθορίζεται από γεωγραφικό πλάτος  $38^{\circ}17'$  και  $38^{\circ}21'$  και γεωγραφικό μήκος  $22^{\circ}38'$  και  $22^{\circ}40'$  καλύπτοντας μία περιοχή 28 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Παρόλα αυτά έχουν βρεθεί συγκεντρώσεις μετάλλων και σε άλλα σημεία της απύθμενης πεδιάδας του Κορινθιακού κόλπου.

Το συνολικό ξηρό βάρος της εναπόθεσης της ερυθράς ιλύος που περιγράφεται είναι 2.200.000 τόνοι. Γνωρίζοντας ότι εκβάλλονται 500.000 τόνοι ετησίως ερυθράς ιλύς και το χρονικό διάστημα της έρευνας είναι τα δέκα χρόνια, υπολογίζεται ότι 5.000.000 τόνοι υγρής ερυθράς ιλύς απελευθερώθηκαν στο βυθό της θάλασσας. Χρησιμοποιώντας την συγκέντρωση της ερυθράς ιλύος και την ξηρή πυκνότητά της, υπολογίζεται ότι το συνολικό ξηρό βάρος της ερυθράς ιλύς που απελευθερώθηκε στο βυθό της θάλασσας είναι 2.241.348 τόνοι. Κατά συνέπεια 41.000 τόνοι ξηρής ερυθράς ιλύος διασκορπίστηκαν μακριά από τον κύριο όγκο ερυθράς ιλύος του βυθού. Επίσης υπολογίστηκε η διαφορά μεταξύ του συνολικού ξηρού βάρους του κάθε μετάλλου που διαχέεται στο βυθό της θάλασσας κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δέκα ετών και των σημερινών. Βρέθηκε ότι το Ti είναι 3,2%, το Cr 3,3%, ο Pb 5,1%, ο Cu 6,7%, το Co 7,4%, ο Fe 9,9% και το Ni 23,7% λιγότερο από αυτό που είχε εκλυθεί έως τώρα στο βυθό. Κατά συνέπεια φάνηκε ότι ο βαθμός διάλυσης των μετάλλων στον κύριο όγκο της εναπόθεσης των μετάλλων στο βυθό, μειώνεται με την εξής σειρά: Ni > Fe > Co > Cu > Pb > Cr > Ti. Αυτό το αποτέλεσμα έρχεται σε συμφωνία με την σχετική κινητικότητα αυτών των μετάλλων στο θαλάσσιο περιβάλλον. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσίασε το γεγονός ότι υπήρξε ένας εμπλουτισμός 2% σε Al και Zn και 3,6% σε Mn, ως αποτέλεσμα της εναπόθεσης αυτών των μετάλλων από τη γύρω περιοχή (Varnavas & Achilleopoulos, 1995).

Στην Κίνα, σύμφωνα με στατιστικά δεδομένα 19 εργοστασίων αλουμινίου η παραγωγή ερυθράς ιλύος ήταν πάνω από 3.000.000 τόνους το έτος, στις αρχές του 1990 (Zhang *et al.*, 2001).

Επίσης, ένα σύνολο 42 εκατομμυρίων τόνων υπολειμμάτων κατά την παραγωγή του βωξίτη (ερυθρά ιλύς) παράγεται κάθε χρόνο από τα εργοστάσια αλουμινίου σε χώρες όπως η Τζαμάικα, η Αυστραλία, οι Η.Π.Α. και η Δυτική Γερμανία (Glenister, 1987).

Οι Dethlefsen και Rosenthal (1973) αναφέρουν ότι κατά την παραγωγή 1 τόνου αλουμινίου ( $Al_2O_3$ ) στη Γερμανία, παράγεται 0.5 με 1 τόνο ερυθράς ιλύς.

Τέλος, οι Kong και Mendelsohn (1996) αναφέρουν ότι 8 εκατομμύρια τόνοι ξηρής ερυθράς ιλύος παράγονται από την βιομηχανία αλουμινίου των Ηνωμένων Πολιτειών το έτος 1982.



## ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ

Οι φυσικές ιδιότητες της ερυθράς ιλύος ποικίλουν από χώρα σε χώρα και από περιοχή σε περιοχή. Στην Ελλάδα οι Varnavas και Achilleopoulos (1995) μέτρησαν την πυκνότητα της ερυθράς ιλύος κατά την εκβολή της στον Κορινθιακό κόλπο και την βρήκαν ίση με  $1,3 \text{ gr/cm}^3$ .

Επίσης, οι Ποντίκης, *et al.* (2003) μέτρησαν την πυκνότητα της ερυθράς ιλύος με τη μέθοδο της ληκύθου (ASTM D 854-92) και την βρήκαν ίση με  $3,4 \text{ gr/cm}^3$ .

Δείγματα από βιομηχανία αλουμινίου στην Κίνα έδειξαν ότι η πυκνότητα της ερυθράς ιλύος (Zhang *et al.*, 2001) κυμαινόταν από 14,73 έως 15,06  $\text{kN / m}^3$  για την ξηρή ερυθρά ιλύ κατά που οφειλόταν στο υψηλό πορώδες της.

## ΥΓΡΑΣΙΑ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ

Η ερυθρά ιλύς από την περιοχή της Κίνας (Zhang *et al.*, 2001) έδειξε μία υψηλή περιεκτικότητα νερού που κυμαινόταν από 85,79-89,97%, η οποία είναι υψηλότερη από την κοινή ιλύ (λάσπη) ή ακόμη και από το αργιλώδες χώμα των ακτών, και υπερβαίνει κατά πολύ το όριο ρευστότητας (71,0-78,0%). Αυτό σημαίνει ότι η ερυθρά ιλύς είναι ασταθής και μπορεί εύκολα να απελευθερώσει νερό με ένα ελαφρύ τίναγμα.

Κατά την συμπίεση της ερυθράς ιλύς, η περιεκτικότητα σε υγρασία κυμάνθηκε από 80,39% έως 87,08%, ενώ η πυκνότητα κυμάνθηκε από 13,8 έως 15,5  $\text{kN / m}^3$ . Με την μέθοδο της δυνατής ανατάραξης η υγρασία κυμάνθηκε από 84,3% έως 89,4%, ενώ η πυκνότητα κυμάνθηκε από 14,8 έως 15,0  $\text{kN / m}^3$  (Zhang *et al.*, 2001).

## ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ

Οι Zhang *et al.*, (2001) πραγματοποίησαν ανάλυση της κοκκομετρικής σύστασης της ερυθράς ιλύος που παράγεται κατά την επεξεργασία του βωξίτη στην επαρχία Shanxi της Κίνας. Το εύρος των μορίων κάτω των 0,005 mm κυμαινόταν από 19,6 έως 26,8% και το εύρος των μορίων κάτω των 0,002 mm από 15,2 έως 23,6%. Το

κυρίαρχο μέγεθος μορίων ήταν άνω του 0,01 mm. Κατά συνέπεια τα περισσότερα δείγματα της ερυθράς ιλύος αποτελούνται από βαρύ αργιλώδες έδαφος και τα λιγότερα από βαρύ ιλυαργιλώδες έδαφος. Αξιοσημείωτο είναι ότι η περιεκτικότητα της λεπτής άμμου της άνω των 0,1 mm ήταν πολύ υψηλή με τιμές μεταξύ 28,91 και 35,37% και γενικά άνω του 30%. Στον Πίνακα 5 φαίνεται η κοκκομετρική κατανομή σύμφωνα με τους Zhang *et al.* (2001).

**Πίνακας 5.** Κοκκομετρική κατανομή Ερυθράς Ιλύος στην περιοχή Shanxi της Κίνας

|          | > 0.1 mm    | 0.1-0.05 mm | 0.05-0.01 mm | 0.01-0.005 mm | < 0.005 mm | < 0.002 mm |
|----------|-------------|-------------|--------------|---------------|------------|------------|
| E.I. (%) | 28,91-35,37 | 3,16-11,12  | 22,8-31,2    | 8,0-11,2      | 19,6-26,8  | 15,2-23,6  |

Ο Ward (1983) αναφέρει ότι η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων της ερυθράς ιλύς είναι 10% άργιλος (<2 μm), 68% ιλύς (2-20 μm) και 22% άμμος (20-200 μm).

Η ανάλυση της κοκκομετρίας που πραγματοποιήθηκε σε ερυθρά ιλύ από τον κόλπο του Κορινθιακού με περίθλαση μονοχρωματικής ακτινοβολίας (laser diffraction) φαίνεται στον Πίνακα 6. Διαπιστώνεται ότι η ερυθρά ιλύς είναι ιδιαίτερα λεπτομερής, με το 85% των κόκκων να είναι κάτω από 63 μm (Ποντίκης *et al.*, 2003).

**Πίνακας 6.** Κοκκομετρική κατανομή Ερυθράς Ιλύος Κορινθιακού κόλπου

|          | > 63 μm | 4-63 μm | < 4 μm | > 20 μm | 2-20 μm | < 2 μm |
|----------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
| E.I. (%) | 15      | 32      | 53     | 22      | 44      | 34     |

## ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ

Στην Κίνα, στην επαρχία Shanxi, οι Zhang *et al.* (2001) αναφέρουν ότι η κύρια σύνθεση της ερυθράς ιλύος περιλαμβάνει CaO και CO<sub>2</sub>. Η περιεκτικότητά της κυμαίνεται από 33,07 με 34,37% και από 26,35 με 28,14% αντίστοιχα με το εάν η ορυκτολογική σύσταση είναι από αραγονίτη (CaCO<sub>3</sub>) ή από καλσίτη (CaCO<sub>3</sub>). Η περιεκτικότητα σε SiO<sub>2</sub> της ερυθράς ιλύος κυμαίνεται από 12,43 με 16,40%, σε Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

από 6,84 με 7,74%, σε  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  από 6,54 με 7,04%, σε  $\text{Na}_2\text{O}$  από 3,0 με 3,25% και σε  $\text{TiO}_2$  από 2,25 με 2,75%. Στον Πίνακα 7 φαίνονται οι διακυμάνσεις της χημικής σύστασης της ερυθράς ιλύος από την επαρχία Shanxi της Κίνας.

**Πίνακας 7.** Χημική ανάλυση Ερυθράς Ιλύος (% κ.β.) επαρχίας Shanxi της Κίνας

|                         | <b>κ.β (%)</b> |
|-------------------------|----------------|
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 6,54-7,04      |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 6,84-7,74      |
| $\text{SiO}_2$          | 12,43-16,40    |
| $\text{TiO}_2$          | 2,25-2,75      |
| CaO I                   | 33,07-34,37    |
| II                      | 26,35-28,14    |
| $\text{Na}_2\text{O}$   | 3,0-3,25       |

Οι ίδιοι συγγραφείς αναφέρουν ότι η χημική σύσταση των συστατικών της ερυθράς ιλύος που είναι μικρότερα των 0,002 mm έδειξε ότι το  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  και το  $\text{SiO}_2$  υπάρχουν κυρίως ως κolloειδή με το  $\text{SiO}_2$  και αυξάνονται κατά 60%, το  $\text{Al}_2\text{O}_3$  κατά 110,7% και το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  κατά 57,4%, ενώ το  $\text{CaCO}_3$  μειώνεται κατά 41% συγκρινόμενο με το αρχικό δείγμα.

Σύμφωνα με τον Baseden (1976), τα κύρια χαρακτηριστικά της ερυθράς ιλύος στην περιοχή της Αυστραλίας είναι οξείδιο του σιδήρου, αλουμίνα, πυρίτιο, τιτάνιο μαζί με μικρότερες ποσότητες ενώσεων νατρίου και ασβεστίου. Στον Πίνακα 8 γίνεται σύγκριση της περιεκτικότητας της ερυθράς ιλύος από το Γκοβ της βόρειας Αυστραλίας, και διάφορα μέρη της Αμερικής (Baseden, 1976).

**Πίνακας 8.** Σύγκριση χημικής ανάλυσης Ερυθράς Ιλύος (% κ.β.) βόρειας Αυστραλίας και Αμερικής

|                                | <b>Gove</b> | <b>Alcoa<br/>(Mobile)</b> | <b>Reynolds<br/>(Arkansas)</b> | <b>Reynolds<br/>(Sherwin)</b> |
|--------------------------------|-------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 44          | 30-40                     | 55-60                          | 50-54                         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 20          | 16-20                     | 12-15                          | 11-13                         |
| SiO <sub>2</sub>               | 9           | 11-14                     | 4-5                            | 2,5-6                         |
| TiO <sub>2</sub>               | 10          | 10-11                     | 4-5                            | Ίχνη                          |
| CaO                            | 2           | 5-6                       | 5-10                           | 6,5-8,5                       |
| Na <sub>2</sub> O              | 4           | 6-8                       | 2                              | 1,5-5,0                       |

Στη Γερμανία οι Dethlefsen και Rosenthal (1973), Paffenhofer (1972), αναφέρουν ότι η χημική σύσταση της ερυθράς ιλύος, το έντονο κόκκινο χρώμα της, εξαρτώνται κυρίως από την περιεκτικότητά της σε οξειδία του σιδήρου, η οποία εξαρτάται με τη σειρά της από την προέλευση του βωξίτη και την διαφορετική κατεργασία του. Στον Πίνακα 9 φαίνονται πέντε παραδείγματα της διαφορετικής σύνθεσης της ερυθράς ιλύος.

**Πίνακας 9.** Χημική ανάλυση Ερυθράς Ιλύος (% κ.β.) από την Γερμανία

|                                | <b>Baudart</b> | <b>Hegenbarth<br/>a</b> | <b>Hegenbarth<br/>b</b> | <b>Rosenthal</b> | <b>Άγνωστο</b> |
|--------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|------------------|----------------|
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 38,75          | 20,0                    | 48,0                    | 20,7             | 20,7           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 20,3           | 30,0                    | 20,0                    | 31,9             | 32,4           |
| SiO <sub>2</sub>               | 13,0           | 13,0                    | 6,0                     | 16,6             | 16,6           |
| TiO <sub>2</sub>               | 5,5            | 7,0                     | 5,0                     | 7,4              | 7,4            |
| CaO                            | 5,0            | 2,0                     | 3,0                     | 0,7              | 0,7            |
| Na <sub>2</sub> O              | 9,0            | 9,0                     | 5,0                     | 0,9              | 11,2           |

Όσον αφορά την χημική σύσταση της ελληνικής ερυθράς ιλύος οι Varnavas και Achilleopoulos (1995) αναφέρουν ότι η ερυθρά ιλύς περιέχει κατά μέσο όρο: 31,3%

Fe, 5,7% Al, 1045 ppm Ni, 130 ppm Pb, 71 ppm Co, 637 ppm Mn, 87 ppm Zn, 43 ppm Cu, 3 ppm Cd.

Οι Ποντίκης, *et al.*, (2003) αναφέρουν ότι η χημική ανάλυση των κυρίων συστατικών της ελληνικής ερυθράς ιλύος που πραγματοποιήθηκε με XRF, δείχνει ότι είναι πλούσια σε Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ενώ περιέχει σημαντικά ποσοστά Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> και CaO. Σε μικρότερα ποσοστά υπάρχουν TiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O, MgO, K<sub>2</sub>O, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Πίνακας 6). Η ερυθρά ιλύς χαρακτηρίζεται σαν μη τοξικό, μη επικίνδυνο υλικό. Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης της ερυθράς ιλύος σύμφωνα με την Vassiliou (1990) φαίνονται στον Πίνακα 10 σε σύγκριση με τα αποτελέσματα των Ποντίκης, *et al.*, (2003).

**Πίνακας 10.** Χημική ανάλυση ελληνικής Ερυθράς Ιλύς (% κ.β.)

|                                | <b>Ποντίκης</b> | <b>Vassiliou</b> |
|--------------------------------|-----------------|------------------|
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 45,30           | 39,11            |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16,30           | 15,26            |
| SiO <sub>2</sub>               | 6,20            | 6,05             |
| TiO <sub>2</sub>               | 4,90            | 5,22             |
| CaO                            | 11,10           | 18,72            |
| Na <sub>2</sub> O              | 3,10            | 2,07             |

Στον Πίνακα 11 παρουσιάζονται τα εύρη των διακυμάνσεων της χημικής σύστασης της ερυθράς ιλύος στην Ελλάδα και παγκοσμίως.

**Πίνακας 11.** Σύγκριση χημικής σύστασης Ερυθράς Ιλύος (% κ.β.)

|                                | <b>Ελλάδα</b> | <b>Γερμανία</b> | <b>Αυστραλία</b> | <b>Αμερική</b> | <b>Κίνα</b> |
|--------------------------------|---------------|-----------------|------------------|----------------|-------------|
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 39,11-45,30   | 20,00-48,00     | 44,00            | 30,00-60,00    | 6,54-7,04   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15,26-16,30   | 20,00-32,40     | 20,00            | 11,00-20,00    | 6,84-7,74   |
| SiO <sub>2</sub>               | 6,05-6,20     | 6,00-16,60      | 9,00             | 2,50-14,00     | 12,43-16,40 |
| TiO <sub>2</sub>               | 4,90-5,22     | 5,00-7,40       | 10,00            | Ίχνη-11,00     | 2,25-2,75   |
| CaO                            | 11,10-18,72   | 0,70-5,00       | 2,00             | 5,00-10,00     | 26,35-34,37 |
| Na <sub>2</sub> O              | 2,07-3,10     | 0,90-11,20      | 4,00             | 1,50-8,00      | 3,00-3,25   |

## ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ

Όσον αφορά την ορυκτολογική σύσταση της ερυθράς ιλύος οι Κοντόπουλος *et al.* (1979) χρησιμοποίησαν αρκετές μεθόδους για την μελέτη της. Κατ' αρχήν έγινε ακτινανάλυση που έδειξε την παρουσία των εξής ορυκτών: αιματίτη ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), διάσπορο ( $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ ), ασβεστίτη ( $\text{CaCO}_3$ ) και ένα ένυδρο αργιλλοπυριτικό ( $x\text{CaO}\cdot y\text{SiO}_2\cdot z\text{H}_2\text{O}$ ). Κατόπιν έγινε μία συνδυασμένη θερμική ανάλυση (DTA-TG-DTG).

Από τα παρατηρηθέντα θερμικά φαινόμενα και την απώλεια βάρους που τα συνοδεύει βρέθηκε ότι η ερυθρά ιλύς περιέχει 13,4%  $\text{CaCO}_3$  (άρα 11,22% του  $\text{CaO}$  είναι δεσμευμένο σε ασβεστοαργιλλοπυριτικά), και 11,33% διάσπορο (επομένως 5,05% του  $\text{Al}_2\text{O}_3$  είναι δεσμευμένο σε ασβεστοαργιλλοπυριτικά).

Η λεπτομερής μελέτη με τον ηλεκτρονικό μικροαναλυτή έδειξε τα εξής συστατικά:

- Αιματίτη,  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Οι κόκκοι του παρουσιάζουν μία ομοιόμορφη κατανομή Ti και Al με μικροεγκλίσεις  $\text{Al}_2\text{O}_3$  και  $\text{TiO}_2$ .
- Πυριτικό. Υπάρχουν μερικοί κρύσταλλοι καθαρού πυριτικού.
- Διάσπορο. Οι κόκκοι του περιέχουν σημαντικά ποσοστά σιδήρου και μικρά ποσά Ti σε ομοιόμορφη κατανομή.
- Ασβεστίτης. Συνήθως οι κρύσταλλοί του περιέχουν ένα εξωτερικό στρώμα πλούσιο σε Al και Si.
- Σύνθετες ενώσεις Si-Na-Mg-Ca-Al.

Ακόμη, η μικροσκοπική εξέταση στο μεταλλογραφικό και πολωτικό μικροσκόπιο, έδειξε την ύπαρξη μαγνητίτη.

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις έγινε εκτίμηση της κατάστασης αποδέσμευσης των διαφόρων συστατικών της ερυθράς ιλύος. Κατ' αρχήν το  $\text{TiO}_2$  φαίνεται δεσμευμένο μέσα στους κόκκους του αιματίτη και του διασπόρου, επομένως δεν είναι δυνατή η παραγωγή συμπυκνώματος πλουσίου σε  $\text{TiO}_2$  με φυσικές μεθόδους.

Ο αιματίτης και το διάσπορο είναι πλήρως αποδεσμευμένα, επομένως είναι κατ' αρχήν δυνατή η παραγωγή συμπυκνωμάτων τους, αλλά πρέπει να χρησιμοποιηθούν πολύ απλές φυσικές μέθοδοι, γιατί τα οικονομικά περιθώρια είναι πολύ στενά.

Αντίθετα ο μαγνητίτης είναι πλήρως αποδεσμευμένος και μπορεί να συγκεντρωθεί εύκολα με μαγνητικό διαχωρισμό (Κοντόπουλος, *et al.*, 1979).

## ΔΙΑΦΟΡΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΣ

Σύμφωνα με τους Fuller και Richardson (1986) τα χαρακτηριστικά της ερυθράς ιλύς εμποδίζουν την ανάπτυξη της βλάστησης. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι το υψηλό pH που κυμαίνεται από 9 έως 12, η υψηλή αλκαλικότητα (16 με 232 meq / l), και η υψηλή συγκέντρωση διαλυτού νατρίου (17 με 220 meq / l) και αλουμινίου. Επιπρόσθετα χαρακτηρίζεται από χαμηλή περιεκτικότητα των αναγκαίων για τα φυτά μακρο- και μικρο-στοιχείων.

Ακόμη, η ερυθρά ιλύς έχει ένα όριο ρευστότητας που κυμαίνεται από 71,0 έως 78,0% και ένα όριο πλαστικότητας που κυμαίνεται από 44,5 έως 51,0%, τα οποία είναι σχετικά ψηλά. Από την άλλη όμως έχει έναν χαμηλό δείκτη πλαστικότητας που κυμαίνεται από 24 έως 30. Ο υψηλός δείκτης ρευστότητας (1,31-1,56) και η υψηλή αναλογία περιεκτικότητας νερού στο όριο ρευστότητας (1,10-1,15) δείχνουν ότι η ερυθρά ιλύς ανήκει στα βιομηχανικά απόβλητα που είναι επιρρεπή σε πλαστική ροή (Zhang *et al.*, 2001).

Οι Wong και Ho (1995) αναφέρουν ότι η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC) της ερυθράς ιλύος με κοκκομετρική σύσταση άνω του 0,1 mm έχει την εξής επιλεκτική σειρά:  $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Li}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Ba}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++}$ , ενώ όταν η ερυθρά ιλύς έχει κοκκομετρική σύσταση κάτω του 0,1 mm η επιλεκτική σειρά έχει ως εξής:  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Ba}^{++} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Li}^+ > \text{NH}_4^+$ .

Ο Ward (1983) αναφέρει ότι για την ερυθρά ιλύς το pH κυμαίνεται από 10,6 έως 11,8 όταν βρίσκεται σε διάλυμα με αποσταγμένο νερό και σε αναλογία νερού:ερυθρά ιλύος 5:1. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται ανάμεσα στο 160 με 350 mS / m στην ίδια αναλογία.

Τέλος οι Zhang *et al.* (2001) αναφέρουν ότι η διακύμανση του pH της ερυθράς ιλύος ήταν από 11,85 έως 12,6. Η συμπίεστικότητα της ερυθράς ιλύος μειώνεται όσο αυξάνει η διάρκεια αποθήκευσής της και αυτό είναι αποτέλεσμα της κρυσταλλοποίησης των διαλυτών της αλάτων. Η ερυθρά ιλύς δεν υφίσταται μείωση του όγκου της κατά τη διάρκεια της έκθεσής της, αλλά σκληραίνει με σταδιακή ξήρανση. Τα σκληρά

κομμάτια της ερυθράς ιλύος δεν αποσυντέθηκαν, ούτε διεστάλησαν όταν βρέθηκαν βυθισμένα στο νερό. Αυτό οφείλεται στην επανακρυσταλλοποίηση του  $\text{CaCO}_3$ . Η ερυθρά ιλύς επειδή προέρχεται από βιομηχανική κατεργασία, περιέχει υψηλό ποσοστό νερού μαζί με δυνατά αλκαλικά υλικά όπως  $\text{NaOH}$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaAlO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  έτσι κατέχει αρκετά είδη διάβρωσης.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ

### ΔΙΑΘΕΣΗ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ

Πολλά εργοστάσια επεξεργασίας αλουμινίου που γειτνιάζουν με τη θάλασσα, απορρίπτουν την ερυθρά ιλύ στο βυθό της θάλασσας. Οι Dethlefsen και Rosenthal (1973) αναφέρουν ότι η απόρριψη της ερυθράς ιλύος σε ρηγά νερά μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στους υδρόβιους οργανισμούς. Οι γερμανικές βιομηχανίες αλουμινίου αρχικά είχαν πρότειναν την απόρριψη της ερυθράς ιλύος στα νότια της Βόρειας Θάλασσας, από το να την εναποθέσουν στο έδαφος. Για το λόγο αυτό έγιναν διάφορα πειράματα έτσι ώστε να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις στους θαλάσσιους οργανισμούς, οι οποίες αποδείχτηκαν επιβλαβείς για τους τελευταίους. Η πιο σημαντική επίδραση πάνω στους θαλάσσιους οργανισμούς, της απόρριψης της ερυθράς ιλύς στην θάλασσα, ήταν η συγκόλληση των ιστών των βραγχίων. Επιπλέον η Βόρεια Θάλασσα θεωρείται από τις πιο σημαντικές αλιευτικές περιοχές του κόσμου και η απόρριψη ερυθράς ιλύος θα έθετε σε σοβαρό κίνδυνο τους γόνους των ψαριών του βυθού, καθώς επίσης και της πανίδας του βυθού. Τα ψάρια του βυθού (*Solea solea*, *Psetta maxima*, *Pleuronectes platessa*, *Microstomus kitt*, *Limanda limanda*) τα οποία ζουν είτε πάνω είτε κάτω από το βυθό της θάλασσας, κατά κανόνα δεν απομακρύνονται από το μέρος που ζουν όταν βρίσκονται σε κίνδυνο, αλλά αντιθέτως προσπαθούν να κρυφτούν στο βυθό. Έτσι δεν μπορούν να αποφύγουν τις καταστρεπτικές επιδράσεις της ερυθράς ιλύος που συγκεντρώνεται στο βυθό της θάλασσας. Ακόμα όμως και αν απομακρυνόντουσαν τα ψάρια του βυθού, οι γόνους τους θα βρίσκονταν σε σοβαρό κίνδυνο λόγω της μείωσης του ζωτικού τους χώρου από την ερυθρά ιλύ. Για τους παραπάνω λόγους οι Dethlefsen και Rosenthal προτείνουν την χρησιμοποίηση της ερυθράς ιλύος με περιεκτικότητα σιδήρου άνω του 39%, στη βιομηχανία παραγωγής χάλυβα ή ακόμη και σε κεραμίδια σκεπών με στόχο την αποφυγή απόρριψης της ερυθράς ιλύος στη θάλασσα. Όμως οι παραγόμενες ποσότητες ερυθράς ιλύος από τις γερμανικές βιομηχανίες αλουμινίου είναι πολύ μεγαλύτερες και δεν μπορεί να απορροφηθεί στις συγκεκριμένες εφαρμογές. Για αυτό θα πρέπει η απόρριψη της ερυθράς ιλύος να γίνεται σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν αλιευτικές δραστηριότητες, σε βάθη μεγαλύτερα των 3,000 μέτρων, μακριά από την Βόρεια Θάλασσα (Dethlefsen & Rosenthal, 1973).

Ο Paffenhofen (1972) αναφέρεται σε μία μεγάλη βιομηχανία αλουμινίου, κοντά στη Βόρεια Θάλασσα, στη Γερμανία που είχε σκοπό να απορρίψει τα υπολείμματα της διεργασίας του βωξίτη, την ερυθρά ιλύ, στη θάλασσα. Για αυτό το λόγο αρκετά θαλάσσια ερευνητικά ιδρύματα ανέπτυξαν προγράμματα για να διαπιστώσουν την επιρροή της ερυθράς ιλύος στους θαλάσσιους οργανισμούς. Ένα από τα ερευνητικά προγράμματα εστιαζόταν σε ένα χαρακτηριστικό αντιπρόσωπο του θαλάσσιου ζωοπλαγκτόν, το *Calanus helgolandicus*. Το ζωοπλαγκτόν αποτελεί ένα σημαντικό σύνδεσμο μεταξύ του φυτοπλαγκτόν και των ψαριών με μεγάλη εμπορική αξία, όπως η ρέγγα. Το *Calanus helgolandicus* είναι εξαιρετικά ευαίσθητο σε ξαφνικές αλλαγές του περιβάλλοντός του και για αυτό το λόγο αποτελεί ένα χρήσιμο οργανισμό για την εκτίμηση της επιρροής της ερυθράς ιλύος στη Βόρεια Θάλασσα. Η κατάποση ερυθράς ιλύος από το *Calanus helgolandicus* δεν εμφανιζόταν να είναι υπερβολικά τοξική, γιατί η θνησιμότητα του παραπάνω είδους κατά τη διάρκεια της νεανικής φάσης της ζωής του, δεν ήταν υπερβολικά υψηλή (9,6 με 16%). Το συγκεκριμένο είδος έδειξε μία αδυναμία λόγω της μειωμένης κατάποσης του φυτοπλαγκτόν κατά την παρουσία της ερυθράς ιλύος. Παρόλο που το συγκεκριμένο είδος ζωοπλαγκτόν έπαιρνε μεγάλες ποσότητες από ένα συγκεκριμένο υλικό, εντούτοις δεν μπορούσε να αποκτήσει τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για να αναπτυχθεί. Αυτό αποδείχθηκε επίσης και από τον μειωμένο ρυθμό ανάπτυξης και από το χαμηλό ξηρό βάρος του είδους σε κάθε στάδιο της ζωής του. Επίσης η κακή διατροφή του *Calanus helgolandicus* παρείχε μειωμένη ενέργεια στον οργανισμό για την ανάπτυξη των ωοθηκών και παρόλο που τα θηλυκά γονιμοποιούνταν, δεν παραγόnton αυγά παρά μόνο εάν υπήρχε μεγάλη ποσότητα φυτοπλαγκτόν για τουλάχιστον μία εβδομάδα. Έτσι υπήρχε σημαντική έλλειψη αποθέματος ενέργειας στο είδος αυτό, λόγω μειωμένης απόκτησης φυτοπλαγκτόν, και ήταν πολύ τρωτό σε αντίξοες συνθήκες. Επομένως, μεγάλες ποσότητες ερυθράς ιλύος στην Βόρεια Θάλασσα, μπορούν να δημιουργήσουν σημαντικό πρόβλημα στη διατροφή, την επιβίωση και την αναπαραγωγή του είδους *Calanus helgolandicus* (Paffenhofen, 1972).

## ΔΙΑΘΕΣΗ ΕΡΥΘΡΑΣ ΙΛΥΟΣ ΣΤΗ ΣΤΕΡΙΑ

Εκτός από την απόρριψη της ερυθράς ιλύος στην θάλασσα, η ερυθρά ιλύς απορρίπτεται και στη στεριά, όπου μπορεί να βρει αρκετές εφαρμογές. Αυτές οι εφαρμογές μελετούνται παρακάτω.

### Η ερυθρά ιλύς ως εδαφικό βελτιωτικό

Ο Ward (1983) ερευνά την χρήση της ερυθράς ιλύος ως εδαφικό βελτιωτικό σε αμμώδη εδάφη στην Αυστραλία. Η έκπλυση του φωσφόρου από την πεδιάδα του Swan Coastal στην Αυστραλία προκαλεί τον ευτροφισμό των οργανισμών που βρίσκονται σε παράκτια εδάφη. Επιπλέον σε αυτά τα εδάφη δεν βρέχει συχνά και η πρόσμειξη λεπτόκοκκων υποστρωμάτων βελτιώνει την εγκατάσταση και ανάπτυξη βλάστησης με τριφύλλι (*Trifolium subterraneum*). Η ερυθρά ιλύς μπορεί να ενσωματωθεί σε μεγάλες ποσότητες σε αμμώδη εδάφη (έως 1680 τόνους ανά εκτάριο) μαζί με 5-8 % γύψο, χωρίς σημαντική μείωση της παραγωγής οσπρίων. Παρόλο που η παραγωγή δεν αυξάνεται, από την άλλη αποστραγγιζόμενες περιοχές είναι πολύ πιο πιθανό να επωφεληθούν από την ανάμιξη με την ερυθρά ιλύ. Ακόμη οι ίδιες (1680 τόνοι ανά εκτάριο) ποσότητες ερυθράς ιλύος που αναμίχθηκαν με αμμώδη εδάφη, οδήγησαν σε έλλειψη μαγανίου στα φυτά, αλλά μικρότερες ποσότητες ερυθράς ιλύος, τα επίπεδα των θρεπτικών στοιχείων των φυτών ήταν ικανοποιητικά. Η λίπανση με κανονικές ποσότητες καλίου και χαμηλές ποσότητες φωσφόρου απαιτείται για μία καλή ανάπτυξη των φυτών σε εδάφη με υψηλές ποσότητες ερυθράς ιλύος (1680 τόνοι ανά εκτάριο) αναμεμιγμένες με γύψο. Δεν βρέθηκαν τοξικές συγκεντρώσεις στοιχείων σε αυτά τα εδάφη, εκτός από το μολυβδαίνιο το οποίο θα μπορούσε να προκαλέσει μολυβδαίνωση στα ζώα που θα βοσκούσαν αυτά τα εδάφη. Όμως οι υψηλές συγκεντρώσεις μολυβδαίνιου των λιπασμάτων θα μπορούσαν να μειωθούν με μείωση των λιπάνσεων που περιέχουν μολυβδαίνιο (Ward, 1983).

Η εναπόθεση της ερυθράς ιλύος καταλαμβάνει τεράστιες εκτάσεις γης στην Αυστραλία, η οποία παραμένει εγκαταλελειμμένη και υπόκεινται την διάβρωση του αέρα και του ύδατος (Wong and Ho, 1992). Οι βασικοί περιορισμοί για την αποκατάσταση του εδάφους όπου έχει εναποτεθεί ερυθρά ιλύς, είναι η υψηλή

αλκαλικότητα των εδαφών, η αλατότητα και υψηλή περιεκτικότητα σε νάτριο. Οι Wong, και Ho (1992), προσπάθησαν να εκτιμήσουν την χρησιμότητα του απόβλητου γύψου για την βελτίωση των ιδιοτήτων της ερυθράς ιλύος. Ο γύψος προστέθηκε στην ερυθρά ιλύ σε αναλογίες 0, 2, 5 και 8% (βάρος / βάρος) και στο μείγμα που προέκυπτε κάθε φορά, φυτεύονταν δύο είδη χλόης της οικογένειας Gramineae, το είδος Αγρόπυρον (*Agropyron elongatum*) και η αγριάδα (*Cynodon dactylon*), τα οποία είναι ανθεκτικά στην αλκαλικότητα και στην αλατότητα. Η προσθήκη γύψου μείωσε σημαντικά το pH του εδάφους, την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), το νάτριο (Na) και το αργίλιο (Al), ενώ παρείχε ιόντα ασβεστίου (Ca) με συνεχή ροή, κάτι το οποίο είχε ως αποτέλεσμα χαμηλή ανταλλαξιμότητα ιόντων νατρίου των φυτών με το έδαφος. Τα μικρά φυτά της αγριάδας (*Cynodon dactylon*) δεν κατόρθωσαν να αναπτυχθούν και μαράθηκαν την πρώτη εβδομάδα διεξαγωγής του πειράματος σε έδαφος που αποτελείται από ερυθρά ιλύ μόνο (με pH = 10,5). Αντίθετα στο είδος (*Agropyron elongatum*) φύτρωσαν άνω του 70% των σπόρων στο μάρτυρα (σκέτη ερυθρά ιλύ), ενώ στην αγριάδα το ποσοστό αυτό κυμάνθηκε γύρω στο 40%. Οι βελτιωμένες εδαφικές συνθήκες στην αναλογία του 5% του γύψου στην ερυθρά ιλύ, αύξησε σημαντικά την βλαστικότητα και το ξηρό βάρος της παραγωγής των δύο ειδών χλόης. Η ανάπτυξη και η βλαστικότητα των φυτών μειώνονταν όταν το pH, το αργίλιο (Al) και την ανταλλαξιμότητα ιόντων νατρίου του εδάφους αυξάνονταν. Η ανάλυση των ιστών των φυτών έδειξε επίσης ότι η διαθεσιμότητα φωσφόρου (P), καλίου (K), μαγνησίου (Mg), και ασβεστίου (Ca) αυξήθηκε στο 5% του γύψου που προστέθηκε στην ερυθρά ιλύ, ενώ η διαθεσιμότητα νατρίου (Na) και σιδήρου (Fe) μειώθηκε. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η προσθήκη του απόβλητου γύψου είναι ένα αποτελεσματικό βελτιωτικό για την ερυθρά ιλύ.

Η βελτίωση της περιεκτικότητας σε θρεπτικά στοιχεία του εδάφους είναι ένα διαφορετικό θέμα σύμφωνα με τους Wong και Ho (1992). Η ερυθρά ιλύς έχει πολύ μικρή διαθεσιμότητα σε οργανικά συστατικά και αναμένεται μικρή μικροβιακή δραστηριότητα εδάφους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ότι χρειάζονται αρκετά χρόνια για να αναπτυχθεί ένας λειτουργικός μικροβιακός πληθυσμός. Επομένως ένα μακροχρόνιο πρόγραμμα επαναβλάστησης της ερυθράς ιλύος, θα εξαρτάται από μεγάλες ποσότητες ανόργανων λιπασμάτων, τα οποία έχουν ένα σημαντικό κόστος. Για την αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας και της περιεκτικότητας σε θρεπτικά συστατικά της ερυθράς ιλύος, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αστικά

λύματα, τα οποία θα αντικαθιστούσαν τα οργανικά λιπάσματα και τα οποία είναι πολύ χαμηλότερου κόστους.

Η ερυθρά ιλύς έχει εκείνες τις ιδιότητες που μπορούν να υπερνικήσουν αρκετά από τα προβλήματα που παρουσιάζουν τα αμμώδη εδάφη που βρίσκονται κοντά σε ακτές (Barrow, 1982). Αν και η ερυθρά ιλύς είναι ακατάλληλο υπόστρωμα για την ανάπτυξη των φυτών, λόγω της υψηλής αλκαλικότητας και αλατότητάς της, η ανάμιξη με γύψο μπορεί να μειώσει την αλκαλικότητά της και να την κάνει καταλληλότερη για υπόστρωμα. Ο Barrow (1982) βρήκε ότι μετά την έκπλυση του θειικού άλατος νατρίου της ερυθράς ιλύος, κάποια είδη φυτών μπορούσαν να αναπτυχθούν σε γλαστράκια σε μια αναλογία ερυθράς ιλύος:γύψου 20:1, με την διάθεση επαρκών ποσοτήτων φωσφόρου, μαγγανίου και καλίου. Η ερυθρά ιλύς έχει την ικανότητα να απορροφά φώσφορο λόγω της υψηλής της περιεκτικότητας σε υδροξείδια και οξειδία του σιδήρου. Επιπλέον η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και η προσρόφηση του καδμίου αυξάνεται καθώς αυξάνεται το pH, ενώ η ικανότητα προσρόφησης του φωσφόρου μειώνεται καθώς αυξάνεται το pH. Ακόμη η αναμεμιγμένη ερυθρά ιλύς με το γύψο, αύξανε την ικανότητα του εδάφους να κατακρατεί εδαφική υγρασία για τα φυτά.

Οι Kong και Mendelssohn (1996) αναφέρουν ότι το φυτό *Spartina alterniflora* μπόρεσε να αναπτυχθεί σε μίγμα ερυθράς ιλύος με ίζημα από έλος ή κομπόστα, όχι όμως και το φυτό *Sagittaria lancifolia*, το οποίο δεν άντεξε την υψηλή συγκέντρωση νατρίου και το υψηλό επίπεδο αλατότητας της ερυθράς ιλύος. Η ικανότητα μείωσης της αλατότητας της ερυθράς ιλύος φαίνεται να είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που οδηγεί στην επιτυχημένη ανάμιξη της τελευταίας σε ελώδη εδάφη. Η ερυθρά ιλύς έχει χαμηλά επίπεδα διαθέσιμου αζώτου και φωσφόρου. Τα υπόλοιπα μακροστοιχεία, όπως ασβέστιο, κάλιο και μαγνήσιο φαίνεται να μην επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών. Η χορήγηση του τριπλού λιπάσματος που περιέχει άζωτο, κάλιο και φώσφορο, αρχικά αύξησε τις συγκεντρώσεις του ανόργανου αζώτου του νερού των υποστρωμάτων, αλλά γρήγορα μειώθηκε από τα φυτά και τους μικροοργανισμούς του εδάφους, κάτι που σημαίνει ότι μπορεί να μην επαρκεί για μακράς διάρκειας ανάπτυξη φυτών. Η προσρόφηση φωσφόρου από την ερυθρά ιλύ λόγω υψηλού pH και συγκέντρωσης ασβεστίου, είναι επίσης άλλος ένας παράγοντας που περιορίζει την γονιμότητα των υποστρωμάτων που περιέχουν ερυθρά ιλύ. Η

ενσωμάτωση οργανικών ουσιών, όπως κομπόστα στην ερυθρά ιλύ, αύξησε σημαντικά την συγκέντρωση ανόργανου αζώτου στο νερό των υποστρωμάτων και αυτός ίσως είναι ένας τρόπος αύξησης της γονιμότητας της ερυθράς ιλύος. Κατά τη διάρκεια της τρίμηνης περιόδου ανάπτυξης του *Spartina alterniflora* το υπόστρωμα που περιείχε μόνο ερυθρά ιλύ, απελευθέρωσε χαμηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο νερό του εδάφους σε σύγκριση με το υπόστρωμα του έλους, παρόλο που οι συνολικές συγκεντρώσεις αυτών των μετάλλων στο έδαφος ήταν υψηλότερες στην ερυθρά ιλύ.

Οι Lewis *et al.* (1995) αναφέρουν ότι στο νησί Saint Croix των Ηνωμένων Πολιτειών, η βιομηχανία αλουμινίου VIALCO ανέπτυξε μία μέθοδο εκμετάλλευσης της ερυθράς ιλύος. Η αποθήκευση της ερυθράς ιλύος γίνεται σε σωρούς όπου ξηραίνεται με την μέθοδο της εξάτμισης. Η εκμετάλλευση του χώρου όπου εναποτίθεται η ερυθρά ιλύς θα μπορούσε να γίνει με την χρησιμοποίηση εδαφικών βελτιωτικών κάτι που όμως στοιχίζει αρκετά. Με την χρησιμοποίηση της άμμου, οργανικής ύλης που προέρχεται από μη εμπορικής κλίμακας δραστηριότητες (κοπριά ζώων) και ασβεστόλιθων της περιοχής, εξοικονομούνται αρκετά χρήματα σε σύγκριση με τα εδαφικά βελτιωτικά, αφού τα παραπάνω προϊόντα είναι πολύ χαμηλού κόστους. Η ανάμιξη της ερυθράς ιλύος με τα χαμηλού κόστους προϊόντα έχει σαν αποτέλεσμα την βελτίωση των εδαφικών ιδιοτήτων της ερυθράς ιλύος και την ανάπτυξη χλόης που φύεται στην περιοχή (*Digitaria ciliaris*). Η σημαντικότερη βελτίωση των εδαφικών ιδιοτήτων της ερυθράς ιλύος μετά την ανάμιξη των παραπάνω προϊόντων είναι η βελτίωση του εδαφικού πορώδους, που επιτρέπει την ανάπτυξη των φυτών και αυτό οφείλεται στο ότι επιτρέπει την καλύτερη εισχώρηση του νερού και του αέρα στο ριζικό σύστημα του φυτού. Επίσης η αύξηση του εδαφικού πορώδους εμποδίζει την ανοδική πορεία των αλάτων που βρίσκονται στα κατώτερα στρώματα και βοηθάει στην καλύτερη έκπλυση των αλάτων που προέρχονται από ουσίες της επιφάνειας. Αύτη η μείωση της αλκαλικότητας ευνοεί την ανταλλαγή κατιόντων η οποία ευνοεί με τη σειρά της την διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά. Δηλαδή αυξάνεται η διαθεσιμότητα των μακρο- και μικροστοιχείων, καθώς επίσης και η μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους που αποικοδομεί την οργανική ύλη. Συνεπώς το πορώδες του εδάφους παίζει κυρίαρχο ρόλο για την βλάστηση και ανάπτυξη των φυτών και επιτυγχάνεται με την ανάμιξη της ερυθράς ιλύος με τα χαμηλού κόστους προϊόντα (Lewis *et al.* 1995).

Οι Fuller και Richardson (1986) αναφέρουν ότι τα χαρακτηριστικά της ερυθράς ιλύος εμποδίζουν την εγκατάσταση και ανάπτυξη της βλάστησης. Παρόλα αυτά, πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι η προσθήκη οργανικών υλικών στην ερυθρά ιλύ, όπως αστικά λύματα μπορούν να βοηθήσουν στην ανάπτυξη φυτών που είναι ανθεκτικά σε αλκαλικά εδάφη, όπως το είδος *Distichlis spicata* var. *stricta*. Η ερυθρά ιλύς λόγω της υψηλής της περιεκτικότητας σε αργίλιο και σε συνδυασμό με το υψηλό pH (άνω του 10) εμποδίζει την ανάπτυξη των φυτών. Τα αστικά λύματα φαίνεται ότι χαμηλώνουν το pH και μειώνουν την διαθεσιμότητα του αργιλίου στο φυτό. Επίσης είναι πιθανό το ενδεχόμενο ο σίδηρος της ερυθράς ιλύος να δρα τοξικά σε υψηλές τιμές pH στα φυτά. Υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου και αργιλίου στις ρίζες του φυτού *Distichlis spicata* έδειξαν να εμποδίζουν την διαθεσιμότητα των στοιχείων ασβεστίου, μαγνησίου, μαγανίου και φωσφόρου και κατά συνέπεια να εμποδίζουν την ανάπτυξη του φυτού. Οι διαθέσιμες συγκεντρώσεις σιδήρου στο έδαφος μειώθηκαν σε υψηλές ποσότητες γύψου (άνω των 50 τόνων ανά εκτάριο) σε συνδυασμό με αστικά λύματα. Τα αστικά λύματα χρησιμοποιούνται ευρέως για να αυξήσουν την παραγωγή των φυτών σε εδάφη με τοξικότητα ιόντων και έλλειψη θρεπτικών συστατικών. Η εγκατάσταση φυτών στην ερυθρά ιλύ απαιτεί την επιλογή φυτών ανθεκτικών σε υψηλό pH καθώς επίσης και την προσθήκη αστικών λυμάτων για την μείωση του pH και της διαθεσιμότητας του αργιλίου.

Στην Δυτική Αυστραλία ο Summers (1994) αναφέρει ότι η ερυθρά ιλύς των βιομηχανιών αλουμινίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την βελτίωση των ιδιοτήτων του εδάφους και κυρίως για την ελαχιστοποίηση της έκπλυσης του φωσφόρου. Οι ποσότητες της ερυθράς ιλύος που απαιτούνται για την ελαχιστοποίηση της έκπλυσης του φωσφόρου είναι 2,000 τόνοι ανά εκτάριο ή 20 εκατοστά πάχος, χρησιμοποιώντας βαριά γεωργικά μηχανήματα για τον διασκορπισμό της (Barrow, 1982).

Στην Γερμανία πολύ μικρότερες ποσότητες ερυθράς ιλύος χρειάζονταν για την κατακράτηση του φωσφόρου (20 τόνοι ανά εκτάριο ή 0,2 εκατοστά πάχος) (Summers, 1994). Κατά τον διασκορπισμό της ερυθράς ιλύος σε αμμώδη εδάφη βελτιώνονται οι ιδιότητες του εδάφους. Πρώτα από όλα η λεπτόκοκκη ερυθρά ιλύς είναι πλούσια σε οξείδια του σιδήρου και αλουμινίου, τα οποία κατακρατούν τον φώσφορο. Το εναπομένον αλκαλικό υλικό (από την καυστική σόδα) μπορεί να μειώσει την διαθεσιμότητα και την κινητικότητα του φωσφόρου και συγχρόνως να αυξήσει το pH του εδάφους σε όξινα εδάφη για αρκετά χρόνια. Επίσης η ερυθρά ιλύς

βελτιώνει την κατακράτηση της εδαφικής υγρασίας. Ακόμη μπορεί να βελτιώσει τις ιδιότητες του λιπάσματος καλίου στο έδαφος.

Στη συνέχεια ο Summers (1994) αναφέρει ότι η έκπλυση του φωσφόρου από το έδαφος προκαλεί την ανάπτυξη αλγών. Η προσθήκη 20 τόνων ερυθράς ιλύος ανά εκτάριο στο έδαφος μπορεί να μειώσει την ανάπτυξη των αλγών με την κατακράτηση του φωσφόρου. Επιπλέον η προσθήκη 20 τόνων ερυθράς ιλύος ανά εκτάριο σε λιβάδι, αύξησε την παραγωγή χλόης κατά ένα τόνο ξηρής ουσίας ανά εκτάριο. Παρόλα αυτά η αύξηση της παραγωγής οφείλεται στο αρχικό pH και την παραγωγικότητα του εδάφους. Η ποσότητα της ερυθράς ιλύος που θα διασκορπιστεί στο έδαφος εξαρτάται από το pH του εδάφους. Υπερβολική ποσότητα ερυθράς ιλύος μπορεί να μειώσει την διαθεσιμότητα στοιχείων όπως μαγγανίου, χαλκού και ψευδαργύρου.

Άλλη μία εφαρμογή της ερυθράς ιλύος σύμφωνα με τον Summers είναι η ανάμιξή της με κομπόστες. Η παραγωγή κομπόστας σαν εδαφικό βελτιωτικό από αστικά απόβλητα έχει μειωθεί λόγω της αύξησης των βαρέων μετάλλων όπως νικέλιο, κάδμιο και μόλυβδο, στα αστικά απόβλητα. Η ανάμιξη της ερυθράς ιλύος σε ποσοστό 30% με αυτού του είδους την κομπόστα, μειώνει την κινητικότητα των βαρέων μετάλλων και κατά συνέπεια μειώνει την διαθεσιμότητά τους στα φυτά. Το τελικό προϊόν της κομπόστας που προκύπτει είναι πυκνότερο, σταθερότερο και η οργανική ουσία διαρκεί έως και πέντε φορές περισσότερο από την παραδοσιακή κομπόστα. Ακόμη η ερυθρά ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως επένδυση σε λεκάνες διήθησης που κατακρατούν το νερό της βροχής μειώνοντας έτσι την θρεπτική απώλεια των νερών και το βιοχημικό οξυγόνο που απαιτείται (BOD) στους υδρόβιους οργανισμούς. Με αυτό τον τρόπο βελτιώνονται οι υδρόβιες συνθήκες των ποταμιών και των λιμνών. Τέλος η ερυθρά ιλύς μπορεί να αντικαταστήσει υλικά κατασκευής όπως την βάση των δρόμων μειώνοντας έτσι την ανάγκη εξόρυξης υλικών (Summers, 1994).

Επίσης στην Δυτική Αυστραλία, στην Pinjarra, τα υπολείμματα βωξίτη από την βιομηχανία αλουμινίου Alcoa, αποθηκεύονται σε μεγάλες εκτάσεις όπου στρώματα ερυθράς ιλύος και ερυθράς άμμου διαδέχονται το ένα μετά το άλλο και τελικά καλύπτονται από δύο με τέσσερα μέτρα στρώματος ερυθράς άμμου (Gherardi & Rengel, 2003). Η προσπάθεια εγκατάστασης βλάστησης αυτών των εκτάσεων αποδείχτηκε προβληματική λόγω των αντίξοων συνθηκών που επικρατούν για την ανάπτυξη των φυτών. Οι αντίξοες συνθήκες είναι το εξαιρετικά υψηλό pH του



εδάφους (10 με 12 αρχικά), αλατότητα σε συνδυασμό με κακή δομή του εδάφους και φτωχή κατακράτηση υγρασίας. Αυτές οι συνθήκες προκαλούν μικρή ως ελάχιστη διαθεσιμότητα θρεπτικών υλικών για τα φυτά. Η μηδική (*Medicago sativa*) έχει ερευνηθεί εκτενώς στην Αυστραλία γιατί είναι ένα πολυετές φυτό με βαθύ ριζικό σύστημα, μεγάλη ανθεκτικότητα σε αλκαλικά εδάφη και μέτρια στην αλατότητα και στα υπολείμματα του νατρίου. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με την καλή παραγωγικότητα σε εδάφη που έχουν υγρασία με αλατότητα, ίσως δώσουν την δυνατότητα στην μηδική να είναι το είδος του φυτού που θα μπορέσει να εγκατασταθεί σε εκτάσεις που προέρχονται από υπολείμματα βωξίτη (ερυθρά ιλύς). Παρόλα αυτά η μηδική που φυτεύτηκε σε τέτοιου είδους εδάφη, έδειξε σοβαρή έλλειψη μαγγανίου, ακόμα και με τακτικές προσθήκες μαγγανίου. Μία λύση που φαίνεται να αντιμετωπίζει το παραπάνω πρόβλημα είναι η χρησιμοποίηση διαφορετικών ποικιλιών μηδικής και πιο συγκεκριμένα η χρησιμοποίηση ποικιλιών ανθεκτικών στην έλλειψη μαγγανίου. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η εγκατάσταση βλάστησης (μηδικής) όχι μόνο σε εδάφη που προέρχονται από υπολείμματα βωξίτη (ερυθρά ιλύς) αλλά και σε εδάφη που έχουν έλλειψη μαγγανίου.

### **Επανόρθωση (fixation) εδαφών με τη χρήση της ερυθράς ιλύος**

Η ρύπανση των εδαφών από βαρέα μέταλλα και μεταλλοειδή είναι ένα πρόβλημα που απαντάτε σε όλο τον κόσμο (Lombi *et al.*, 2002). Για την επανόρθωση των εδαφών απαιτούνται χαμηλού κόστους διαδικασίες. Οι σημερινές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την επανόρθωση των εδαφών είναι πολύ ακριβές. Επιπλέον μπορεί να δημιουργήσουν πρόσθετους κινδύνους για τους χειριστές καθώς επίσης και δευτερογενή απόβλητα. Ακόμη αυτού του είδους οι τεχνολογίες δεν επιτρέπουν την φυσική επανάκαμψη του περιβάλλοντος. Επομένως απαιτούνται καινοτόμες τεχνολογίες χαμηλού κόστους που θα πληρούν εκείνες τις προϋποθέσεις για την σωστή επανόρθωση των εδαφών και θα είναι κοινά αποδεκτές. Η επανόρθωση των εδαφών βασίζεται στην μείωση της κινητικότητας και της διαθεσιμότητας των μετάλλων σαν αποτέλεσμα εφαρμογής εδαφικών βελτιωτικών. Συνεπώς οι καταστρεπτικές επιδράσεις των βαρέων μετάλλων στους περιβαλλοντικούς δέκτες όπως μικροοργανισμοί, φυτά, ζώα, υδρόβιοι οργανισμοί και άνθρωποι μειώνονται σημαντικά. Μολυσμένα εδάφη βελτιώνονται με την προσθήκη εδαφικών βελτιωτικών όπως οργανική ουσία και ασβέστη. Η προσθήκη ασβέστη γενικά μειώνει την

διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων σε έμβια όντα. Η ερυθρά ιλύς είναι ένα άλλο υλικό με δυνατότητα επανόρθωσης των εδαφών. Η ερυθρά ιλύς έχει χρησιμοποιηθεί σε εδάφη λιμανιών τα οποία είχαν μολυνθεί με κάδμιο και ψευδάργυρο, των οποίων κατόρθωσε να μειώσει την κινητικότητα και την διαθεσιμότητα. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης το pH και η χημική απορρόφηση για την μείωση της διαθεσιμότητας των μετάλλων. Η προσθήκη ερυθράς ιλύος μπορεί να οδηγήσει σε μία πιο σταθερή μείωση της κινητικότητας των μετάλλων από ότι ο ασβέστης και επιπλέον υπάρχει μικρότερος κίνδυνος να επανακινητοποιηθούν τα μέταλλα σε περίπτωση που το pH του εδάφους μειωθεί.

### **Χρήσεις ερυθράς ιλύος σε βιομηχανικές εφαρμογές**

Στην Ελλάδα οι Ποντίκης *et al.* (2003) αναφέρουν ότι η χημική και κοκκομετρική σύσταση καθιστούν την ερυθρά ιλύ ένα υποψήφιο υλικό για χρήση στις βιομηχανίες τσιμέντου και παραδοσιακών κεραμικών καθώς και στην παραγωγή άλλων οικοδομικών υλικών (ελαφρά αδρανή, πορώδες, πλίνθοι κτλ), στην μεταλλουργία, στην επεξεργασία αποβλήτων, στην κατάλυση, στην γονιμοποίηση εδαφών κ.α. Οι βιομηχανίες του τσιμέντου Portland, των κεραμιδιών και των τούβλων είναι σε θέση να απορροφήσουν το σύνολο της σημερινής παραγωγής ερυθράς ιλύος που απορρίπτεται στον Κορινθιακό κόλπο.

Οι Κοντόπουλος *et al.* (1979) αναφέρουν ότι η ερυθρά ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή τιτανίου και σιδήρου. Το οξείδιο τιτανίου (ρουτίλιο:  $TiO_2$ ) είναι μία από τις σημαντικότερες λευκές χρωστικές (πιγμέντα) και χρησιμοποιείται ευρύτατα για την παρασκευή χρωμάτων. Συγκρινόμενο με τις άλλες λευκές χρωστικές, όπως το λευκό του μολύβδου ( $PbSO_4$ ) ή το οξείδιο του ψευδαργύρου, το οξείδιο του τιτανίου παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα: α) δεν είναι τοξικό, β) έχει μεγαλύτερη καλυπτική ικανότητα και γ) δεν κιτρινίζει με την πάροδο του χρόνου. Η Ελλάδα εισάγει οξείδιο του τιτανίου και στην περίπτωση που καταστεί δυνατό να παραχθεί σε ανταγωνιστικό κόστος καθαρό λευκό οξείδιο τιτανίου ( $TiO_2$ ) από την ερυθρά ιλύ, θα προκύψει συναλλαγματικό όφελος.

Αντίθετα με τις εισαγωγές οξειδίων τιτανίου, η εισαγωγή μεταλλικού τιτανίου (Ti) στην Ελλάδα είναι περιορισμένη. Όμως πρέπει να εξετασθεί η δυνατότητα

παραγωγής μεταλλικού τιτανίου από την ερυθρά ιλύ τόσο για εξαγωγές, όσο και για κάλυψη ενδεχόμενης αύξησης της εγχώριας κατανάλωσης.

Η ελληνική χαλυβουργία εισάγει σχεδόν ολόκληρη την ποσότητα των πρώτων υλών από το εξωτερικό την οποία κατεργάζεται η Χαλυβουργική. Επειδή όμως η ερυθρά ιλύ περιέχει σημαντικές ποσότητες σιδήρου θα ήταν αρκετά ενδιαφέρον η χρησιμοποίηση αυτού του σιδήρου για εγχώρια παραγωγή. Η ερυθρά ιλύς περιέχει περίπου 40% οξείδιο του σιδήρου ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ή 29% σίδηρο (Fe). Η περιεκτικότητα αυτή είναι σημαντικά χαμηλότερη από τη συνηθισμένη των σιδηρομεταλλευμάτων (52-64% Fe). Όμως βασικοί παράγοντες για τη διαμόρφωση της αξίας ενός μεταλλεύματος, εκτός από την περιεκτικότητα σε σίδηρο (Fe), είναι η φύση και η περιεκτικότητα σε σύνδρομα και η κοκκομετρική σύσταση. Η φύση των συνδρόμων είναι ευνοϊκή για την ερυθρά ιλύ επειδή συνίστανται από χρήσιμα συστατικά (όπως  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ), η κοκκομετρική σύσταση όμως είναι δυσμενής.

Οι μέθοδοι της αξιοποίησης της ερυθράς ιλύος για την παραλαβή των χρήσιμων συστατικών της μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- i) Κατεργασία με αναγωγική φρύξη
- ii) Κατεργασία με αναγωγική τήξη
- iii) κατεργασία με χλωρίωση
- iv) Υδρομεταλλουργική κατεργασία
- v) Βοηθητικές μέθοδοι για αναγωγική τήξη: συσφαίρωση, πυροσυσσωμάτωση
- vi) Μέθοδοι για την προπαρασκευή της EI (κροκίδωση, πάχυνση, διήθηση)

Επιπρόσθετα οι Κοντόπουλος *et al.* (1979) αναφέρουν και μη μεταλλουργικές μεθόδους αξιοποίησης της ερυθράς ιλύος. Η τελευταία μετά από κατάλληλη επεξεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καταλύτης απορρόφησης διοξειδίου του θείου ( $\text{SO}_2$ ), τριοξειδίου του θείου ( $\text{SO}_3$ ) και υδρόθειου ( $\text{H}_2\text{S}$ ) από καυσαέρια και σαν αποθιωτικό και αποχρωστικό κλασμάτων πετρελαίου. Η αποτελεσματικότητά της σαν απορροφητή οφείλεται στην περιεκτικότητά της σε οξείδιο του σιδήρου ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Ακόμη η ερυθρά ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία τσιμέντου και στην παρασκευή σκυροδέματος (Κοντόπουλος *et al.*, 1979). Η προσθήκη της στο στάδιο της παραγωγής του τσιμέντου είναι χρήσιμη σαν πηγή σιδήρου ιδιαίτερα στα θειοανθεκτικά τσιμέντα όπου η απαιτούμενη περιεκτικότητα σε σίδηρο (Fe) είναι μεγαλύτερη.

Η ερυθρά ιλύς έχει καλές συνδετικές ιδιότητες οφειλόμενες στο περιεχόμενο σ' αυτήν πυριτικό διασβέστιο, υψηλή αδιαπερατότητα και συγκολλητικές ιδιότητες. Γι' αυτό

είναι κατάλληλη για την κατασκευή τεχνητών δομικών υλικών. Ανάλογα με τα διάφορα πρόσθετα τα υλικά αυτά έχουν διάφορες ιδιότητες όπως χαμηλή απορροφητικότητα ύδατος, θερμοανθεκτικότητα, κατάλληλο πορώδες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μονωτικά ήχου. Η συνήθης πορεία παρασκευής αυτών περιλαμβάνει συσφαίρωση, ξήρανση μέχρι κατάλληλη υγρασία και φρύξη σε ορισμένη θερμοκρασία. Μπορούν να σκληρυνθούν με προσθήκη κατάλληλων πολυμερών ή και να αποκτήσουν υαλώδη επιφάνεια και να δώσουν κεραμικά υλικά κατάλληλα για πλάκες, σωλήνες, επικαλύμματα οδών και λοιπά (Κοντόπουλος *et al.*, 1979).

Άλλη ενδιαφέρουσα χρήση της ερυθράς ιλύς αφορά στην παραγωγή χρωμάτων και επικαλυπτικών για τσιμέντα και χάλυβες. Η ερυθράς ιλύς σαν επικαλυπτικό δίνει επιφάνεια απαλλαγμένη από ρωγμές και πόρους και αντιδιαβρωτική προστασία.

Η ερυθρά ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την απομάκρυνση φωσφόρου (P) και βαρέων μετάλλων από βρώμικα νερά.

Από όλες τις χρήσεις που αναφέρονται, μεγαλύτερη σημασία ίσως έχει η χρησιμοποίηση της ερυθράς ιλύς σαν δομικό υλικό. Από τις μεθόδους που υπάρχουν για τη χρήση αυτή μεγαλύτερο ενδιαφέρον έχουν οι μέθοδοι που δεν απαιτούν προκαταρκτική κατεργασία της, διότι οι κατεργασίες αυτές αυξάνουν κατά πολύ το κόστος.

Η χρήση της ερυθράς ιλύς στην βιομηχανία τσιμέντου σαν πηγή σιδήρου για τα ελληνικά δεδομένα δεν παρουσιάζει οικονομικό ενδιαφέρον. Τα εργοστάσια τσιμέντου σαν πηγή σιδήρου χρησιμοποιούν συνήθως μεταλλουργικές σκωρίες που επιβαρύνονται μόνο με τα έξοδα μεταφοράς και έχουν περιεκτικότητα οξειδίου του σιδήρου ( $Fe_2O_3$ ) 50%. Εάν χρησιμοποιηθεί ερυθρά ιλύς θα πρέπει να προστεθούν οι κατεργασίες ξήρανσης και διήθησης οι οποίες αυξάνουν το κόστος της έναντι της σκωρίας (Κοντόπουλος *et al.*, 1979).

Η Vassiliou (1990) προσπάθησε να εκτιμήσει τις αντιδιαβρωτικές ιδιότητες της ερυθράς ιλύος σε φορέα εποξυδικό με τη μέθοδο της διαφοράς βάρους. Ως διαβρωτικό περιβάλλον χρησιμοποιήθηκε χλωριούχο νάτριο (NaCl) 3.5%. Τα πειραματικά δεδομένα έδειξαν ότι ένα μικρό ποσοστό 5% χρωστικής (πιγμέντο) από την ερυθρά ιλύ μέσα σε φορέα από εποξυδικό, προστατεύει αρκετά το μαλακό χάλυβα σε διαβρωτικό περιβάλλον από διάλυμα χλωριούχου νατρίου (NaCl) 3.5%. Επίσης φάνηκε ότι η αύξηση της περιεκτικότητας δεν αυξάνει την προστασία αλλά

αντιθέτως την μειώνει, αν και οι διακυμάνσεις των αποτελεσμάτων μετά το 5% της ερυθράς ιλύς μάλλον δείχνουν την ίδια προστασία. Στον Πίνακα 12 φαίνονται οι διακυμάνσεις των αποτελεσμάτων της προστασίας του χάλυβα από την διάβρωση για εποξυδικά επιστρώματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις χρωστικής ερυθράς ιλύος.

**Πίνακας 12.** Προστασία του χάλυβα από την διάβρωση για εποξυδικά επιστρώματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις χρωστικής ερυθράς ιλύς.

| <b>Συγκέντρωση (%)</b> | <b>Προστασία ως προς γυμνό (%)</b> | <b>Πρόσθετη προστασία ως προς εποξυδικό (%)</b> |
|------------------------|------------------------------------|---|
| 5                      | 86 ± 1                             | 20 ± 1  |
| 10                     | 74 ± 4                             | 8 ± 3   |
| 20                     | 82 ± 2                             | 16 ± 2  |
| 30                     | 80 ± 3                             | 14 ± 3  |
| 50                     | 72 ± 5                             | 6 ± 4   |
| 80                     | 76 ± 4                             | 10 ± 3  |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΕΣΤ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ

Τα τεστ τοξικότητας χρησιμοποιούνται στην υδατική οικο-τοξικολογία και στην εδαφική οικο-τοξικολογία. Σε σύγκριση με την υδατική οικο-τοξικολογία, η εδαφική οικο-τοξικολογία ήρθε στο επίκεντρο των ερευνητών αρκετά αργότερα (Rombke & Knacker, 2003). Αυτή η διαφορά απεικονίζεται και από τον αριθμό των πρότυπων μεθόδων των τεστ. Μετά την πρώτη σύνταξη των πρότυπων μεθόδων που δημοσιεύτηκε από τον OECD (Organization of Economic Cooperation and Development) το 1984, ακολούθησαν πολλά προτυποποιημένα τεστ τοξικότητας σε εργαστήρια και σε αγρούς για το έδαφος. Τα πρότυπα τεστ τοξικότητας που χρησιμοποιούνται στην εδαφική οικο-τοξικολογία φαίνονται στον Πίνακα 13 καθώς επίσης και ο οργανισμός που τα πιστοποίησε και το έτος πιστοποίησης.

**Πίνακας 13.** Πρότυπα τεστ τοξικότητας στην εδαφική οικο-τοξικολογία

| Οργανισμός  | Έτος | Τίτλος  |
|-------------|------|---|
| OECD 207    | 1984 | Earthworm, Acute Laboratory Test  |
| OECD 208    | 1984 | Terrestrial Plants, Growth Test   |
| ISO 10381-6 | 1993 | Sampling Part 6: Guidance on the collection, handling and storage of soil for the assessment of aerobic microbial processes in the laboratory |
| ISO 11268-1 | 1993 | Effects of pollutants on earthworms.<br>1. Determination of acute toxicity using artificial soil substrate                                    |
| ISO 11269-1 | 1993 | Determination of the effects of pollutants on soil flora<br>1. Method for the measurement of inhibition of root growth                        |
| ISO 11269-2 | 1995 | Determination of the effects of pollutants on soil flora<br>2. Effects of chemicals on the emergence and growth of higher plants              |
| ISO 14238   | 1997 | Biological processes – Determination of nitrogen processes  |

|             |      |   |
|-------------|------|---|
| ISO 11240-1 | 1997 | Determination of soil microbial biomass<br>1. Substrate – induced respiration method                    |
| ISO 11240-2 | 1997 | Determination of soil microbial biomass<br>2. Fumigation – extraction method                            |
| OECD 213    | 1998 | Honeybees, Acute Oral Toxicity Test   |
| OECD 214    | 1998 | Honeybees, Acute Oral Toxicity Test   |
| ISO 11268-2 | 1998 | Effects of pollutants on earthworms.<br>2. Determination of effects on reproduction                     |
| ISO 11267   | 1999 | Inhibition of reproduction of Collembola by soil pollutants   |
| ISO 11268-3 | 1999 | Effects of pollutants on earthworms.<br>3. Guidance on the determination of effects in field situations |
| OECD 216    | 2000 | Soil microorganisms: Nitrogen Transformation Test   |
| OECD 217    | 2000 | Soil microorganisms: Carbon Transformation Test   |
| ISO 15685   | 2002 | Determination of potential nitrification – Rapid test by ammonium oxidation                             |
| ISO 16072   | 2002 | Laboratory method for determination of microbial soil respiration                                       |
| ISO 17155   | 2002 | Determination of abundance and activity of the soil microflora using respiration curves                 |
| OECD 220    | 2003 | Enchytraeidae Reproduction Test (Draft)   |
| OECD 222    | 2003 | Earthworm Reproduction Test (Draft)   |
| ISO 16387   | 2003 | Effects of pollutants on Enchytraeidae – Determination of effect on reproduction and survival (Draft)   |

Επιπρόσθετα, οι οργανισμοί που χρησιμοποιούνται κατά κανόνα είτε στους αγρούς, είτε στα εργαστήρια για τα εδαφικά τεστ τοξικότητας, είναι συνήθως τα είδη *Echinochloa crusgalli*, *Lactuca sativa*, *Lolium perenne* και *Eisenia foetida*. Η διάρκεια των παραπάνω τεστ τοξικότητας κυμαίνεται από 2 έως 35 ημέρες (<http://web.ead.anl.gov/ecorisk/methtool>).

Όσον αφορά την υδατική οικο-τοξικολογία τα υδρόβια φυτά αρχικά έπαιξαν ένα μικρό ρόλο σε αποφάσεις που αφορούσαν τους περιβαλλοντικούς κινδύνους που προέρχονται από ουσίες επικίνδυνες για το περιβάλλον (Lewis, 1994). Τα υδρόβια

φυτά που χρησιμοποιούνται κυρίως σε τεστ φυτοτοξικότητας είναι τα πράσινα άλγη των καθαρών υδάτων, το φυτό της Λέμνας, τα μπλε-πράσινα άλγη, τα διάτομα και τα μακρόφυτα (φυτά και σπόροι). Αρκετά τεστ έχουν προτυποποιηθεί για τα άλγη, τα οποία είχαν χρησιμοποιηθεί από την αρχή με χημικά, με απόβλητα αποχέτευσης και επιβλαβή ύδατα αποστράγγισης. Μόνο για λίγα πράσινα άλγη γίνονται ευρέως αποδεκτά από την επιστημονική κοινότητα τα αποτελέσματα των τεστ φυτοτοξικότητας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα συγκεκριμένα τεστ γίνονται σε συνθήκες (συνήθως σε εργαστήρια) που δεν έχουν σχέση με την πραγματικές και για αυτό τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις.

Το περισσότερο χρησιμοποιούμενο φυτό μετά τα άλγη είναι η Λέμνα. Παρόλα αυτά είναι ένα φυτό με ασταθείς ιδιότητες λόγω μεγάλης ευαισθησίας σε σχέση με άλλα φυτά και ζωικούς οργανισμούς και για αυτό είναι περιορισμένη η χρήση της (Lewis, 1994). Η χρήση των υδρόβιων φυτών στα τεστ τοξικότητας θα αυξηθεί όταν αναπτυχθούν συγκεκριμένα ποιοτικά κριτήρια των μολυσμένων υδάτων. Οι πληροφορίες των τεστ τοξικότητας είναι απαραίτητες για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών κινδύνων. Στον Πίνακα 14 φαίνονται οι ουσίες εκείνες που είναι περισσότερο τοξικές σε υδρόβια φυτά από ότι σε ζωικούς οργανισμούς (Lewis, 1994).



**Πίνακας 14.** Ουσίες περισσότερο τοξικές σε υδρόβια φυτά από ότι σε ζωικούς οργανισμούς

| <b>Αλκοόλες</b>  | <b>Φυτοφάρμακα</b>  | <b>Οργανικά</b>  |
|--|---|--|
| Βουτανόλη<br>Εξανόλη<br>Επτανόλη<br>Οκτανόλη<br>Διεθυλεν-γλυκόλη<br>Προποργυλ-αλκοόλη<br>Ισοοκτανόλη | Diquat<br>Atrazine<br>Chlordane<br>2,4 D<br>Endrin<br>Dieldrin<br>Aldrin<br>Glyphosate<br>Tebuthiuron | Οργανοτίνη<br>Χλωραμίνη<br>Φαινόλη<br>Ακρυλάτες<br>Ακριδίνη<br>Χλωρικό κάλιο<br>Διχρωμικό κάλιο<br>4-Χλωροφαινόλη<br>Χλωροναφθαλίνη<br>4-Νιτροφαινόλη<br>Διβενζοφουράνιο<br>Τετραβορικό νάτριο<br>Φθοριούχο νάτριο<br>Δινιτροτολουένιο<br>Νιτροβενζίνη<br>2,4,6-Τρινιτροφαινόλη<br>1,3 Διχλωροπροπάνιο |
| <b>Μέταλλα</b>   | <b>Απόβλητα</b>   |  |
| Νικέλιο<br>Κάδμιο<br>Ψευδάργυρος<br>Χαλκός<br>Χρόμιο   | Επεξεργασία χαρτιού<br>Κλωστοϋφαντουργικά<br>προϊόντα<br>Δυλιστήρια<br>Ζιζανιοκτόνα                   |  |

### **Χρήσεις των τεστ τοξικότητας**

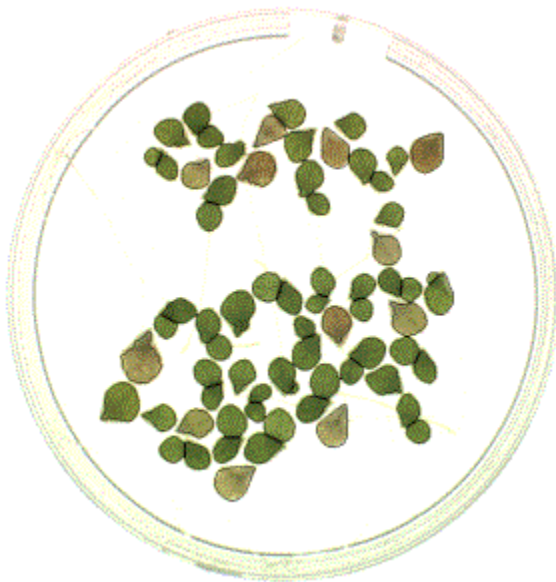
Τα τεστ τοξικότητας είναι επιθυμητά σε ποιοτικές αξιολογήσεις του νερού και του εδάφους γιατί τα φυσικά και τα χημικά τεστ από μόνα τους δεν επαρκούν για την αξιολόγηση πιθανών περιβαλλοντικών κινδύνων (ALPHA, AWWA & WPCF, 1989).

Για παράδειγμα, τα αποτελέσματα των χημικών αλληλεπιδράσεων και η επιρροή σύνθετων χημικών ουσιών στην τοξικότητα, δεν μπορούν να καθοριστούν από τα χημικά τεστ μόνο. Διαφορετικά είδη οργανισμών δεν είναι το ίδιο ευαίσθητα στην ίδια τοξική ουσία, ούτε οι οργανισμοί είναι το ίδιο ευαίσθητοι καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους. Ακόμη και προηγούμενη έκθεση σε τοξικά μπορεί να αλλάξει την ευαισθησία του οργανισμού. Επιπρόσθετα, οργανισμοί του ίδιου είδους συμπεριφέρονται διαφορετικά στο ίδιο επίπεδο τοξικότητας από καιρό σε καιρό, ακόμη και όταν όλες οι άλλες μεταβλητές διατηρηθούν σταθερές.

Τα τεστ τοξικότητας είναι χρήσιμα για μια σειρά λόγων που περιλαμβάνουν τον καθορισμό: (α) της καταλληλότητας των περιβαλλοντικών συνθηκών των οργανισμών, (β) των ευνοϊκών και μη περιβαλλοντικών παραγόντων, όπως DO (διαλυμένο οξυγόνο), pH, θερμοκρασία, θολρότητα του νερού και αλατότητα, (γ) των επιδράσεων στους περιβαλλοντικούς παράγοντες από τοξικά απόβλητα, (δ) της τοξικότητας των αποβλήτων σε έναν οργανισμό, (ε) της σχετικής ευαισθησίας των υδρόβιων οργανισμών σε απόβλητα αποχέτευσης ή σε τοξικά, (στ) της ποσότητας και του τύπου της επεξεργασίας των αποβλήτων που απαιτείται για τον έλεγχο της ρύπανσης των υδάτων, (ζ) της αποτελεσματικότητας των μεθόδων επεξεργασίας των αποβλήτων, (η) των επιτρεπόμενων ορίων των αστικών λυμάτων, και (θ) της συμμόρφωσης με τα πρότυπα ποιότητας νερού και των απαιτήσεων των αστικών λυμάτων. Σε αυτές τις ρυθμιστικές αξιολογήσεις, χρησιμοποιούνται τα δεδομένα των τεστ τοξικότητας, καθώς και δεδομένα από συγκεκριμένες περιοχές, ποσοστά διάλυσης, χρόνοι έκθεσης και συγκεντρώσεις (ALPHA, AWWA & WPCF, 1989).

### **Υδροχαρή φυτά: Λέμνα (*Lemna minor* L.)**

Τα υδροχαρή φυτά ανήκουν στο φύλο των Σπερματόφυτων, των οποίων τα χαρακτηριστικά είναι η ύπαρξη αληθινής ρίζας, μίσχων και φύλλων και η παραγωγή σπόρων από τα άνθη. Το φύλο αυτό περιλαμβάνει την πλειονότητα των πιο εμφανών φυτών του εδάφους του κόσμου. Τα υδροχαρή φυτά φύονται σχεδόν αποκλειστικά σε νερά που ανανεώνονται. Ένα από τα πιο κοινά υδροχαρή φυτά που χρησιμοποιούνται σαν φυτά-δείκτες στα εργαστήρια είναι η Λέμνα (*Lemna minor* L.) (Εικόνα 2).



**Εικόνα 2.** Λέμνα (*Lemna minor* L.)

Η Λέμνα είναι ένα μικρό υδροχαρές μακρόφυτο με ευρεία διασπορά που αναπτύσσεται σε ήρεμα ανανεούμενα νερά και εκβολές ποταμών, με μια ζώνη διαβίωσης που κυμαίνεται από την τροπική έως την εύκρατη ζώνη. Είναι το πιο κοινό είδος της οικογένειας Lemnaceae στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και σε άλλα μέρη του κόσμου. Μορφολογικά είναι απλό, αποτελούμενο μόνο από φύλλο και ρίζα. Το μέγεθος του φύλλου κυμαίνεται από δύο με τέσσερα χιλιοστά και το μήκος της ρίζας μπορεί να φτάσει έως και τα πενήντα χιλιοστά. Το φυτό εξαπλώνεται εύκολα και αναπαράγεται είτε και με τα δύο φύλα (αρσενικό, θηλυκό), είτε χωρίς. Ο ρυθμός ανάπτυξης του είναι πολύ μεγαλύτερος από τα άλλα φυτά. Η Λέμνα είναι τροφή για τα υδρόβια πουλιά και τα μικρά ζώα και προσφέρει τροφή, προστασία και σκιά στα ψάρια και σε άλλους υδρόβιους οργανισμούς. Επιπλέον είναι το φυσικό περιβάλλον για διάφορα ασπόνδυλα ζώα (ALPHA, AWWA & WPCF, 1989).

### **Εφαρμογές δοκιμών**

Η Λέμνα είναι ένας ιδεατός οργανισμός στα τεστ φυτοτοξικότητας των φυτοφαρμάκων, των αστικών και βιομηχανικών απόβλητων υδάτων και άλλων μολυσμένων υδάτων. Επειδή τα περισσότερα απόβλητα ύδατα είναι χρωματισμένα και θολά, είναι πολύ δύσκολο να εξεταστούν για την τοξικότητά τους με την χρήση φυκών-δεικτών χωρίς φιλτράρισμα, το οποίο μειώνει την ακεραιότητα του δείγματος. Επιπλέον, μερικά δείγματα περιέχουν ασταθή συστατικά και απαιτούν συνεχή

ανανέωση. Τα φύκη-δείκτες μπορεί να είναι ακατάλληλα για αυτά τα δείγματα, ενώ τα τεστ τοξικότητας με την Λέμνα μπορούν εύκολα να πραγματοποιηθούν.

Τα τεστ τοξικότητας με τη Λέμνα είναι χρήσιμα, ειδικά στον καθορισμό φυτοτοξικότητας στην επιφάνεια του ύδατος, όπου συγκεντρώνονται λάδι, λίπος και επιφανειακές ενεργές ουσίες. Το τεστ είναι επίσης χρήσιμο για τον καθορισμό τοξικότητας των μετάλλων, οργανικών συστατικών και αστικών και βιομηχανικών απόβλητων υδάτων. Γενικά περιγράφεται σαν ένα απλό, ευαίσθητο και αποτελεσματικό τεστ.

Η κοινή Λέμνα, όντας ένα φυτό που επιπλέει, μπορεί να υποεκτιμήσει την τοξικότητα ενός συστατικού (όπως της ουσίας bromacil) που προσροφάται σε μια συγκεκριμένη ύλη και ιζηματοποιείται κατά την διάρκεια ενός στατικού τεστ. Επίσης συστατικά (όπως η ουσία atrazine) που συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του ύδατος, φαίνεται να επηρεάζουν την Λέμνα περισσότερο από άλλα υδροχαρή φυτά, όπως τα φύκη και φυτά που αναπτύσσονται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Τέτοια προβλήματα ξεπερνιούνται με ελαφριά ανατάραξη του ύδατος ή με αναδευτικούς μηχανισμούς για αύξηση της ανάμειξης (ALPHA, AWWA & WPCF, 1989).

### **Επιλογή και προετοιμασία των οργανισμών στα τεστ**

Η διαδικασία είναι σχεδιασμένη για την χρήση του είδους *Lemna minor*. Το φυτό καλλιεργείται σε εμπορική κλίμακα, είτε εντός εργαστηρίων, είτε στον αγρό. Πριν τη χρήση θα πρέπει να αναγνωριστεί και να ταξινομηθεί. Άλλα είδη του γένους *Lemna spp.* είναι τα *L. gibba*, *L. perpusilla*, *L. paucicostata* και *L. polyrrhiza* τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία με διαφοροποιημένες διαδικασίες (ALPHA, AWWA & WPCF, 1989).

### **Καλλιέργεια των οργανισμών για το τεστ**

Μια νέα καλλιέργεια Λέμνας πρέπει να εγκλιματιστεί στο περιβάλλον του τεστ τουλάχιστον δύο εβδομάδες πριν την πραγματοποίησή του. Αυτή η καλλιέργεια αναπτύσσεται γρήγορα και παρέχει μία σχεδόν ανεξάντλητη πηγή για τεστ υπό κατάλληλες προϋποθέσεις. Η Λέμνα αναπτύσσεται σε ένα δοχείο 15 λίτρων για καλλιέργειες, το οποίο μπορεί να είναι είτε ενυδρείο, είτε ανοξείδωτη λεκάνη από

χάλυβα. Κατά την προετοιμασία ενός υδατικού διαλύματος καλλιέργειας 10 λίτρων, προστίθενται 100 ml από κάθε ένα από τα θρεπτικά υδατικά διαλύματα Α, Β και C (Πίνακας 15) σε απιονισμένο νερό. Το βάθος της λεκάνης θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 40 χιλιοστά ή περισσότερο και ο φωτισμός θα πρέπει να είναι σταθερός, λευκός από λάμπες φθορισμού (2150 έως 4300 lux στην επιφάνεια του νερού). Η θερμοκρασία θα πρέπει να διατηρείται στους  $25 \pm 2^\circ \text{C}$ . Κάθε εβδομάδα θα πρέπει να προστίθεται αραιωμένο υδατικό διάλυμα καλλιέργειας. Η καλλιέργεια Λέμνας θα πρέπει να μεταφέρεται σε ένα νέο υδατικό διάλυμα καλλιέργειας κάθε μήνα. Δεν απαιτείται στειρώση της καλλιέργειας (ALPHA, AWWA & WPCF, 1989).

**Πίνακας 15.** Υδατικό θρεπτικό διάλυμα Λέμνας

| Διάλυμα   | Συγκέντρωση διαλύματος | Στοιχείο | Τελική συγκέντρωση      |
|---|------------------------|----------|-------------------------|
| <b>A:</b>   |                        |          |                         |
| NaNO <sub>3</sub>                                   | 25,5 g/L               | N<br>Na  | 42,0 mg/L<br>110,0 mg/L |
| NaHCO <sub>3</sub>                                  | 15,0 g/L               | C        | 21,4 mg/L               |
| K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>                     | 1,04 g/L               | K<br>P   | 4,69 mg/L<br>1,86 mg/L  |
| <b>B:</b>   |                        |          |                         |
| CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O                | 4,41 g/L               | Ca       | 12,0 mg/L               |
| MgCl <sub>2</sub>                                   | 5,7 g/L                | Mg       | 29,0 mg/L               |
| FeCl <sub>3</sub>                                   | 0,096 g/L              | Fe       | 0,33 mg/L               |
| Na <sub>2</sub> EDTA·2H <sub>2</sub> O              | 0,3 g/L                |          |                         |
| MnCl <sub>2</sub>                                   | 0,264 g/L              | Mn       | 1,15 mg/L               |
| <b>C:</b>   |                        |          |                         |
| MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O                | 14,7 g/L               | S        | 19,1 mg/L               |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                      | 0,186 g/L              | B        | 325 µg/L                |
| Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O | 7,26 mg/L              | Mo       | 28,8 µg/L               |
| ZnCl <sub>2</sub>                                   | 3,27 mg/L              | Zn       | 15,7 µg/L               |
| CoCl <sub>2</sub>                                   | 0,78 mg/L              | Co       | 3,54 µg/L               |
| CuCl <sub>2</sub>                                   | 0,009 mg/L             | Cu       | 0,04 µg/L               |

Σημείωση:

Στο διάλυμα Β θα πρέπει να παραλειφθεί το  $\text{Na}_2\text{EDTA}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  αν το δείγμα του τεστ περιέχει τοξικά μέταλλα. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει μεταβληθεί το pH του διαλύματος Β στο 2 για να αποφευχθεί η δημιουργία ιζήματος.

Για να προετοιμαστεί το θρεπτικό υδατικό διάλυμα της Λέμνας, θα πρέπει να προστεθεί 1 ml από κάθε ένα από τα παραπάνω διαλύματα σε 100 ml απιονισμένου νερού. Το pH πρέπει να κυμαίνεται από 7,5 – 8.

## **Ασθένειες και εχθροί**

Ασθένειες, φυτοφάγα έντομα και άλλα παράσιτα συνήθως δεν δημιουργούν προβλήματα στις καλλιέργειες της Λέμνας. Αν η καλλιέργεια δεν είναι υγιής (κίτρινα φύλλα, μη ικανοποιητική ανάπτυξη) θα πρέπει να καταστραφεί και να αναπτυχθεί μια νέα. Σωστό είναι να διατηρούνται αρκετές καλλιέργειες απομονωμένες η μία από την άλλη (ALPHA, AWWA & WPCF, 1989).

## **Διαδικασία του τεστ τοξικότητας**

Τα τεστ τοξικότητας διακρίνονται ανάλογα με: (α) την διάρκεια – μικρής διάρκειας, μέσης και μακράς διάρκειας, (β) την μέθοδο με την οποία προστίθεται το υδατικό διάλυμα του τεστ – στατικό, ανανεώσιμο και συνεχούς ροής, και (γ) τον σκοπό – έλεγχος της ποιότητας των αστικών λυμάτων, σχετική τοξικότητα, γεύση και οσμή, ρυθμός ανάπτυξης κλπ. Συνήθως όταν ένα διάλυμα δοκιμής είναι σταθερό (π.χ., ένα διάλυμα με χαμηλό μικροβιακό πληθυσμό, υψηλή τοξικότητα μετάλλων, ή χαμηλή αστάθεια), πρέπει να χρησιμοποιείται ένα στατικό τεστ. Αν τα δείγματα είναι ασταθή, πρέπει να χρησιμοποιούνται ανανεώσιμες (καθημερινή ανανέωση) ή συνεχούς ροής μέθοδοι.

Οι διαδικασίες που ακολουθούνται για τεστ διάγνωσης, εύρεσης μιας διακύμανσης ή ταυτοποίησης είναι οι εξής:

Σε ένα τεστ διάγνωσης, πρέπει να χρησιμοποιείται μια προκαθορισμένη συγκέντρωση (π.χ., 100% αποχετευτικά ύδατα) για να καθοριστεί αν το δείγμα είναι τοξικό σε σύγκριση με το νερό μάρτυρα. Αν το δείγμα είναι τοξικό (μέτρηση μη ικανοποιητικής

ανάπτυξης της Λέμνας), στη συνέχεια χρησιμοποιείται το τεστ της εύρεσης μιας διακύμανσης και το τεστ της ταυτοποίησης. Σε ένα τεστ εύρεσης μιας διακύμανσης, εξετάζεται μια σειρά από συγκεντρώσεις, συνήθως σε μια κλίμακα του 10, για παράδειγμα 10%, 1%, 0,1%, κλπ.

Πρέπει να επινοηθεί ένα τεστ ταυτοποίησης που να στηρίζεται στα αποτελέσματα του τεστ εύρεσης της διακύμανσης. Πρέπει να χρησιμοποιηθούν πέντε συγκεντρώσεις του δείγματος σε μία κλίμακα του 0,5, για παράδειγμα, 10%, 5%, 2,5%, κλπ. Ιδεατά πρέπει να παρασκευαστεί μια σειρά από διαλύματα, στα οποία ο μέσος όρος της συγκέντρωσης να προκαλεί περίπου 50% επέκταση της καλλιέργειας, και οι υψηλότερες και χαμηλότερες συγκεντρώσεις να προκαλούν περίπου 90 και 10% επέκταση της καλλιέργειας αντίστοιχα.

Κάθε δοκιμή πρέπει να αποτελείται από τέσσερις επαναλήψεις, συμπεριλαμβανόμενης και της αρνητικής δοκιμής περιλαμβάνοντας μόνο θρεπτικό υδατικό διάλυμα της Λέμνας ή τροποποιημένο διάλυμα όπως και στις θετικές δοκιμές περιλαμβάνοντας 20 mg καλιούχο χρώμιο ανά λίτρο. Προτείνεται να χρησιμοποιηθούν 60 x 15 χιλιοστών γυάλινα τριβλία petri. (Παρόλο που το βάθος του τριβλίου μπορεί να είναι μικρότερο από το μήκος της ρίζας, η ανάπτυξη της Λέμνας δεν επηρεάζεται αρνητικά). Πλαστικά τριβλία μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αλλά δεν πρέπει τα φυτά της Λέμνας να προσκολλούνται στα τοιχώματα του τριβλίου. Η ποσότητα των θρεπτικών συστατικών πρέπει να είναι η ίδια σε όλα τα δείγματα και τους μάρτυρες, για παράδειγμα 1 ml από κάθε θρεπτικό υδατικό διάλυμα (A, B και C) για την παρασκευή 100 ml δείγματος. Πρέπει να ετοιμαστεί ένα τμήμα των 15 ml του διαλύματος του τεστ (ή δείγματος του μάρτυρα). Στη συνέχεια πρέπει να επιλεγούν φυτά Λέμνας από καλλιέργειες που αναπτύχθηκαν υπό τις ίδιες συνθήκες. Αν απαιτείται μείωση της εξάπλωσης των φυκών, πρέπει να κοπούν όλες οι ρίζες των φυτών Λέμνας. Πρέπει να χρησιμοποιηθούν αποικίες Λέμνας χωρίς κηλίδες, που να περιέχουν δύο φύλλα με σχεδόν ίδιο μέγεθος ανά αποικία. Αλλιώς, τέσσερα φυτά με τρία φύλλα, τρία φυτά με τέσσερα φύλλα, ή άλλοι συνδυασμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Δώδεκα φύλλα Λέμνας πρέπει να τοποθετηθούν σε κάθε τριβλίο και να καλυφθούν. Ο φωτισμός πρέπει να είναι συνεχής, λευκός από λάμπες φθορισμού στα 2150 με 4300 lux στην επιφάνεια του ύδατος, σε θερμοκρασία  $25 \pm 2^\circ \text{C}$ .

Όταν το τεστ τοξικότητας αφορά αποχετευτικά ύδατα σε κοινό νερό, πρέπει να υπάρχει καθημερινή ανανέωση με νέα αποχετευτικά ύδατα και το αραιωτικό πρέπει

να είναι κοινό νερό. Η καταμέτρηση των φύλλων πρέπει να γίνεται καθημερινά, έτσι ώστε να καθορίζονται ενδιάμεσα αποτελέσματα τοξικότητας. Σε μερικές περιπτώσεις, η Λέμνα μπορεί να παρουσιάσει καθυστερημένα αποτελέσματα. Χρειάζονται δύο με τρεις ημέρες για να αλλάξει ο ρυθμός ανάπτυξης όταν η Λέμνα μεταφέρεται σε νέο υδατικό διάλυμα. Η συνολική διάρκεια του τεστ είναι 96 ώρες (ALPHA, AWWA & WPCF, 1989).

### **Αποτελέσματα του τεστ**

Τα φυτά της Λέμνας πρέπει να παρατηρηθούν κάτω από έναν μεγεθυντικό φακό, για την εξακρίβωση συμπτωμάτων, συμπεριλαμβανομένων των χλωρώσεων (έλλειψη χρωστικής ουσίας / κιτρίνισμα), των νεκρώσεων (τμήματα νεκρών ιστών), της αποσύνθεσης των αποικιών, της καταστροφής των ριζών και της έλλειψης της πλευστότητας των φυτών. Στη συνέχεια πρέπει να γίνει σύγκριση των προσβεβλημένων φυτών Λέμνας με τα φυτά μάρτυρες. Αυτές οι παρατηρήσεις χρησιμοποιούνται στην καθιέρωση εκείνης της συγκέντρωσης η οποία δεν προκαλεί εμφανή συμπτώματα.

Η πιο κοινή μέθοδος που χρησιμοποιείται και μοιάζει να είναι η πιο αξιόπιστη, είναι η εκτίμηση της αύξησης των φύλλων, μια ποσοτική αξία που άμεσα εκτιμά την αύξηση της Λέμνας. Η μέτρηση της αύξησης των φύλλων γίνεται με την καταμέτρηση κάθε ορατού προεξέχοντα οφθαλμού. Αυτή η μέθοδος δεν καταστρέφει τα φυτά και επιτρέπει έτσι την επανάληψη των παρατηρήσεων στο ίδιο διάλυμα.

Άλλες μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί περιλαμβάνουν τη λήψη άνθρακα 14 (<sup>14</sup>C) από τους ιστούς των φύλλων, την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, σε βιομάζα, την έκταση των φύλλων, την μέτρηση των φυτών ανά αποικία, το συνολικό αριθμό ριζών και τη μέτρηση του μήκους των ριζών. Η θνησιμότητα των φυτών από μόνο του αποτελεί κριτήριο μικρής σημασίας.

Κάποιες ουσίες, σε χαμηλές συγκεντρώσεις, μπορεί να ενθαρρύνουν την ανάπτυξη της Λέμνας, παρά την παρεμποδίζουν (ALPHA, AWWA & WPCF, 1989).

### **Στατιστική ανάλυση**

Στα τεστ διάγνωσης, η κρίσιμη ερώτηση είναι αν το δείγμα είναι τοξικό ή ενθαρρύνει την ανάπτυξη της Λέμνας σε σύγκριση με το νερό-μάρτυρα. Η έκφραση της



τοξικότητας (ή της ενθάρρυνσης) είναι σε ποσοστό ανάσχεσης (ή επέκτασης) σε σχέση με το μάρτυρα:

$$\% I = 100 (C - T)/C$$

όπου I το ποσοστό ανάσχεσης, C και T οι μέσοι όροι της αύξησης των αριθμών των φύλλων στο μάρτυρα και στο δείγμα, αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα των τεστ ταυτοποίησης μπορούν να απεικονισθούν σε γραφικές παραστάσεις χρησιμοποιώντας γραμμικές, ημι-εκθετικές ή εκθετικές συναρτήσεις. Τυπικά, η συγκέντρωση των αποτελεσμάτων έχει σιγμοειδή σχέση. Πρέπει να καθοριστούν οι τιμές IC10, IC50 και IC90 (η συγκέντρωση που προκαλεί 10, 50 και 90% ανάσχεση) και η τιμή SC20 (η συγκέντρωση που προκαλεί 20% ενθάρρυνση) και να παρασταθούν είτε γραφικά, είτε με στατιστικές μεθόδους. Η κλίση που προκύπτει από την επεξεργασία των παραπάνω τιμών σχετίζει τη συγκέντρωση της δόσης με ένα συγκεκριμένο τοξικό προϊόν. Αυτή η πληροφορία μπορεί να είναι πολύ σημαντική (ALPHA, AWWA & WPCF, 1989).

## Ποιοτικός έλεγχος

Το δείγμα της αρνητικής δοκιμής είναι απαραίτητο για τον ποιοτικό έλεγχο. Ένα τεστ δεν είναι αποδεκτό αν περισσότερα από το 10% των φυτών Λέμνας του μάρτυρα, πεθάνουν ή δείξουν δυσμενή συμπτώματα. Υπό κανονικές συνθήκες, ο χρόνος διπλασιασμού της Λέμνας είναι μικρότερος από δύο ημέρες. Αν στο δείγμα του μάρτυρα, η αύξηση των φύλλων δεν είναι διπλάσια μέσα σε 96 ώρες, τότε το τεστ δεν είναι αποδεκτό.

Άλλη μια μέτρηση ποιοτικού ελέγχου είναι η χρήση χημικών αναφοράς σε μία μόνο καθορισμένη συγκέντρωση σαν ένα θετικό μάρτυρα. Το ιόν του χρωμίου έχει βρεθεί να είναι ένα ιδανικό σημείο αναφοράς τοξικής ουσίας. Η τοξικότητά του δεν επηρεάζεται από την ποιότητα του νερού και επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε φυσικά νερά, αλισίβες, απόβλητα ύδατα και παρόμοια νερά. Η συγκέντρωση 20 mg/L Cr προκαλεί περίπου 60% ανάσχεση στην ανάπτυξη της Λέμνας. Καλό είναι να περιλαμβάνεται αυτός ο θετικός μάρτυρας σε κάθε τεστ (ALPHA, AWWA & WPCF, 1989).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΒΙΟΔΟΚΙΜΗ ΦΥΤΩΝ ΚΑΡΔΑΜΟΥ ΣΕ ΕΡΥΘΡΑ ΙΛΥ

### 5.1. Σκοπός

Σκοπός του πειράματος ήταν να μελετηθεί η τοξικότητα της ερυθράς ιλύος σε φυτά καρδάμου (*Lepidium sativum*).

### 5.2. Υλικά και Μέθοδοι

Στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκε ερυθρά ιλύς που προέρχονταν από το εργοστάσιο «Αλουμίνιο της Ελλάδος», κατά την επεξεργασία του βωξίτη για την παραγωγή αλουμίνιας. Το pH του δείγματος της ερυθράς ιλύος μετρήθηκε με pH-μετρο τύπου ηλεκτροδίων της εταιρείας WTW pH 330 στο Εργαστήριο Τεχνικής Χημικών Διεργασιών της Σχολής Χημικών Μηχανικών και ήταν ίσο με 12,1. Το pH του δείγματος της ερυθράς ιλύος μειώθηκε με διαδοχικές εκπλύσεις απιονισμένου νερού και η τελική τιμή του ήταν γύρω στο 7,7 ( $\pm 0,1$ ).

Επιπλέον στο ίδιο Εργαστήριο μετρήθηκε η υγρασία του δείγματος της ερυθράς ιλύος. Σύμφωνα με την Επιτροπή Τυποποιημένων Μεθόδων (1997) ένα καλά ανακατεμένο δείγμα στερεού, ξηραίνεται σε μία προ-ζυγισμένη κάψα, η οποία έχει σταθερό βάρος, σε ένα φούρνο στους 103 με 105° C (ALPHA, AWWA & WPCF, 1989). Στο εργαστήριο εναποτέθηκε ερυθρά ιλύς βάρους 634 gr σε κάψα βάρους 223,5 gr. Η κάψα μαζί με την ερυθρά ιλύ τοποθετήθηκε σε φούρνο για τέσσερις ημέρες στους 100° C. Όταν μετρήθηκε το βάρος της ερυθράς ιλύς, αυτό βρέθηκε ίσο με 546,5 gr, μετά την ξήρανση της. Συνεπώς υπήρξε μείωση του βάρους της ερυθράς ιλύος κατά 13,8%, κάτι το οποίο οφείλεται στην ύπαρξη υγρασίας της ερυθράς ιλύος. Η ξηραμένη ερυθρά ιλύς που ήταν σε μορφή σκόνης με pH γύρω στο 7,7 τοποθετήθηκε σε πλαστικά ποτήρια (9 cm x 6 cm, ύψος x διάμετρος) αναμεμιγμένη με περλίτη. Έλαβαν χώρα δύο επεμβάσεις με διαφορετική αναλογία ερυθράς ιλύος και περλίτη.

Κατά την πρώτη επέμβαση η αναλογία κατά βάρος σε κάθε πλαστικό ποτήρι ήταν περίπου 5 gr ερυθράς ιλύος με 2 gr περλίτη. Το μίγμα που προέκυψε σπάρθηκε με σπόρους από φυτό κάρδαμο (*Lepidium sativum*). Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά πέντε επαναλήψεις.

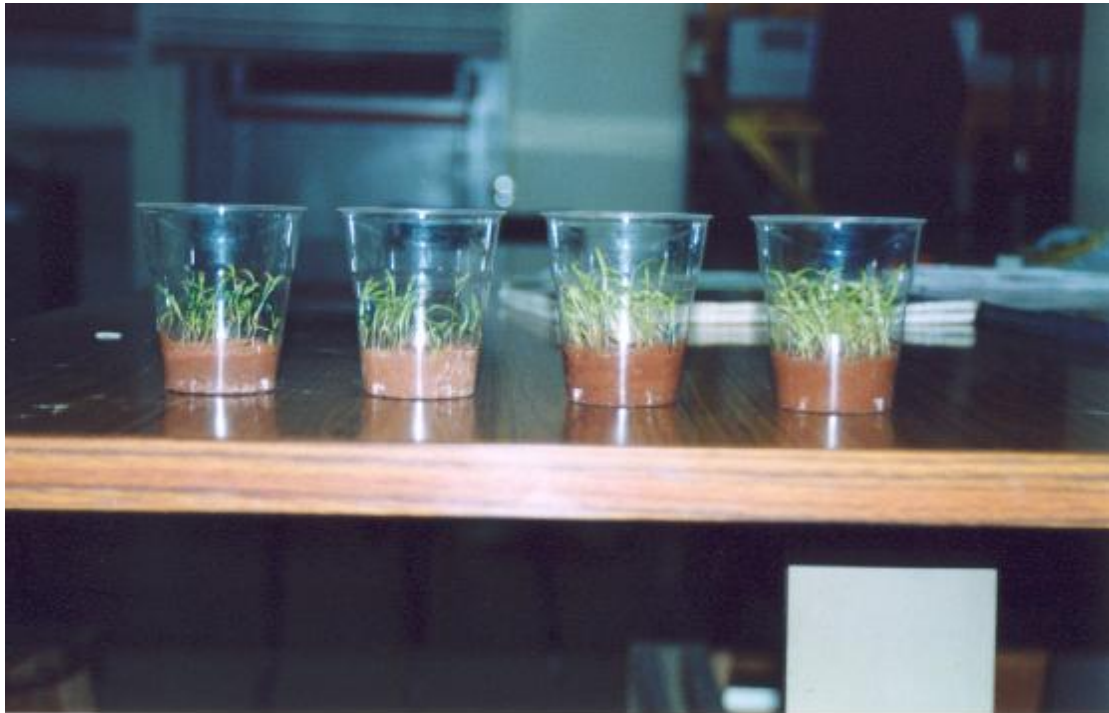
Στη δεύτερη επέμβαση η αναλογία κατά βάρος σε κάθε πλαστικό ποτήρι ήταν περίπου 11 gr ερυθράς ιλύος με 2 gr περλίτη. Το μίγμα που προέκυψε σπάρθηκε με σπόρους από φυτό κάρδαμο (*Lepidium sativum*). Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά τέσσερις επαναλήψεις.

Τα φυτά καρδάμου (*Lepidium sativum*) αναπτύχθηκαν σε συνθήκες δωματίου (T = 18-22° C).

### **5.3. Αποτελέσματα**

Οι σπόροι των φυτών φύτρωσαν μετά από έξι ημέρες. Δεν υπήρξε καμία ανάσχεση της ανάπτυξης των φυτών που να οφειλόταν στην ερυθρά ιλύ. Δεν φάνηκε καμία διαφορά στην ανάπτυξη των φυτών που φυτεύτηκαν στο μίγμα ερυθράς ιλύος:περλίτη 5:2 και στο μίγμα ερυθράς ιλύος:περλίτη 11:2. Συνεπώς η ερυθρά ιλύς δεν είχε κάποιου είδους τοξικότητας στο κάρδαμο (*Lepidium sativum*), αφού αναπτύχθηκαν κανονικά τα φυτά στις συγκεκριμένες αναλογίες ερυθράς ιλύος και περλίτη (Εικ. 3).

Οι φωτογραφίες του συγκεκριμένου πειράματος βρίσκονται σε ηλεκτρονική μορφή (CD-ROM) που συνοδεύουν την διπλωματική μελέτη.



**Εικόνα 3.** Ανάπτυξη των φυτών καρδάμου 28 ημέρες μετά την φύτευσή τους σε υπόστρωμα περλίτη αναμεμιγμένο με ερυθρά ιλύ σε αναλογίες 5 gr ερυθράς ιλύος με 2 gr περλίτη και 11 gr ερυθράς ιλύος με 2 gr περλίτη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΒΙΟΔΟΚΙΜΗ ΦΥΤΩΝ ΛΕΜΝΑΣ ΣΕ ΕΡΥΘΡΑ ΙΛΥ

### 6.1. Σκοπός

Σκοπός του πειράματος ήταν να μελετηθεί η τοξικότητα της ερυθράς ιλύος στο υδροχαρές φυτό Λέμνα (*Spirodella polyrhiza*).

### 6.2. Υλικά και Μέθοδοι

Η διατήρηση της υδατοκαλλιέργειας των φυτών Λέμνας στο εργαστήριο Ολοκληρωμένης Αντιμετώπισης και Φυτορρυθμιστικών ουσιών του τμήματος Ζιζανιολογίας του Μπενακείου Φυτοπαθολογικού Ιδρύματος γίνεται ως εξής. Για την εγκατάσταση μιας υδατοκαλλιέργειας της Λέμνας απαιτείται ένας κλιματιζόμενος χώρος με σταθερή θερμοκρασία όλο το χρόνο μεταξύ 20° και 30° C, που να φωτίζεται με λυχνίες φθορισμού «Lumilux» της Osram (58W) τύπου «Daylight - Coolwhite», για 16 περίπου ώρες την ημέρα. Οι λυχνίες φθορισμού θα πρέπει να απέχουν 70 cm από την υδατοκαλλιέργεια της Λέμνας, έτσι ώστε να μην ξηραθούν τα φυτάρια από την ακτινοβολία των λυχνιών. Η υδατοκαλλιέργεια της Λέμνας διατηρείται σε πλαστικές λεκάνες βάθους 5 cm. Οι πλαστικές λεκάνες πρέπει να βρίσκονται σε πάγκο έκτασης 1,5 m x 1 m (1,5 m<sup>2</sup>) ο οποίος θα πρέπει να φωτίζεται από 8 λυχνίες φθορισμού τύπου «Daylight» που να έχουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά, μήκους 1,5 m η κάθε μία (Πασπάτης, προσωπική επικοινωνία).

Το θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιείται είναι το τροποποιημένο διάλυμα Hoagland (αραιωμένο 1:5, δηλαδή 1 μέρος Hoagland και 4 μέρη νερό). Η αλλαγή του θρεπτικού διαλύματος γίνεται δύο φορές την εβδομάδα και σε κάθε αλλαγή τα φυτάρια ξεπλένονται μέσα σε κόσκινο με νερό βρύσης (όχι πολύ χαμηλής θερμοκρασίας) για την απομάκρυνση φυκών που αναπτύσσονται πάνω τους. Απαιτείται επίσης και καλός καθαρισμός των λεκανών (όχι με σαπούνι ή απορρυπαντικό). Όταν οι συνθήκες θερμοκρασίας και φωτισμού είναι ιδανικές, η υδατοκαλλιέργεια διπλασιάζει το μέγεθος της σε αριθμό φυταρίων και νωπού βάρους κάθε εβδομάδα. Για αυτό θα πρέπει σε κάθε αλλαγή θρεπτικού διαλύματος να αραιώνεται η

καλλιέργεια δι' αφαιρέσεως φυταρίων με ένα κουτάλι. Ακόμη θα πρέπει η επιφάνεια του θρεπτικού διαλύματος μέσα στις λεκάνες να είναι ομοιόμορφα καλυμμένη από το υδροχαρές φυτό. Η εμφάνιση πολλών φυκών ή ο σχηματισμός αναπαραγωγικών οργάνων που μοιάζουν σαν σπόροι και παρατηρούνται στον πυθμένα της λεκάνης είναι ένδειξη ότι η καλλιέργεια υποφέρει από ανεπαρκή φωτισμό, ακατάλληλη θερμοκρασία ή διακυμάνσεις θερμοκρασίας.

Για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος Hoagland παρασκευάζονται τα παρακάτω συμπυκνωμένα διαλύματα θρεπτικών στοιχείων. Τα διαλύματα αυτά διατηρούνται σε χωριστά μπουκάλια (ο οργανικός σίδηρος σε μπουκάλι σκούρου χρώματος) για πολύ καιρό:

- A. 1 M  $\text{KHPO}_4$
- B. 1 M  $\text{KNO}_3$
- Γ. 1 M  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
- Δ. 1 M  $\text{MgSO}_4$
- E. 0,1 M οργανικός σίδηρος
- Z. διάλυμα ιχνοστοιχείων

Διάλυμα 1 M παρασκευάζεται με τη διάλυση σε 1 λίτρο νερό ποσότητας της ουσίας σε γραμμάρια ίσης με το μοριακό βάρος. Το μοριακό βάρος ποικίλει ανάλογα με το βαθμό ενυδατώσεως (μόρια  $\text{H}_2\text{O}$  / μόριο ουσίας) και γράφεται στην ετικέτα συσκευασίας. Το διάλυμα ιχνοστοιχείων πρέπει να περιέχει ανά λίτρο τις εξής χημικές ουσίες:

|   |         |
|---|---------|
| $\text{H}_3\text{BO}_3$ .....                           | 2,86 gr |
| $\text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .....         | 1,81 gr |
| $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .....         | 0,22 gr |
| $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .....         | 0,08 gr |
| $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ..... | 0,02 gr |

Στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκε ερυθρά ιλύς από το εργοστάσιο «Αλουμίνιον της Ελλάδος» η οποία είχε pH αρχικά περίπου 11,5 αλλά τελικά μειώθηκε στο 7,7 με διαδοχικές εκπλύσεις απεσταγμένου νερού.

Επίσης η ερυθρά ιλύς που χρησιμοποιήθηκε, τοποθετήθηκε σε φούρνο για δύο ημέρες στους 100° C, σύμφωνα με την Επιτροπή Τυποποιημένων Μεθόδων (1997) με σκοπό να εξατμιστεί η υγρασία της ερυθράς ιλύος.

Για την ανίχνευση τοξικότητας της ερυθράς ιλύος στη Λέμνα χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές ποσότητες ερυθράς ιλύος σε κάθε επέμβαση. Οι ποσότητες ξηράς ερυθράς ιλύος που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 50 gr στο 1 l νερό, 25 gr, 12,5 gr, 6,25 gr, 3,12 gr, 1,6 gr, 0,8 gr και 0,4 gr. Επίσης υπήρξαν και δύο επεμβάσεις μόνο με νερό (μάρτυρας). Κάθε επέμβαση είχε δύο επαναλήψεις. Έτσι είχαμε συνολικά 10 επεμβάσεις με δύο επαναλήψεις η κάθε μία. Καλά ανακατεμένη ποσότητα ερυθράς ιλύος τοποθετήθηκε σε πλαστικό κυπελλάκι μίας χρήσεως, όπου προστέθηκαν 0,3 gr Λέμνας. Η τοποθέτηση της Λέμνας στο πλαστικό κυπελλάκι έγινε με τη βοήθεια σπάτουλας. Η Λέμνα είχε προηγουμένως τοποθετηθεί σε διηθητικό χαρτί και ζυγιστεί σε ζυγό ακριβείας. Στη συνέχεια τα κυπελλάκια με τη Λέμνα τοποθετήθηκαν σε κλιματιζόμενο χώρο με σταθερή θερμοκρασία 21° και 22° C και φωτοπερίοδο 16 ωρών. Τα φυτά της Λέμνας επώαστηκαν για επτά ημέρες και στη συνέχεια εξάχθηκαν από τα κυπελλάκια με τη βοήθεια σπάτουλας για να ζυγιστούν σε ζυγό ακριβείας. Κατά τη διάρκεια της επώασής τους, προστέθηκε σε κάθε ένα κυπελλάκι 25 ml θρεπτικού διαλύματος Hoagland. Αμέσως μόλις εξάχθηκαν τα φυτά, τοποθετήθηκαν σε διηθητικό χαρτί, για να απορροφηθεί το πλεονάζον νερό και μετρήθηκε το νωπό τους βάρος σε ζυγό ακριβείας.

### **6.3. Αποτελέσματα**

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων (Πίνακας 16) δείχνουν ότι η ερυθρά ιλύς σε αυξημένες ποσότητες επέδρασε αρνητικά στην ανάπτυξη των φυτών Λέμνας και προκάλεσε υψηλά ποσοστά ανάσχεσης της βλάστησης τους. Η ανάσχεση της βλάστησης των φυτών Λέμνας γίνεται συγκρίνοντας το κάθε δείγμα με τον μάρτυρα.

Το ποσοστό ανάσχεσης δίνεται από τον τύπο:

$$\alpha = ((M-\Delta) \times 100) / M$$

όπου M το βάρος του μέσου όρου του μάρτυρα σε γραμμάρια και Δ το βάρος του μέσου όρου του δείγματος σε γραμμάρια.

Πιο συγκεκριμένα η ποσότητα των 50 gr/l ερυθράς ιλύος προκάλεσε ανάσχεση της βλάστησης ίση με 32,26%, ενώ η ποσότητα των 25 gr/l προκάλεσε ανάσχεση ίση με 25,81% (Εικ. 4).

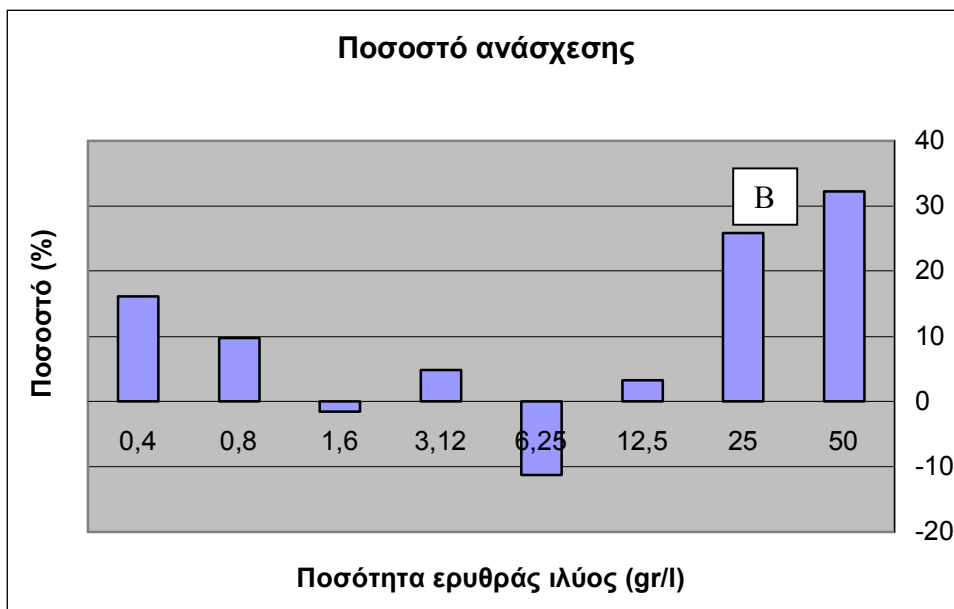
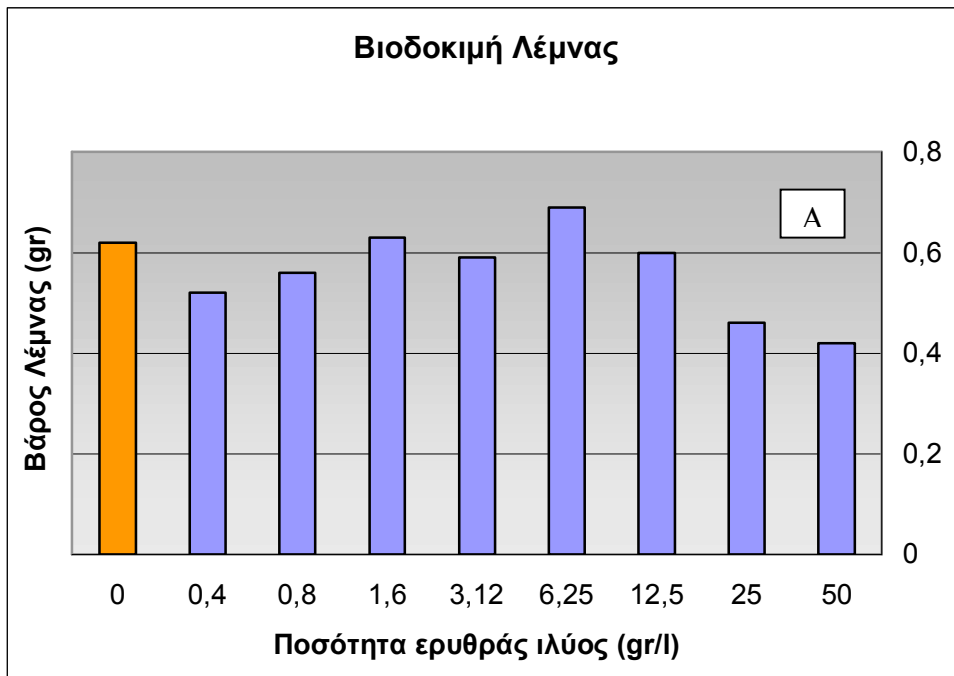
**Πίνακας 16.** Βάρος φυτών Λέμνας

| Ποσότητα ερυθράς<br>ιλύος (gr/l) | Δείγμα (gr) |      | Μέσος Όρος (gr) |
|----------------------------------|-------------|------|-----------------|
|                                  | I           | II   |                 |
| 50                               | 0,40        | 0,43 | 0,42            |
| 25                               | 0,43        | 0,48 | 0,46            |
| 12,5                             | 0,59        | 0,61 | 0,60            |
| 6,25                             | 0,67        | 0,70 | 0,69            |
| 3,12                             | 0,56        | 0,61 | 0,59            |
| 1,6                              | 0,64        | 0,61 | 0,63            |
| 0,8                              | 0,54        | 0,57 | 0,56            |
| 0,4                              | 0,48        | 0,55 | 0,52            |
| Μάρτυρας-1                       | 0,56        | 0,60 | 0,62            |
| Μάρτυρας-2                       | 0,68        | 0,63 |                 |

Οι ποσότητες της ερυθράς ιλύος που κυμαίνονταν από 12,5 gr/l έως 0,8 gr/l δεν προκάλεσαν σημαντικά ποσοστά ανάσχεσης της ανάπτυξης των φυτών. Οι ποσότητες της ερυθράς ιλύος των 12,5 gr/l, 3,12 gr/l και 0,8 gr/l προκάλεσαν 3,23%, 4,84% και 9,68% ανάσχεση της ανάπτυξης των φυτών αντίστοιχα. Σε δύο περιπτώσεις με ποσότητα ερυθράς ιλύος 6,25 gr/l και 1,6 gr/l τα φυτά Λέμνας αναπτύχθηκαν καλύτερα από τον μάρτυρα (Εικ. 4), δηλαδή είχαμε καλύτερη ανάπτυξη των φυτών από τον μάρτυρα κατά 11,29% και 1,61% αντίστοιχα. Τέλος, η ποσότητα των 0,4 gr/l της ερυθράς ιλύος έδειξε σημαντική ανάσχεση της ανάπτυξης των φυτών Λέμνας (16,13%) σε σχέση με τις ποσότητες της ερυθράς ιλύος που κυμαίνονταν από 12,5 gr/l έως 0,8 gr/l (Εικ. 4). Τα αποτελέσματα του πειράματος δείχνουν ότι εξαιρώντας τις ποσότητες των 0,4 gr/l και 0,8 gr/l της ερυθράς ιλύος, η τελευταία δρα περισσότερο ανασχετικά στην ανάπτυξη των φυτών της Λέμνας με την αύξηση της ποσότητάς της, δηλαδή μεγάλες ποσότητες ερυθράς ιλύος έχουν τοξική επίδραση στα φυτά και εμποδίζουν την ανάπτυξή τους. Στις μικρότερες αναλογίες ερυθράς ιλύος



(0,4 gr/l και 0,8 gr/l) εμφανίζεται ανάσχεση της ανάπτυξης των φυτών της Λέμνας που είναι μεγαλύτερη από τις αναλογίες των 1,6 gr/l, 3,12 gr/l, 6,25 gr/l και 12,5 gr/l κάτι το οποίο σημαίνει ότι ενδέχεται σε μικρές αναλογίες κάποιο συστατικό της ερυθράς ιλύος να δρα ανασταλτικά στην ανάπτυξη των φυτών.



**Εικόνα 4.** Μετρούμενο βάρος των μέσων όρων των δύο επαναλήψεων φυτών Λέμνας σε γραμμάρια, σε 8 διαφορετικές αναλογίες ερυθράς ιλύος (gr/l) (A). Ποσοστά ανάσχεσης της ανάπτυξης των φυτών Λέμνας σε 8 διαφορετικές αναλογίες ερυθράς ιλύος (gr/l) (B).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΒΙΟΔΟΚΙΜΗ ΣΙΤΑΡΙΟΥ ΣΕ ΕΡΥΘΡΑ ΙΛΥ.

### 7.1. Σκοπός

Σκοπός του πειράματος ήταν να μελετηθεί ο βαθμός ευπάθειας εμπορικής ποικιλίας σιταριού σε διάφορα υποστρώματα αναμεμιγμένα με ερυθρά ιλύ σε διάφορες αναλογίες.

### 7.2. Υλικά και Μέθοδοι

Φυτά σιταριού (*Triticum aestivum*) ποικιλίας Rusticano αναπτύχθηκαν για 40 ημέρες σε σχετικά ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (μη κλιματιζόμενο θερμοκήπιο). Οι σπόροι των φυτών σιταριού φυτεύτηκαν σε πλαστικές γλάστρες (12 cm x 13 cm, ύψος x διάμετρος) και χρησιμοποιήθηκαν τα εξής εδαφικά υποστρώματα:

Φυτόχωμα (Potting soil, Cronos 70 l). Η σύνθεση του φυτοχώματος ήταν:

Άζωτο (N):.....50-300 mg/l  
Φώσφορος (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>):.....80-300 mg/l  
Κάλιο (K<sub>2</sub>O):.....80-300 mg/l  
Αλατότητα .....<1,75 g/l  
pH = 5-6,5

Κίτρινη τύρφη (Hochmoor torf 300 l, Novobalt). Η σύνθεση της τύρφης ήταν:

Οργανική ουσία.....35%  
Ολικό άζωτο.....0,4%  
pH = 3,5-4

Περλίτης (Isocon)

Το πείραμα αποτελούταν από τρεις επεμβάσεις ανάλογα με το υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε. Στην πρώτη επέμβαση εδαφικό υπόστρωμα φυτοχώματος αναμίχθηκε με ερυθρά ιλύ σε διαφορετικές αναλογίες. Η πρώτη αναλογία ερυθράς ιλύος με το φυτόχωμα ήταν 100 gr ερυθράς ιλύος σε 1 λίτρο φυτοχώματος. Η δεύτερη αναλογία ήταν 500 gr ερυθράς ιλύος σε 1 λίτρο φυτοχώματος και τέλος 1000 gr ερυθράς ιλύος σε 1 λίτρο φυτοχώματος. Η συγκεκριμένη επέμβαση περιελάμβανε 4 υποεπεμβάσεις μαζί με τον μάρτυρα (σκέτο φυτόχωμα), η κάθε μία από τις οποίες αποτελούνταν από 4 επαναλήψεις. Επομένως χρησιμοποιήθηκαν 16 γλάστρες με υπόστρωμα το φυτόχωμα. Στην δεύτερη και στην τρίτη επέμβαση του πειράματος χρησιμοποιήθηκε υπόστρωμα τύρφης και περλίτη αντίστοιχα, σε αναλογίες όμοιες με την πρώτη επέμβαση, δηλαδή 100, 500 και 1000 gr ερυθράς ιλύος σε 1 λίτρο υποστρώματος. Επίσης χρησιμοποιήθηκε και σκέτο υπόστρωμα τύρφης και περλίτη σαν μάρτυρας. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 48 πλαστικές γλάστρες, όπου αναπτύχθηκαν τα φυτά σιταριού. Η ερυθρά ιλύς που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα προέρχονταν από το εργοστάσιο «Αλουμίνιον της Ελλάδος» με pH περίπου στο 11 και υγρασία 26,3%. Η ερυθρά ιλύς αναμίχθηκε με τα διάφορα εδαφικά υποστρώματα αφού πρώτα πέρασε από κόσκινο των 0,5 cm.

Μετά το πέρας των 40 ημερών τα φυτά σιταριού κόπηκαν από τη επιφάνεια του υποστρώματος, μετρήθηκε το ύψος τους και το νωπό τους βάρος σε ζυγό ακριβείας. Επίσης μετρήθηκε το pH των τριών υποστρωμάτων σε κάθε αναλογία με την ερυθρά ιλύ καθώς επίσης και των μαρτύρων σε αιώρημα εδάφους:νερού 1:1 (Marshall, 1964). Η μέτρηση έγινε με pH-μετρο τύπου ηλεκτροδίων της εταιρείας WTW pH 320. Οι επεμβάσεις και οι μετρήσεις του πειράματος έγιναν στο εργαστήριο Ολοκληρωμένης Αντιμετώπισης και Φυτορρυθμιστικών ουσιών του τμήματος Ζιζανιολογίας του Μπενακείου Φυτοπαθολογικού Ινστιτούτου.

### **7.3. Αποτελέσματα**

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του ύψους των φυτών σιταριού φαίνονται στον Πίνακα 17. Σε κάθε επέμβαση έχει υπολογιστεί ο μέσος όρος του ύψους των φυτών που αναπτύχθηκαν σε κάθε γλάστρα.

**Πίνακας 17.** Ύψος φυτών σιταριού (cm)

|                 |                  | I    | II   | III  | IV   | M.O. |
|-----------------|------------------|------|------|------|------|------|
| <b>ΦΥΤΟΧΩΜΑ</b> |                  |      |      |      |      |      |
| Μάρτυρας        |                  | 34,8 | 34,6 | 34,3 | 32,1 | 33,9 |
| 100 gr EI/I     | 19,9% EI (κβ/κβ) | 35,7 | 36,9 | 34,1 | 34,3 | 35,2 |
| 500 gr EI/I     | 67,8% EI (κβ/κβ) | 34,0 | 28,1 | 31,4 | 33,6 | 31,8 |
| 1000 gr EI/I    | 89,2% EI (κβ/κβ) | 28,2 | 29,3 | 17,5 | 29,1 | 26,0 |
| <b>ΤΥΡΦΗ</b>    |                  |      |      |      |      |      |
| Μάρτυρας        |                  | 10,0 | 9,1  | 9,9  | 4,1  | 8,3  |
| 100 gr EI/I     | 44,8% EI (κβ/κβ) | 21,9 | 25,8 | 28,5 | 26,5 | 25,7 |
| 500 gr EI/I     | 86,8% EI (κβ/κβ) | 26,4 | 29,0 | 24,1 | 24,8 | 26,1 |
| 1000 gr EI/I    | 96,6% EI (κβ/κβ) | 21,6 | 21,8 | 21,5 | 23,5 | 22,1 |
| <b>ΠΕΡΛΙΤΗΣ</b> |                  |      |      |      |      |      |
| Μάρτυρας        |                  | 23,9 | 20,8 | 24,3 | 16,7 | 21,4 |
| 100 gr EI/I     | 56,8% EI (κβ/κβ) | 13,9 | 14,6 | 16,9 | 16,8 | 15,5 |
| 500 gr EI/I     | 90,9% EI (κβ/κβ) | 15,9 | 13,9 | 16,7 | 16,0 | 15,6 |
| 1000 gr EI/I    | 97,9% EI (κβ/κβ) | 12,6 | 13,9 | 11,5 | 10,4 | 12,1 |

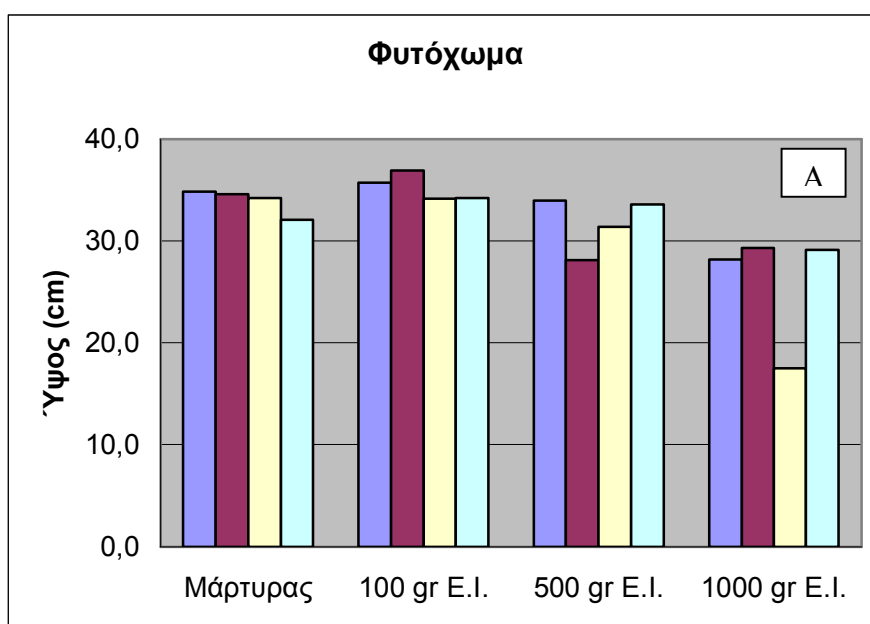
Τα αποτελέσματα του πειράματος αναλύθηκαν με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος για ηλεκτρονικούς υπολογιστές SPSS εφαρμόζοντας ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA) και διαχωρισμό των μέσων με τη δοκιμή κατά Duncan. Η επεξεργασία των στοιχείων και τα αποτελέσματα βρίσκονται στο Παράρτημα της διπλωματικής εργασίας.

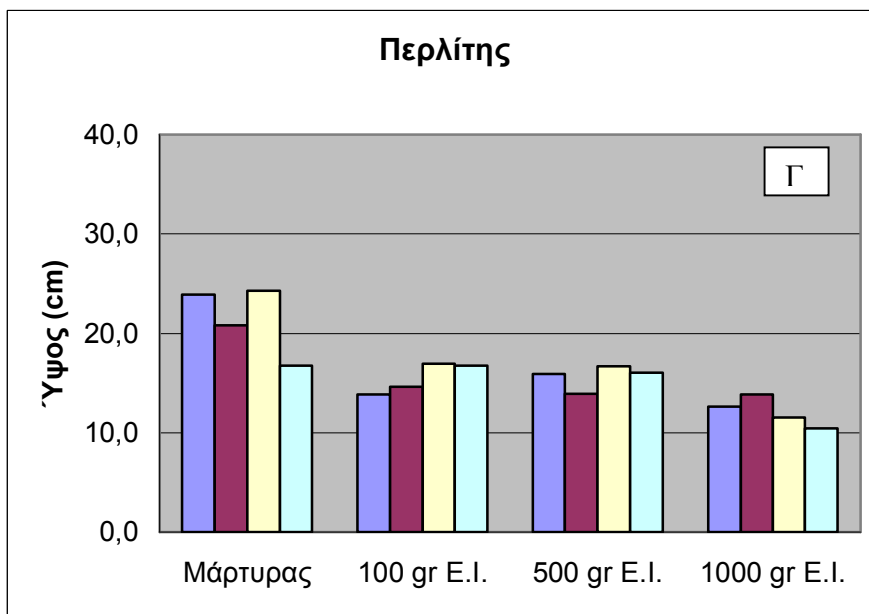
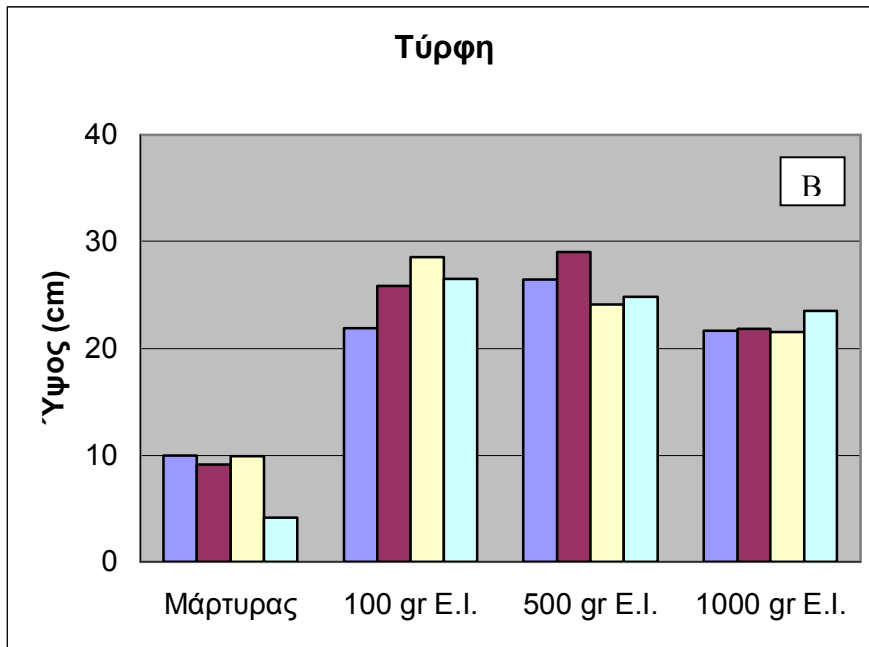
Κατά την ανάμιξη της ερυθράς ιλύος με το φυτόχωμα φαίνεται ότι η τέταρτη επέμβαση (1000 gr EI/I) είναι στατιστικώς σημαντική από τις άλλες τρεις επεμβάσεις (100 gr EI/I, 500 gr EI/I και μάρτυρα) με δείκτη σφάλματος  $\alpha = 0,05$ . Επίσης κατά την ανάμιξη 100 gr ερυθράς ιλύος με φυτόχωμα είχαμε τα υψηλότερα φυτά (35,2 cm), ενώ κατά την ανάμιξη 1000 gr ερυθράς ιλύος είχαμε τα χαμηλότερα φυτά (26 cm), κάτι το οποίο σημαίνει ότι η ερυθρά ιλύς προκάλεσε την ανάσχεση της ανάπτυξης των φυτών σε αυτήν την αναλογία (Εικ. 5, 8).

Κατά την ανάμιξη της ερυθράς ιλύος με την τύρφη, η επέμβαση με τον μάρτυρα διέφερε στατιστικά ( $\alpha = 0,05$ ) από τις υπόλοιπες τρεις επεμβάσεις, η επέμβαση των

1000 gr ερυθράς ιλύος επίσης διέφερε στατιστικά από τις υπόλοιπες τρεις επεμβάσεις, ενώ οι επεμβάσεις των 100 και 500 gr ερυθράς ιλύος δεν διέφεραν στατιστικά μεταξύ τους. Επιπλέον το υπόστρωμα με σκέτη τύρφη προκάλεσε την μεγαλύτερη ανάσχεση της ανάπτυξης των φυτών (8,3 cm), ενώ η επέμβαση των 500 gr ερυθράς ιλύος έδωσε τα υψηλότερα φυτά (26,1 cm) (Εικ. 5, 8).

Τέλος, κατά την ανάμιξη της ερυθράς ιλύος με τον περλίτη η επέμβαση των 1000 gr ερυθράς ιλύος διέφερε στατιστικά ( $\alpha = 0,05$ ) από τις υπόλοιπες τρεις επεμβάσεις, οι επεμβάσεις των 100 και 500 gr ερυθράς ιλύος δεν διέφεραν στατιστικά μεταξύ τους, ενώ η επέμβαση του μάρτυρα διέφερε στατιστικά από τις υπόλοιπες τρεις επεμβάσεις. Η αναλογία των 1000 gr ερυθράς ιλύος έδωσε τα χαμηλότερα φυτά (12,1 cm), κάτι το οποίο σημαίνει ότι η ερυθρά ιλύς προκάλεσε την ανάσχεση της ανάπτυξης των φυτών, ενώ η επέμβαση με τον μάρτυρα έδωσε τα υψηλότερα φυτά (21,4 cm) (Εικ. 5, 8).





**Εικόνα 5.** Μετρούμενο ύψος των μέσων όρων των τεσσάρων επαναλήψεων φυτών σιταριού σε εκατοστά, σε υπόστρωμα φυτοχώματος (Α), τύρφης (Β) και περλίτη (Γ).

Εκτός από το ύψος των φυτών σιταριού, μετρήθηκε και το νωπό βάρος των φυτών σε ζυγό ακριβείας. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στον Πίνακα 18.

**Πίνακας 18.** Νωπό βάρος σιταριού (gr / φυτό)

|                 |                  | I    | II   | III  | IV   | M.O. |
|-----------------|------------------|------|------|------|------|------|
| <b>ΦΥΤΟΧΩΜΑ</b> |                  |      |      |      |      |      |
| Μάρτυρας        |                  | 1,11 | 1,12 | 1,06 | 0,93 | 1,05 |
| 100 gr EI/l     | 19,9% EI (κβ/κβ) | 1,16 | 1,31 | 1,11 | 1,19 | 1,19 |
| 500 gr EI/l     | 67,8% EI (κβ/κβ) | 1,07 | 0,88 | 0,93 | 1,08 | 0,99 |
| 1000 gr EI/l    | 89,2% EI (κβ/κβ) | 0,71 | 0,66 | 0,23 | 0,73 | 0,58 |
| <b>ΤΥΡΦΗ</b>    |                  |      |      |      |      |      |
| Μάρτυρας        |                  | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,02 | 0,07 |
| 100 gr EI/l     | 44,8% EI (κβ/κβ) | 0,25 | 0,32 | 0,55 | 0,36 | 0,37 |
| 500 gr EI/l     | 86,8% EI (κβ/κβ) | 0,42 | 0,48 | 0,41 | 0,33 | 0,41 |
| 1000 gr EI/l    | 96,6% EI (κβ/κβ) | 0,31 | 0,32 | 0,31 | 0,35 | 0,32 |
| <b>ΠΕΡΛΙΤΗΣ</b> |                  |      |      |      |      |      |
| Μάρτυρας        |                  | 0,34 | 0,31 | 0,37 | 0,18 | 0,30 |
| 100 gr EI/l     | 56,8% EI (κβ/κβ) | 0,14 | 0,18 | 0,21 | 0,21 | 0,18 |
| 500 gr EI/l     | 90,9% EI (κβ/κβ) | 0,20 | 0,15 | 0,23 | 0,18 | 0,19 |
| 1000 gr EI/l    | 97,9% EI (κβ/κβ) | 0,15 | 0,16 | 0,10 | 0,09 | 0,13 |

Κατά την ανάμιξη της ερυθράς ιλύος με το φυτόχωμα η επέμβαση της ερυθράς ιλύος των 1000 gr ήταν στατιστικά σημαντική ( $\alpha = 0,05$ ) από τις άλλες τρεις επεμβάσεις (100 gr EI/l, 500 gr EI/l και μάρτυρα). Η καλύτερη ανάπτυξη των φυτών ήταν κατά την ανάμιξη 100 gr ερυθράς ιλύος με το φυτόχωμα, με μέσο βάρος φυτών 1,19 gr, ενώ η χειρότερη κατά την ανάμιξη 1000 gr ερυθράς ιλύος με το φυτόχωμα, με μέσο βάρος φυτών 0,58 gr (Εικ. 6, 8).

Κατά την ανάμιξη της ερυθράς ιλύος με την τύρφη, η επέμβαση με τον μάρτυρα διέφερε στατιστικά ( $\alpha = 0,05$ ) από τις υπόλοιπες τρεις επεμβάσεις (100 gr EI/l, 500 gr EI/l και 1000 gr EI/l). Η καλύτερη ανάπτυξη των φυτών παρουσιάστηκε στην αναλογία των 500 gr ερυθράς ιλύος με μέσο βάρος φυτών 0,41 gr, ενώ η χειρότερη



παρουσιάστηκε κατά την επέμβαση με τον μάρτυρα με μέσο βάρος φυτών 0,07 gr (Εικ. 6, 8).

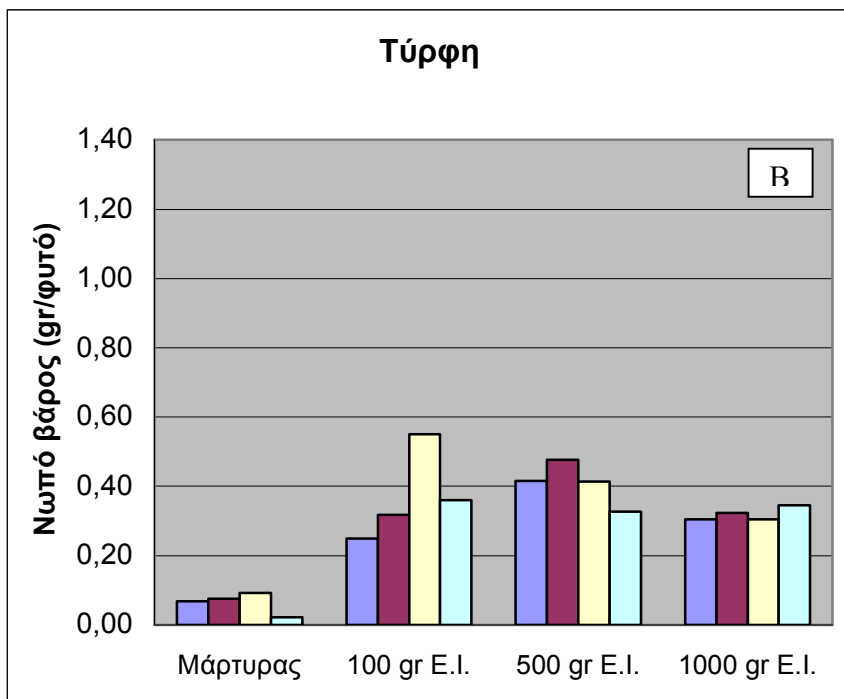
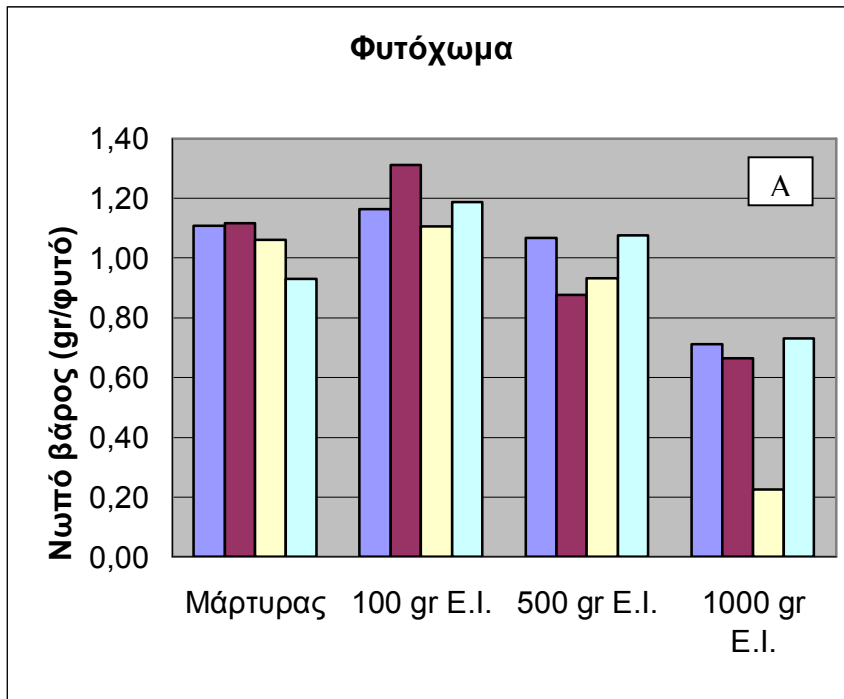
Τέλος, κατά την ανάμιξη της ερυθράς ιλύος με τον περλίτη πάλι η επέμβαση με τον μάρτυρα διέφερε στατιστικά ( $\alpha = 0,05$ ) από τις υπόλοιπες τρεις επεμβάσεις (100 gr EI/l, 500 gr EI/l και 1000 gr EI/l). Η επέμβαση με τον μάρτυρα ήταν αυτή που έδωσε το μεγαλύτερο μέσο βάρος φυτών (0,30 gr), ενώ η επέμβαση των 1000 gr ερυθράς ιλύος έδωσε το μικρότερο μέσο βάρος φυτών (0,13 gr) (Εικ. 6, 8).

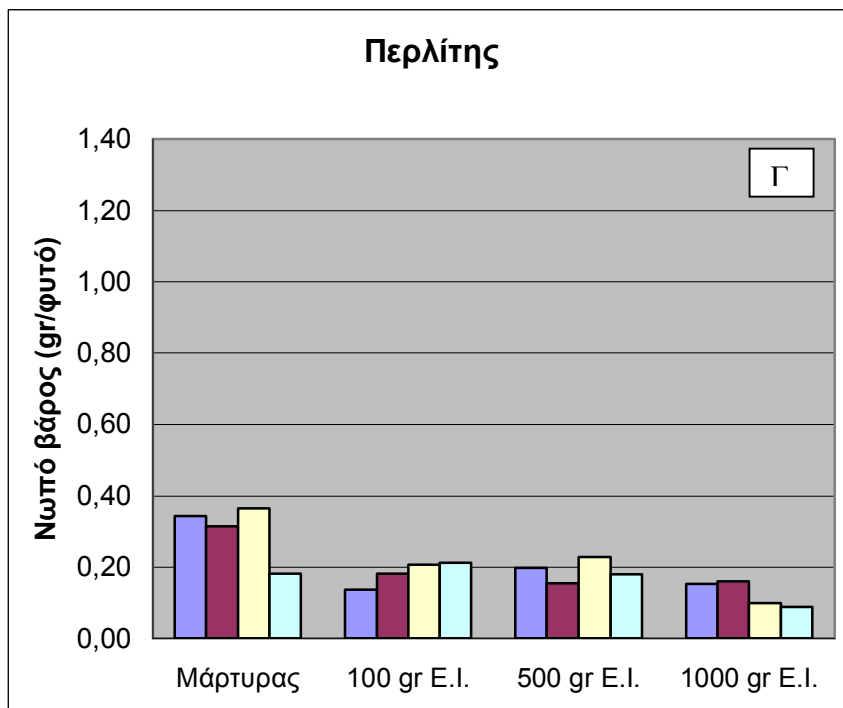
Φαίνεται από τις μετρήσεις του ύψους και του βάρους των φυτών, ότι η ερυθρά ιλύς στην αναλογία των 1000 gr/l υποστρώματος επιδρά αρνητικά στην ανάπτυξη των φυτών σε σχέση με τις άλλες δύο αναλογίες (100 και 500 gr/l).

Ακόμη φαίνεται ότι ανεξάρτητα από το αν μετράται το ύψος ή το βάρος των φυτών το αποτέλεσμα είναι το ίδιο. Αυτό σημαίνει ότι με υπόστρωμα το φυτόχωμα, η μεγαλύτερη ανάσχεση της ανάπτυξης των φυτών σε ύψος και σε βάρος παρουσιάστηκε στα 1000 gr/l ερυθράς ιλύος στο υπόστρωμα και η επόμενη στα 500 gr/l. Στην αναλογία των 100 gr/l ερυθράς ιλύος υπήρξε η καλύτερη ανάπτυξη των φυτών και μετά με σκέτο τον μάρτυρα.

Στο υπόστρωμα τύρφης πάλι ανεξαρτήτως μέτρησης (ύψος ή βάρος) το αποτέλεσμα ήταν το ίδιο. Η καλύτερη ανάπτυξη των φυτών ήταν στην αναλογία των 500 gr/l ερυθράς ιλύος, μετά στα 100 gr/l και μετά στα 1000 gr/l. Η χειρότερη ανάπτυξη των φυτών ήταν με σκέτο τον μάρτυρα.

Τέλος και στο υπόστρωμα περλίτη τα αποτελέσματα ήταν τα ίδια ανεξάρτητα εάν μετρήθηκε το ύψος ή το βάρος των φυτών. Καλύτερη ανάπτυξη των φυτών υπήρξε με σκέτο τον μάρτυρα και μετά με σημαντική διαφορά ήταν η αναλογία των 500 gr/l των 100 gr/l και 1000 gr/l ερυθράς ιλύος.





**Εικόνα 6.** Μετρούμενο νωπό βάρος των μέσων όρων των τεσσάρων επαναλήψεων φυτών σιταριού σε γραμμάρια, σε υπόστρωμα φυτοχώματος (Α), τύρφης (Β) και περλίτη (Γ).

Επιπλέον της μέτρησης του ύψους και του βάρους των φυτών σιταριού μετρήθηκε και το pH των τριών υποστρωμάτων (φυτόχωμα, τύρφη, περλίτης) κατά την ανάμιξή τους με τις τέσσερις αναλογίες της ερυθράς ιλύς (0 gr EI/l, 100 gr EI/l, 500 gr EI/l και 1000 gr EI/l). Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 19.

**Πίνακας 19.** Μετρούμενο pH στα υποστρώματα φυτοχώματος, τύρφης και περλίτη.

| Επέμβαση        |                  | pH   |
|-----------------|------------------|------|
| <b>ΦΥΤΟΧΩΜΑ</b> |                  |      |
| Μάρτυρας        |                  | 4,81 |
| 100 gr EI/l     | 19,9% EI (κβ/κβ) | 6,54 |
| 500 gr EI/l     | 67,8% EI (κβ/κβ) | 7,25 |
| 1000 gr EI/l    | 89,2% EI (κβ/κβ) | 7,51 |
| <b>ΤΥΡΦΗ</b>    |                  |      |
| Μάρτυρας        |                  | 4    |
| 100 gr EI/l     | 44,8% EI (κβ/κβ) | 5,91 |
| 500 gr EI/l     | 86,8% EI (κβ/κβ) | 7,75 |
| 1000 gr EI/l    | 96,6% EI (κβ/κβ) | 8,08 |
| <b>ΠΕΡΛΙΤΗΣ</b> |                  |      |
| Μάρτυρας        |                  | 6,75 |
| 100 gr EI/l     | 56,8% EI (κβ/κβ) | 7,23 |
| 500 gr EI/l     | 90,9% EI (κβ/κβ) | 8,53 |
| 1000 gr EI/l    | 97,9% EI (κβ/κβ) | 8,33 |

Το φυτόχωμα είχε αρχικά pH 4,81. Κατά την ανάμιξη 100, 500 και 1000 gr ερυθράς ιλύος το pH του φυτοχώματος έφτασε το 6,54, 7,25 και 7,51 αντίστοιχα. Δηλαδή καθώς αυξανόταν η ποσότητα της ερυθράς ιλύος, αυξανόταν το pH του υποστρώματος με το φυτόχωμα. Επίσης παρόμοια αποτελέσματα παίρνουμε και με υπόστρωμα την τύρφη. Ο μάρτυρας είχε pH 4 και κατά την ανάμιξη 100, 500 και 1000 gr ερυθράς ιλύος το pH της τύρφης έφτασε το 5,91, 7,75 και 8,08 αντίστοιχα. Στο υπόστρωμα περλίτη είχαμε αύξηση του pH κατά την αύξηση της ποσότητας ερυθράς ιλύς, όμως στην αναλογία των 1000 gr ερυθράς ιλύος στο ένα λίτρο υποστρώματος είχαμε ελαφρύ μείωση του pH. Ο περλίτης είχε pH 6,75 ενώ κατά την

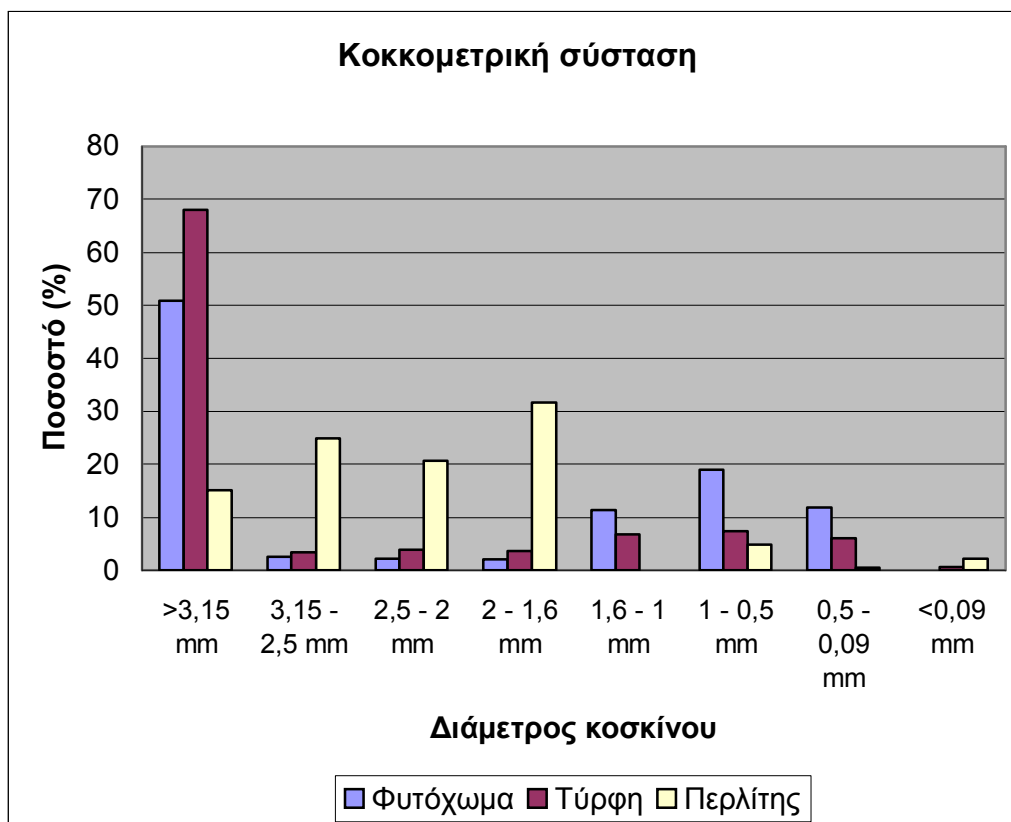
ανάμιξη 100 και 500 gr ερυθράς ιλύος το pH του περλίτη έφτασε το 7,23 και 8,53 αντίστοιχα. Η αύξηση του pH και στα τρία υποστρώματα οφείλεται στο υψηλό pH της ερυθράς ιλύος (11). Στο φυτόχωμα το χαμηλό pH δεν φαίνεται να επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών, γιατί μεγάλη ανάσχεση των φυτών παρατηρείται στην αναλογία των 1000 gr/l ερυθράς ιλύος, με pH γύρω στο 7,5, δηλαδή με ουδέτερο pH. Στην τύρφη όμως το πολύ χαμηλό pH (4) του μάρτυρα φαίνεται ότι προκαλεί ανάσχεση της ανάπτυξης των φυτών σε σχέση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις της ερυθράς ιλύος, όπου το pH είναι μεγαλύτερο. Όσον αφορά τον περλίτη το pH δεν φαίνεται να επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών.

Γενικά τα φυτά σιταριού αναπτύχθηκαν πολύ καλύτερα στο υπόστρωμα του φυτοχώματος σε σύγκριση με το υπόστρωμα της τύρφης και του περλίτη, κάτι το οποίο φαίνεται στις μετρήσεις ύψους και νωπού βάρους των φυτών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το φυτόχωμα περιέχει οργανικά και ανόργανα θρεπτικά συστατικά που ευνοούν την ανάπτυξη των φυτών σε αντίθεση με την τύρφη και τον περλίτη, τα οποία περιέχουν από λίγα έως καθόλου θρεπτικά συστατικά (οργανικά και ανόργανα).

Τέλος μετρήθηκε στο Εργαστήριο Τεχνικής Χημικών Διεργασιών της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ η κοκκομετρική σύσταση των τριών υποστρωμάτων (φυτόχωμα, τύρφη, περλίτης) με τη χρήση κοσκίνων με άνοιγμα 3,15 mm, 2,5 mm, 2 mm, 1,6 mm, 1 mm, 0,5 mm και 0,09 mm (Εικ. 7). Στο υπόστρωμα του περλίτη δεν χρησιμοποιήθηκε το κόσκινο ανοίγματος 1,6 mm. Στον Πίνακα 20 φαίνονται τα αποτελέσματα της κοκκομετρίας των τριών υποστρωμάτων.

**Πίνακας 20.** Κοκομετρική σύσταση φυτοχώματος, τύρφης και περλίτη.

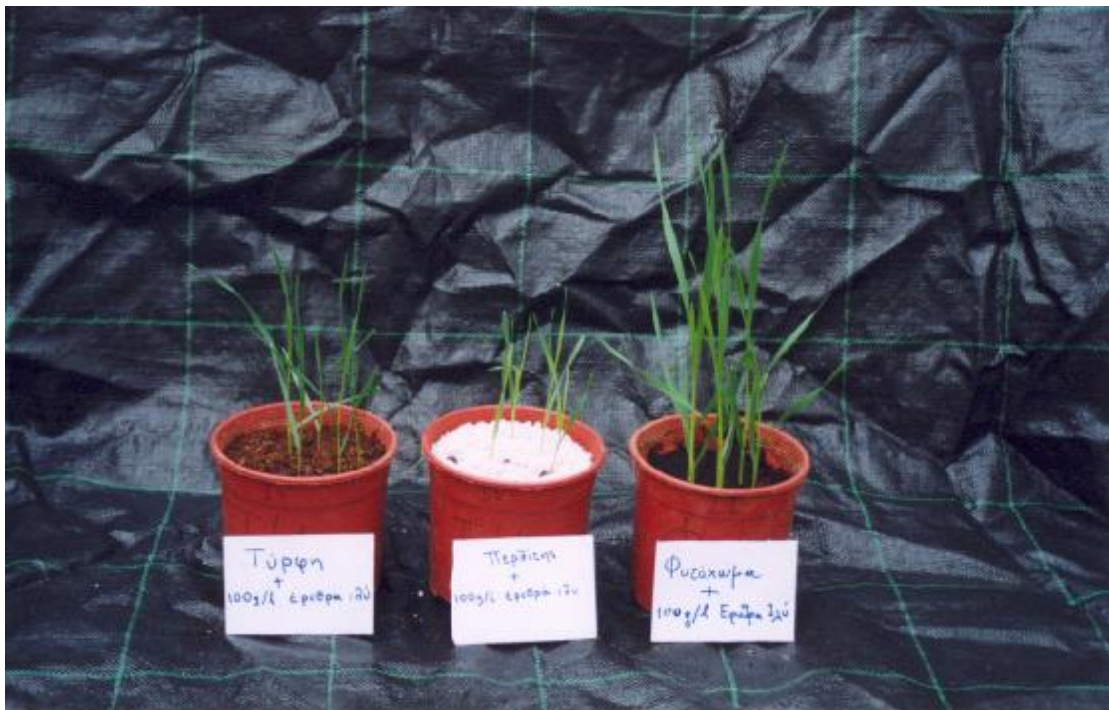
| <b>ΦΥΤΟΧΩΜΑ</b> |       |
|-----------------|-------|
| >3,15 mm        | 50,8% |
| 3,15 - 2,5 mm   | 2,6%  |
| 2,5 - 2 mm      | 2,2%  |
| 2 - 1,6 mm      | 2,1%  |
| 1,6 - 1 mm      | 11,4% |
| 1 - 0,5 mm      | 19,0% |
| 0,5 - 0,09 mm   | 11,9% |
| <0,09 mm        | 0     |
| <b>ΤΥΡΦΗ</b>    |       |
| >3,15 mm        | 68,0% |
| 3,15 - 2,5 mm   | 3,4%  |
| 2,5 - 2 mm      | 3,9%  |
| 2 - 1,6 mm      | 3,7%  |
| 1,6 - 1 mm      | 6,8%  |
| 1 - 0,5 mm      | 7,4%  |
| 0,5 - 0,09 mm   | 6,1%  |
| <0,09 mm        | 0,7%  |
| <b>ΠΕΡΛΙΤΗΣ</b> |       |
| >3,15 mm        | 15,1% |
| 3,15 - 2,5 mm   | 25,0% |
| 2,5 - 2 mm      | 20,7% |
| 2 - 1 mm        | 31,7% |
| 1 - 0,5 mm      | 4,8%  |
| 0,5 - 0,09 mm   | 0,5%  |
| <0,09 mm        | 2,2%  |



**Εικόνα 7.** Αναλογία κοκκομετρικής σύστασης του φυτοχώματος, της τύρφης και του περλίτη.

Υποσημείωση: Στην περίπτωση του περλίτη δεν υπάρχουν τα κλάσματα 2 – 1,6 και 1,6 – 1 mm αλλά ένα κλάσμα 2 – 1 mm με ποσοστό 31,7%.

Οι φωτογραφίες του συγκεκριμένου πειράματος βρίσκονται σε ηλεκτρονική μορφή (CD-ROM) που συνοδεύουν την διπλωματική μελέτη.



**Εικόνα 8.** Σύγκριση των τριών υποστρωμάτων (τύρφη, περλίτης και φυτόχωμα) σε σκέτο μάρτυρα και σε ποσότητα 100 gr ερυθράς ιλύος αναμεμιγμένη με υπόστρωμα



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην Ελλάδα ο βωξίτης αποτελεί την βασική πρώτη ύλη για την παραγωγή πρωτόχυτου αλουμινίου και υπάρχει σε μεγάλες ποσότητες στο υπέδαφος της ελληνικής επικράτειας. Κατά την επεξεργασία του βωξίτη για την παραγωγή αλουμινίου με την μέθοδο Bayer, παράγεται ερυθράς ιλύς που αποτελεί το υπόλειμμα της επεξεργασίας του βωξίτη. Σύμφωνα με πρόσφατα δεδομένα η παραγόμενη ποσότητα ερυθράς ιλύος στην Ελλάδα ανέρχεται σε περίπου 680.000 τόνους το έτος (Ποντίκη *et al.*, 2003). Η παραγόμενη ποσότητα ερυθράς ιλύος εξαρτάται από την ποιότητα της επεξεργασίας του βωξίτη και κυμαίνεται περίπου σε ένα με δύο τόνους για κάθε τόνο παραγόμενης αλουμίνιας (Vassiliou, 1990). Η ελληνική ερυθρά ιλύς είναι πλούσια σε  $Fe_2O_3$  ενώ περιέχει σημαντικά ποσοστά  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  και  $CaO$ . Σε μικρότερα ποσοστά υπάρχουν  $TiO_2$ ,  $Na_2O$ ,  $MgO$ ,  $K_2O$ ,  $V_2O_5$  (Ποντίκης *et al.*, 2003). Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας έδειξαν ότι η ελληνική ερυθρά ιλύς δεν προκαλεί πλήρη ανασχεση της βλάστησης και ανάπτυξης των φυτών, δηλαδή δεν είναι τοξική για τα φυτά.

Πιο συγκεκριμένα τα αποτελέσματα του πειράματος για την μελέτη της τοξικότητας της ερυθράς ιλύος σε φυτά καρδάμου (*Lepidium sativum*), έδειξαν ότι κατά την χρήση ερυθράς ιλύος με pH γύρω στο 7,7 και αναλογίες υποστρώματος των φυτών 5 gr ερυθράς ιλύος σε 2 gr περλίτη και 11 gr ερυθράς ιλύος σε 2 gr περλίτη, δεν υπήρξε καμία ανασχεση της ανάπτυξης των φυτών που να οφειλόταν στην ερυθρά ιλύ. Συνεπώς η τελευταία δεν είχε κάποιου είδους τοξικότητας στο κάρδαμο, αφού τα φυτά φύτρωσαν και αναπτύχθηκαν κανονικά σε συνθήκες δωματίου.

Η παρούσα μελέτη έδειξε επίσης ότι σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας ( $22\pm 2^\circ C$ ), σχετικής υγρασίας (60-70%) και φωτισμού (16 h φωτοπερίοδος) στις οποίες έγιναν τα πειράματα βιοδοκιμής των φυτών Λέμνας (*Spirodella polyrhiza*) η ερυθρά ιλύς μαζί με θρεπτικό διάλυμα Hoagland δεν προκάλεσε την πλήρη ανασχεση της ανάπτυξης του φυτού. Πιο συγκεκριμένα η ποσότητα των 50 gr/l ερυθράς ιλύος προκάλεσε ανασχεση της βλάστησης ίση με 32,26%, ενώ η ποσότητα των 25 gr/l προκάλεσε ανασχεση ίση με 25,81%. Οι ποσότητες της ερυθράς ιλύος των 12,5 gr/l, 3,12 gr/l και 0,8 gr/l προκάλεσαν 3,23%, 4,84% και 9,68% ανασχεση της ανάπτυξης

των φυτών αντίστοιχα. Σε δύο περιπτώσεις με ποσότητα ερυθράς ιλύος 6,25 gr/l και 1,6 gr/l τα φυτά Λέμνας αναπτύχθηκαν καλύτερα από τον μάρτυρα (μόνο διάλυμα Hoagland), δηλαδή είχαμε καλύτερη ανάπτυξη των φυτών από τον μάρτυρα κατά 11,29% και 1,61% αντίστοιχα. Τέλος, η ποσότητα των 0,4 gr/l της ερυθράς ιλύος έδειξε σημαντική ανάσχεση της ανάπτυξης των φυτών Λέμνας (16,13%) σε σχέση με τις ποσότητες της ερυθράς ιλύος που κυμαίνονταν από 12,5 gr/l έως 0,8 gr/l. Τα αποτελέσματα του πειράματος δείχνουν ότι καθώς αυξάνεται η ποσότητα της ερυθράς ιλύος, τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάσχεση της ανάπτυξης των φυτών της Λέμνας, εκτός των ποσοτήτων των 0,4 gr/l και 0,8 gr/l. Φαίνεται δηλαδή ότι μεγάλες ποσότητες ερυθράς ιλύος έχουν τοξική επίδραση στα φυτά και εμποδίζουν την ανάπτυξή τους. Στις μικρότερες αναλογίες ερυθράς ιλύος (0,4 gr/l και 0,8 gr/l) εμφανίζεται ανάσχεση της ανάπτυξης των φυτών της Λέμνας που είναι μεγαλύτερη από τις αναλογίες των 1,6 gr/l, 3,12 gr/l, 6,25 gr/l και 12,5 gr/l κάτι το οποίο σημαίνει ότι ενδέχεται σε μικρές αναλογίες κάποιο συστατικό της ερυθράς ιλύος να δρα ανασταλτικά στην ανάπτυξη των φυτών.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν επίσης ότι σε σχετικά ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (μη κλιματιζόμενο θερμοκήπιο) στις οποίες έγιναν τα πειράματα βιοδοκιμής των φυτών σιταριού (*Triticum aestivum*) η ερυθρά ιλύς αναμεμιγμένη με τρία διαφορετικά υποστρώματα δεν προκάλεσε την πλήρη ανάσχεση της ανάπτυξης των φυτών.

Πιο συγκεκριμένα κατά την ανάμιξη της ερυθράς ιλύος με το υπόστρωμα φυτόχωμα φαίνεται ότι η ποσότητα της ερυθράς ιλύος των 1000 gr ανά λίτρο υποστρώματος είναι στατιστικώς σημαντική από τις άλλες τρεις επεμβάσεις (100 gr EI/l, 500 gr EI/l και μάρτυρα) με δείκτη σφάλματος  $\alpha = 0,05$ . Επίσης κατά την ανάμιξη 100 gr ερυθράς ιλύος με φυτόχωμα είχαμε τα υψηλότερα (35,2 cm) και καλύτερα ανεπτυγμένα φυτά με βάρος 1,19 gr, ενώ κατά την ανάμιξη 1000 gr ερυθράς ιλύος είχαμε τα χαμηλότερα (26 cm) και λιγότερο ανεπτυγμένα φυτά με βάρος 0,58 gr, κάτι το οποίο σημαίνει ότι η ερυθρά ιλύς προκάλεσε την ανάσχεση της ανάπτυξης των φυτών σε αυτήν την αναλογία.

Κατά την ανάμιξη της ερυθράς ιλύος με την τύρφη, η επέμβαση με τον μάρτυρα (σκέτη τύρφη) διέφερε στατιστικά ( $\alpha = 0,05$ ) από τις υπόλοιπες τρεις επεμβάσεις, η επέμβαση των 1000 gr ερυθράς ιλύος επίσης διέφερε στατιστικά από τις υπόλοιπες τρεις επεμβάσεις, ενώ οι επεμβάσεις των 100 και 500 gr ερυθράς ιλύος δεν διέφεραν

στατιστικά μεταξύ τους. Επιπλέον το υπόστρωμα με σκέτη τύρφη προκάλεσε την μεγαλύτερη ανάπτυξη της ανάπτυξης των φυτών με ύψος 8,3 cm και βάρος 0,07 gr, ενώ η επέμβαση των 500 gr ερυθράς ιλύος έδωσε τα υψηλότερα φυτά (26,1 cm) και καλύτερα ανεπτυγμένα (0,41 gr).

Τέλος, κατά την ανάμιξη της ερυθράς ιλύος με τον περλίτη η επέμβαση των 1000 gr ερυθράς ιλύος διέφερε στατιστικά ( $\alpha = 0,05$ ) από τις υπόλοιπες τρεις επεμβάσεις, οι επεμβάσεις των 100 και 500 gr ερυθράς ιλύος δεν διέφεραν στατιστικά μεταξύ τους, ενώ η επέμβαση του μάρτυρα διέφερε στατιστικά από τις υπόλοιπες τρεις επεμβάσεις. Η αναλογία των 1000 gr ερυθράς ιλύος έδωσε τα χαμηλότερα φυτά (12,1 cm) και λιγότερο ανεπτυγμένα με βάρος 0,13 gr, κάτι το οποίο σημαίνει ότι η ερυθρά ιλύς προκάλεσε την ανάπτυξη της ανάπτυξης των φυτών, ενώ η επέμβαση με τον μάρτυρα έδωσε τα υψηλότερα φυτά (21,4 cm) και καλύτερα ανεπτυγμένα με βάρος 0,3 gr.

Φαίνεται από τις μετρήσεις του ύψους και του βάρους των φυτών, ότι η ερυθρά ιλύς στην αναλογία των 1000 gr/l υποστρώματος επιδρά αρνητικά στην ανάπτυξη των φυτών σε σχέση με τις άλλες δύο αναλογίες (100 και 500 gr/l).

Κατά την μέτρηση του pH των υποστρωμάτων, το φυτόχωμα είχε αρχικά pH 4,81. Κατά την ανάμιξη 100, 500 και 1000 gr ερυθράς ιλύος το pH του φυτοχώματος έφτασε το 6,54, 7,25 και 7,51 αντίστοιχα. Δηλαδή καθώς αυξανόταν η ποσότητα της ερυθράς ιλύος, αυξανόταν το pH του υποστρώματος με το φυτόχωμα. Επίσης παρόμοια αποτελέσματα παίρνουμε και με υπόστρωμα την τύρφη. Ο μάρτυρας είχε pH 4 και κατά την ανάμιξη 100, 500 και 1000 gr ερυθράς ιλύος το pH της τύρφης έφτασε το 5,91, 7,75 και 8,08 αντίστοιχα. Στο υπόστρωμα περλίτη είχαμε αύξηση του pH κατά την αύξηση της ποσότητας ερυθράς ιλύος, όμως στην αναλογία των 1000 gr ερυθράς ιλύος στο ένα λίτρο υποστρώματος είχαμε ελαφρύ μείωση του pH. Ο περλίτης είχε pH 6,75 ενώ κατά την ανάμιξη 100 και 500 gr ερυθράς ιλύος το pH του περλίτη έφτασε το 7,23 και 8,53 αντίστοιχα. Η αύξηση του pH και στα τρία υποστρώματα οφείλεται στο υψηλό pH της ερυθράς ιλύος (11). Στο φυτόχωμα το χαμηλό pH δεν φαίνεται να επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών, γιατί μεγάλη ανάπτυξη των φυτών παρατηρείται στην αναλογία των 1000 gr/l ερυθράς ιλύος, με pH γύρω στο 7,5, δηλαδή με ουδέτερο pH. Στην τύρφη όμως το πολύ χαμηλό pH (4) του μάρτυρα φαίνεται ότι προκαλεί ανάπτυξη της ανάπτυξης των φυτών σε σχέση με

τις υπόλοιπες επεμβάσεις της ερυθράς ιλύος, όπου το pH είναι μεγαλύτερο. Όσον αφορά τον περλίτη το pH δεν φαίνεται να επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών.

Γενικά τα φυτά σιταριού αναπτύχθηκαν πολύ καλύτερα στο υπόστρωμα του φυτοχώματος σε σύγκριση με το υπόστρωμα της τύρφης και του περλίτη, κάτι το οποίο φαίνεται στις μετρήσεις ύψους και νωπού βάρους των φυτών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το φυτόχωμα περιέχει οργανικά και ανόργανα θρεπτικά συστατικά που ευνοούν την ανάπτυξη των φυτών σε αντίθεση με την τύρφη και τον περλίτη, τα οποία περιέχουν από λίγα έως καθόλου θρεπτικά συστατικά (οργανικά και ανόργανα).

Κατά την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας φαίνεται ότι η ερυθρά ιλύς χρησιμοποιείται έστω και σε ερευνητικό τομέα, ως εδαφικό βελτιωτικό.

Η ερυθρά ιλύς σύμφωνα με τους Fuller και Richardson (1986) έχει χαρακτηριστικά όπως υψηλή περιεκτικότητα σε αργίλιο και υψηλό pH (άνω του 10) που εμποδίζουν την εγκατάσταση και ανάπτυξη βλάστησης. Παρόλα αυτά, πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι η προσθήκη οργανικών υλικών στην ερυθρά ιλύ, όπως αστικά λύματα μπορούν να βοηθήσουν στην ανάπτυξη φυτών που είναι ανθεκτικά σε αλκαλικά εδάφη, όπως το είδος *Distichlis spicata* var. *stricta*.

Ο Ward (1983) προτείνει την ερυθρά ιλύ ως εδαφικό βελτιωτικό στα αμμώδη εδάφη της Αυστραλίας. Η ανάμιξη ερυθράς ιλύος με αμμώδη εδάφη μαζί με γύψο (5-8%) μπορεί να βελτιώσει την εγκατάσταση και ανάπτυξη βλάστησης με τριφύλλι (*Trifolium subterraneum*) και να διατηρήσει την παραγωγή των οσπρίων. Η ερυθρά ιλύς δεν προκαλεί φαινόμενα τοξικότητας στα φυτά ύστερα από λίπανση με κανονικές ποσότητες καλίου και χαμηλές ποσότητες φωσφόρου.

Για τα αμμώδη εδάφη της Αυστραλίας οι Gherardi και Rengel (2003) όπου εναποτίθονται τεράστιες ποσότητες ερυθράς ιλύος από τις βιομηχανίες αλουμινίου προτείνουν το φυτό της μηδικής (*Medicago sativa*) για την εγκατάσταση βλάστησης αυτών των εκτάσεων, γιατί είναι ένα πολυετές φυτό με βαθύ ριζικό σύστημα, μεγάλη ανθεκτικότητα σε αλκαλικά εδάφη και μέτρια στην αλατότητα και στα υπολείμματα του νατρίου.

Επίσης οι Kong και Mendelssohn (1996) αναφέρουν ότι κατά την ανάμιξη της ερυθράς ιλύος με ίζημα από έλος ή κομπόστα μπόρεσε να αναπτυχθεί το φυτό *Spartina alterniflora* όχι όμως και το φυτό *Sagittaria lancifolia*, το οποίο δεν άντεξε

την υψηλή συγκέντρωση νατρίου και το υψηλό επίπεδο αλατότητας της ερυθράς ιλύος.

Η ανάμιξη της ερυθράς ιλύος με γύψο μπορεί να μειώσει την αλκαλικότητα της πρώτης και να την κάνει καταλληλότερη για υπόστρωμα (Barrow, 1982). Ο ίδιος ερευνητής προτείνει ότι η αναλογία ερυθράς ιλύος:γύψου 20:1, μαζί με την διάθεση επαρκών ποσοτήτων φωσφόρου, μαγγανίου και καλίου επιτρέπει σε κάποια είδη φυτών να αναπτυχθούν.

Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Wong και Ho (1992), δηλαδή ότι η προσθήκη γύψου στην ερυθρά ιλύ βελτιώνει τις ιδιότητες της τελευταίας. Δύο είδη χλόης της οικογένειας Gramineae, το είδος Αγρόπυρον (*Agropyron elongatum*) και η αγριάδα (*Cynodon dactylon*), τα οποία είναι ανθεκτικά στην αλκαλικότητα και στην αλατότητα κατόρθωσαν να βλαστήσουν σε υπόστρωμα ερυθράς ιλύος αναμεμιγμένη με γύψο. Οι Wong και Ho (1992) προτείνουν επίσης ότι για την βελτίωση της περιεκτικότητας σε θρεπτικά στοιχεία και την αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας της ερυθράς ιλύος θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αστικά λύματα.

Οι Lewis *et al.* (1995) αναφέρουν ότι η ανάμιξη της ερυθράς ιλύος με χαμηλού κόστους προϊόντα όπως άμμου, οργανικής ύλης που προέρχεται από μη εμπορικής κλίμακας δραστηριότητες (κοπριά ζώων) και ασβεστόλιθων έχει σαν αποτέλεσμα την βελτίωση των εδαφικών ιδιοτήτων της ερυθράς ιλύος και την ανάπτυξη χλόης (*Digitaria ciliaris*) που φύεται στην περιοχή του νησιού Saint Croix των Ηνωμένων Πολιτειών. Η σημαντικότερη βελτίωση των εδαφικών ιδιοτήτων της ερυθράς ιλύος μετά την ανάμιξη των παραπάνω προϊόντων είναι η βελτίωση του εδαφικού πορώδους, που επιτρέπει την ανάπτυξη των φυτών και αυτό οφείλεται στο ότι επιτρέπει την καλύτερη εισχώρηση του νερού και του αέρα στο ριζικό σύστημα του φυτού καθώς και ότι τα μακροστοιχεία και μικροστοιχεία του εδάφους γίνονται περισσότερο διαθέσιμα στο φυτό (Lewis *et al.*, 1995).

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω καθώς και τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης είναι προφανές ότι η ερυθρά ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε γεωργικές εφαρμογές ως εδαφικό βελτιωτικό, αναμεμιγμένη με τα κατάλληλα υποστρώματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην Ελλάδα το εργοστάσιο «Αλουμίνιο της Ελλάδος» επεξεργάζεται τα κοιτάσματα του βωξίτη με ετήσια παραγωγή 2.492.000 τόνους βωξίτη (2002). Το «Αλουμίνιο της Ελλάδος» παράγει 750.000 (2002) τόνους ένυδρη αλουμίνα εκ των οποίων το 90% χρησιμοποιείται για την παραγωγή αλουμινίου. Όμως σύμφωνα με την Vassiliou (1990) για κάθε τόνο παραγόμενης αλουμίνας παράγεται ένας με δύο τόνοι ερυθράς ιλύος, η ποσότητα της οποίας εξαρτάται από την ποιότητα της επεξεργασίας του βωξίτη. Η παραγόμενη ποσότητα ερυθράς ιλύος απορρίπτεται στον Κορινθιακό κόλπο μέσω ενός αγωγού 500 μέτρων από την στεριά και ανέρχεται σε περίπου 680.000 τόνους το έτος (Ποντίκης *et al.*, 2003). Επειδή η ερυθρά ιλύς προκαλεί περιβαλλοντική ρύπανση στον Κορινθιακό κόλπο και στους θαλάσσιους οργανισμούς, ένα μέρος της θα μπορούσε να αξιοποιηθεί ως εδαφικό βελτιωτικό του εδάφους κάτι το οποίο είναι εφικτό σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης και την ανασκόπηση της Διεθνούς βιβλιογραφίας.

Ένα σενάριο είναι η ανάμιξη της ερυθράς ιλύος με φυτόχωμα. Από τα αποτελέσματα του πειράματος της βιοδοκιμής του σιταριού σε υπόστρωμα φυτοχώματος αναμειγμένο με ερυθρά ιλύ φάνηκε ότι ποσότητα 100 gr ερυθράς ιλύος σε ένα λίτρο υποστρώματος ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών, καλύτερα και από τον μάρτυρα (σκέτο φυτόχωμα). Τα 100 gr ερυθράς ιλύος είναι το 20% του βάρους του υποστρώματος, δηλαδή εξοικονομείται ποσότητα φυτοχώματος. Εάν υποθέσουμε ότι η ερυθρά ιλύς διατίθεται σε έμπορο που πουλάει φυτόχωμα δωρεάν, επειδή θεωρείται απόβλητο για την βιομηχανία, τότε συμφέρει η ανάμιξη ερυθράς ιλύος με το φυτόχωμα στην αναλογία των 100 gr σε ένα λίτρο υποστρώματος, γιατί εξοικονομείται ποσότητα φυτοχώματος (η συσκευασία των 70 λίτρων φυτοχώματος στο εμπόριο κοστίζει 13 ευρώ). Εάν όμως λάβουμε υπ' όψιν ότι για να μεταφερθεί η ερυθρά ιλύς από το εργοστάσιο «Αλουμίνιο της Ελλάδος» που βρίσκεται στο νομό Βοιωτίας απαιτούνται έξοδα μεταφοράς με φορτηγά, αλλά και έξοδα διαχείρισης της ερυθράς από και προς τα φορτηγά (με κάποια μπουλντόζα) τότε θα πρέπει κάθε έμπορος να μεταφέρει μεγάλες ποσότητες ερυθράς ιλύος και σε κοντινούς νομούς έτσι ώστε να είναι βιώσιμη η αξιοποίηση της ερυθράς ιλύος. Όμως σε αυτήν την περίπτωση οι μεγάλες ποσότητες της ερυθράς ιλύς θα απαιτήσουν επιπλέον χώρο για

τον έμπορο, όχι μόνο για να την αποθηκεύσει αλλά και για να την αναμίξει με το φυτόχωμα, κάτι το οποίο σημαίνει επιπλέον έξοδα για την επιχείρηση εμπορίας υποστρώματος. Επομένως θα πρέπει αυτές οι επιχειρήσεις να είναι αρκετά μεγάλες ώστε ένα τέτοιο σχέδιο να είναι οικονομικά βιώσιμο.

Ένα δεύτερο σενάριο είναι η κάλυψη με ερυθρά ιλύ, αναμεμιγμένη με γύψο, ο οποίος βελτιώνει τις ιδιότητες της ερυθράς ιλύος (μείωση του pH), παλαιών λατομείων και η προσπάθεια εγκατάστασης βλάστησης αυτών των χώρων με ανθεκτικά στην αλατότητα και αλκαλικότητα του εδάφους φυτών (φυτά της οικογένειας Graminae). Επειδή όμως ένα πρόγραμμα αποκατάστασης εδαφών παλαιών λατομείων έχει αρκετά έξοδα, θα πρέπει να υπάρξει κρατική επιχορήγηση για τέτοιου είδους προγράμματα. Παρόλο που ένα τέτοιο πρόγραμμα δεν είναι οικονομικά βιώσιμο, είτε υπάρχει επιχορήγηση, οπότε ζημιώνεται το κράτος, είτε δεν υπάρχει, οπότε ζημιώνεται το εργοστάσιο παραγωγής αλουμινίου, από την άλλη προκύπτει ένα τεράστιο περιβαλλοντικό όφελος, γιατί από τη μία αξιοποιείται η ερυθρά ιλύς και από την άλλη αποκαθίσταται ο χώρος παλαιών λατομείων.

Επιπλέον, σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία κάθε βιομηχανία που ρυπαίνει το περιβάλλον (αέριους ρύπους, υγρά και στερεά απόβλητα) θα πρέπει να πληρώνει ανάλογα με την ποσότητα που εκπέμπει, η αξιοποίηση της ερυθράς ιλύος με έξοδα της βιομηχανίας δεν θα αποτελεί κόστος για την βιομηχανία, γιατί τα έξοδα θα αντισταθμίζονται από την αποφυγή επιβολής προστίμου λόγω ρύπανσης του περιβάλλοντος. Η ευρωπαϊκή οδηγία σύμφωνα με την οποία «ο ρυπαίνων πληρώνει» αναμένεται να ισχύσει για όλες τις ευρωπαϊκές χώρες τα επόμενα έτη, για αυτό πρέπει να φροντίσει είτε να μειώσει τους ρύπους της (κατάλληλη τεχνολογία), είτε να αξιοποιήσει τα απόβλητά της (ανακύκλωση).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Στατιστικά αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα του πειράματος της βιοδοκιμής του σιταριού σε ερυθρά ιλύ αναλύθηκαν με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος για ηλεκτρονικούς υπολογιστές SPSS εφαρμόζοντας ανάλυση παραλλακτικότητας ANOVA και διαχωρισμό των μέσων με τη δοκιμή κατά Duncan.

Στον Πίνακα 21 φαίνονται οι μετρήσεις του μέσου όρου του ύψους των φυτών σιταριού που αναπτύχθηκαν σε κάθε γλάστρα με υπόστρωμα το φυτόχωμα, την τύρφη και το περλίτη.

**Πίνακας 21.** Μέσος όρος ύψους φυτών με υπόστρωμα το φυτόχωμα, την τύρφη και τον περλίτη.

| Επέμβαση | Φυτόχωμα (cm) | Τύρφη (cm) | Περλίτης (cm) |
|----------|---------------|------------|---------------|
| 1        | 34,80         | 10,00      | 23,90         |
| 1        | 34,60         | 9,10       | 20,80         |
| 1        | 34,30         | 9,90       | 24,30         |
| 1        | 32,10         | 4,10       | 16,70         |
| 2        | 35,70         | 21,90      | 13,90         |
| 2        | 36,90         | 25,80      | 14,60         |
| 2        | 34,10         | 28,50      | 16,90         |
| 2        | 34,30         | 26,50      | 16,80         |
| 3        | 34,00         | 26,40      | 15,90         |
| 3        | 28,10         | 29,00      | 13,90         |
| 3        | 31,40         | 24,10      | 16,70         |
| 3        | 33,60         | 24,80      | 16,00         |
| 4        | 28,20         | 21,60      | 12,60         |
| 4        | 29,30         | 21,80      | 13,90         |
| 4        | 17,50         | 21,50      | 11,50         |
| 4        | 29,10         | 23,50      | 10,40         |



Στον Πίνακα 22 φαίνονται οι μετρήσεις του νωπού βάρους των φυτών σιταριού που αναπτύχθηκαν σε κάθε γλάστρα με υπόστρωμα το φυτόχωμα, την τύρφη και το περλίτη.

**Πίνακας 22.** Μέσος όρος νωπού βάρους φυτών με υπόστρωμα το φυτόχωμα, την τύρφη και τον περλίτη.

| <b>Επέμβαση</b> | <b>Φυτόχωμα (gr)</b> | <b>Τύρφη (gr)</b> | <b>Περλίτης (gr)</b> |
|-----------------|----------------------|-------------------|----------------------|
| 1               | 1,11                 | 0,07              | 0,34                 |
| 1               | 1,12                 | 0,08              | 0,31                 |
| 1               | 1,06                 | 0,09              | 0,37                 |
| 1               | 0,93                 | 0,02              | 0,18                 |
| 2               | 1,16                 | 0,25              | 0,14                 |
| 2               | 1,31                 | 0,32              | 0,18                 |
| 2               | 1,11                 | 0,55              | 0,21                 |
| 2               | 1,19                 | 0,36              | 0,21                 |
| 3               | 1,07                 | 0,42              | 0,20                 |
| 3               | 0,88                 | 0,48              | 0,15                 |
| 3               | 0,93                 | 0,41              | 0,23                 |
| 3               | 1,08                 | 0,33              | 0,18                 |
| 4               | 0,71                 | 0,31              | 0,15                 |
| 4               | 0,66                 | 0,32              | 0,16                 |
| 4               | 0,23                 | 0,31              | 0,10                 |
| 4               | 0,73                 | 0,35              | 0,09                 |

Υποσημείωση για Πίνακα 21 και 22:

Η επέμβαση 1 συμβολίζει τον μάρτυρα, η 2 τα 100 gr ερυθράς ιλύς στο 1 λίτρο υποστρώματος, η 3 τα 500 gr ερυθράς ιλύς στο 1 λίτρο υποστρώματος και η 4 τα 1000 gr ερυθράς ιλύς στο 1 λίτρο υποστρώματος.

Μετά την εφαρμογή του στατιστικού προγράμματος SPSS παίρνουμε τα εξής μέτρα διασποράς, όπως φαίνεται στους Πίνακες 23, 24, 25, 26, 27 και 28.

**Πίνακας 23.** Μέτρα διασποράς για το ύψος φυτού σιταριού σε υπόστρωμα φυτόχωμα.

| Επεμβάσεις | Αριθμός επαναλήψεων | Μ.Ο.  | Τυπική απόκλιση | Τυπικό σφάλμα | Ελάχιστα | Μέγιστα |
|------------|---------------------|-------|-----------------|---------------|----------|---------|
| 1          | 4                   | 33,95 | 1,25            | 0,625         | 32,10    | 34,80   |
| 2          | 4                   | 35,25 | 1,31            | 0,655         | 34,10    | 36,90   |
| 3          | 4                   | 31,78 | 2,70            | 1,352         | 28,10    | 34,00   |
| 4          | 4                   | 26,03 | 5,70            | 2,852         | 17,50    | 29,90   |
| Σύνολο     | 16                  | 31,75 | 4,68            | 1,171         | 17,50    | 36,90   |

**Πίνακας 24.** Μέτρα διασποράς για το ύψος φυτού σιταριού σε υπόστρωμα τύρφη.

| Επεμβάσεις | Αριθμός επαναλήψεων | Μ.Ο.  | Τυπική απόκλιση | Τυπικό σφάλμα | Ελάχιστα | Μέγιστα |
|------------|---------------------|-------|-----------------|---------------|----------|---------|
| 1          | 4                   | 8,28  | 2,81            | 1,406         | 4,10     | 10,00   |
| 2          | 4                   | 25,68 | 2,76            | 1,382         | 21,90    | 28,50   |
| 3          | 4                   | 26,08 | 2,17            | 1,087         | 24,10    | 29,00   |
| 4          | 4                   | 22,10 | 0,94            | 0,471         | 21,50    | 23,50   |
| Σύνολο     | 16                  | 20,53 | 7,76            | 1,940         | 4,10     | 29,00   |

**Πίνακας 25.** Μέτρα διασποράς για το ύψος φυτού σιταριού σε υπόστρωμα περλίτη.

| Επεμβάσεις | Αριθμός επαναλήψεων | Μ.Ο.  | Τυπική απόκλιση | Τυπικό σφάλμα | Ελάχιστα | Μέγιστα |
|------------|---------------------|-------|-----------------|---------------|----------|---------|
| 1          | 4                   | 21,43 | 3,52            | 1,758         | 16,70    | 24,30   |
| 2          | 4                   | 15,55 | 1,53            | 0,764         | 13,90    | 16,90   |
| 3          | 4                   | 15,63 | 1,20            | 0,602         | 13,90    | 16,70   |
| 4          | 4                   | 12,10 | 1,50            | 0,749         | 10,40    | 13,90   |
| Σύνολο     | 16                  | 16,18 | 3,96            | 0,989         | 10,40    | 24,30   |

**Πίνακας 26.** Μέτρα διασποράς για το βάρος φυτού σιταριού σε υπόστρωμα φυτόχωμα.

| Επεμβάσεις | Αριθμός επαναλήψεων | Μ.Ο. | Τυπική απόκλιση | Τυπικό σφάλμα | Ελάχιστα | Μέγιστα |
|------------|---------------------|------|-----------------|---------------|----------|---------|
| 1          | 4                   | 1,06 | 0,09            | 0,044         | 0,93     | 1,12    |
| 2          | 4                   | 1,19 | 0,09            | 0,043         | 1,11     | 1,31    |
| 3          | 4                   | 0,99 | 0,10            | 0,050         | 0,88     | 1,08    |
| 4          | 4                   | 0,58 | 0,24            | 0,118         | 0,23     | 0,73    |
| Σύνολο     | 16                  | 0,96 | 0,27            | 0,067         | 0,23     | 1,31    |

**Πίνακας 27.** Μέτρα διασποράς για το βάρος φυτού σιταριού σε υπόστρωμα τύρφη.

| Επεμβάσεις | Αριθμός επαναλήψεων | Μ.Ο. | Τυπική απόκλιση | Τυπικό σφάλμα | Ελάχιστα | Μέγιστα |
|------------|---------------------|------|-----------------|---------------|----------|---------|
| 1          | 4                   | 0,07 | 0,03            | 0,016         | 0,02     | 0,09    |
| 2          | 4                   | 0,37 | 0,13            | 0,064         | 0,25     | 0,55    |
| 3          | 4                   | 0,41 | 0,06            | 0,031         | 0,33     | 0,48    |
| 4          | 4                   | 0,32 | 0,02            | 0,009         | 0,31     | 0,35    |
| Σύνολο     | 16                  | 0,29 | 0,15            | 0,038         | 0,02     | 0,55    |

**Πίνακας 28.** Μέτρα διασποράς για το βάρος φυτού σιταριού σε υπόστρωμα περλίτη.

| Επεμβάσεις | Αριθμός επαναλήψεων | Μ.Ο. | Τυπική απόκλιση | Τυπικό σφάλμα | Ελάχιστα | Μέγιστα |
|------------|---------------------|------|-----------------|---------------|----------|---------|
| 1          | 4                   | 0,30 | 0,08            | 0,042         | 0,18     | 0,37    |
| 2          | 4                   | 0,19 | 0,03            | 0,017         | 0,14     | 0,21    |
| 3          | 4                   | 0,19 | 0,03            | 0,017         | 0,15     | 0,23    |
| 4          | 4                   | 0,13 | 0,04            | 0,018         | 0,09     | 0,16    |
| Σύνολο     | 16                  | 0,20 | 0,08            | 0,020         | 0,09     | 0,37    |

Υποσημείωση για τους Πίνακες 23, 24, 25, 26, 27 και 28:

Στην πρώτη στήλη των Πινάκων είναι οι επεμβάσεις του πειράματος (1, 2, 3, 4) και το σύνολό τους. Στη δεύτερη στήλη είναι ο αριθμός των επαναλήψεων κάθε

επέμβασης (N). Στην τρίτη στήλη είναι ο μέσος όρος των επαναλήψεων κάθε επέμβασης ( $\bar{x} = \Sigma(xi)/N$ ), όπου i είναι οι επαναλήψεις κάθε επέμβασης. Στην τέταρτη στήλη είναι η τυπική απόκλιση κάθε επέμβασης, δηλαδή η τετραγωνική ρίζα της διασποράς  $s^2$ . Η διασπορά  $s^2$  δίνεται από τον τύπο  $s^2 = (1/N-1) * \Sigma(xi - \bar{x})^2$ . Στην πέμπτη στήλη είναι το τυπικό σφάλμα  $s\bar{x}$ . Το τυπικό σφάλμα δίνεται από τον τύπο  $s\bar{x} = s/\sqrt{N}$ . Στην έκτη στήλη είναι η ελάχιστη τιμή των επαναλήψεων κάθε επέμβασης και στην έβδομη στήλη είναι η μέγιστη τιμή των επαναλήψεων κάθε επέμβασης (Παπαδόπουλος, 1992).

Στη συνέχεια εφαρμόζεται η ανάλυση παραλλακτικότητας ANOVA και διαχωρισμός των μέσων με τη δοκιμή κατά Duncan για τους μέσους όρους του ύψους των φυτών σε υπόστρωμα φυτόχωμα, τύρφη, περλίτη και του βάρους των φυτών σε υπόστρωμα φυτόχωμα, τύρφη και περλίτη.

Στους Πίνακες 29, 30, 31, 32, 33 και 34 φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης παραλλακτικότητας ANOVA των μέσων όρων του ύψους των φυτών σε υπόστρωμα φυτόχωμα, τύρφη, περλίτη και του βάρους των φυτών σε υπόστρωμα φυτόχωμα, τύρφη και περλίτη αντίστοιχα.

**Πίνακας 29.** Ανάλυση παραλλακτικότητας ANOVA των μέσων όρων του ύψους σε υπόστρωμα φυτόχωμα.

| <b>Πηγή παραλλακτικότητας</b> | <b>Άθροισμα τετραγώνων ν</b> | <b>Βαθμοί ελευθερίας ς</b> | <b>Μέσο τετράγωνο ο</b> | <b>F</b> | <b>Επίπεδο σημαντικότητας</b> |
|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------|----------|-------------------------------|
| Επεμβάσεις                    | 199,465                      | 3                          | 66,488                  | 6,168    | 0,009                         |
| Υπόλοιπο                      | 129,355                      | 12                         | 10,780                  |          |                               |
| Σύνολο                        | 328,820                      | 15                         |                         |          |                               |

**Πίνακας 30.** Ανάλυση παραλλακτικότητας ANOVA των μέσων όρων του ύψους σε υπόστρωμα τύρφη.

| Πηγή παραλλακτικότητας | Άθροισμα τετραγώνων | Βαθμοί ελευθερίας | Μέσο τετράγωνο | F      | Επίπεδο σημαντικότητας |
|------------------------|---------------------|-------------------|----------------|--------|------------------------|
| Επεμβάσεις             | 839,472             | 3                 | 279,824        | 52,878 | 0                      |
| Υπόλοιπο               | 63,502              | 12                | 5,292          |        |                        |
| Σύνολο                 | 902,974             | 15                |                |        |                        |

**Πίνακας 31.** Ανάλυση παραλλακτικότητας ANOVA των μέσων όρων του ύψους σε υπόστρωμα περλίτη.

| Πηγή παραλλακτικότητας | Άθροισμα τετραγώνων | Βαθμοί ελευθερίας | Μέσο τετράγωνο | F      | Επίπεδο σημαντικότητας |
|------------------------|---------------------|-------------------|----------------|--------|------------------------|
| Επεμβάσεις             | 179,445             | 3                 | 59,815         | 13,002 | 0                      |
| Υπόλοιπο               | 55,205              | 12                | 4,600          |        |                        |
| Σύνολο                 | 234,650             | 15                |                |        |                        |

**Πίνακας 32.** Ανάλυση παραλλακτικότητας ANOVA του βάρους σε υπόστρωμα φυτόχωμα.

| Πηγή παραλλακτικότητας | Άθροισμα τετραγώνων | Βαθμοί ελευθερίας | Μέσο τετράγωνο | F      | Επίπεδο σημαντικότητας |
|------------------------|---------------------|-------------------|----------------|--------|------------------------|
| Επεμβάσεις             | 0,826               | 3                 | 0,275          | 13,587 | 0                      |
| Υπόλοιπο               | 0,243               | 12                | 0,202          |        |                        |
| Σύνολο                 | 1,069               | 15                |                |        |                        |

**Πίνακας 33.** Ανάλυση παραλλακτικότητας ANOVA του βάρους σε υπόστρωμα τύρφη.

| <b>Πηγή παραλλακτικότητας</b> | <b>Άθροισμα τετραγώνων<br/>ν</b> | <b>Βαθμοί ελευθερίας<br/>ς</b> | <b>Μέσο τετράγωνο<br/>ο</b> | <b>F</b> | <b>Επίπεδο σημαντικότητας</b> |
|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------|-------------------------------|
| Επεμβάσεις                    | 0,290                            | 3                              | 0,097                       | 17,900   | 0                             |
| Υπόλοιπο                      | 0,065                            | 12                             | 0,005                       |          |                               |
| Σύνολο                        | 0,355                            | 15                             |                             |          |                               |

**Πίνακας 34.** Ανάλυση παραλλακτικότητας ANOVA του βάρους σε υπόστρωμα περλίτη.

| <b>Πηγή παραλλακτικότητας</b> | <b>Άθροισμα τετραγώνων<br/>ν</b> | <b>Βαθμοί ελευθερίας<br/>ς</b> | <b>Μέσο τετράγωνο<br/>ο</b> | <b>F</b> | <b>Επίπεδο σημαντικότητας</b> |
|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------|-------------------------------|
| Επεμβάσεις                    | 0,064                            | 3                              | 0,021                       | 8,127    | 0,003                         |
| Υπόλοιπο                      | 0,031                            | 12                             | 0,003                       |          |                               |
| Σύνολο                        | 0,095                            | 15                             |                             |          |                               |

Υποσημείωση για τους Πίνακες 29, 30, 31, 32, 33 και 34:

Στην πρώτη στήλη των Πινάκων είναι οι επεμβάσεις (1, 2, 3 και 4), το υπόλοιπο και το σύνολο των επεμβάσεων. Στην δεύτερη στήλη είναι το άθροισμα των τετραγώνων (ΑΤ). Το άθροισμα των τετραγώνων των επεμβάσεων (ΑΤε) δίνεται από τον τύπο  $ΑΤε = N * \sum (\bar{x} - \bar{x}_o)^2$ . N οι επαναλήψεις κάθε επέμβασης,  $\bar{x}_o$  ο μέσος όρος κάθε

επέμβασης και  $\bar{x}_\sigma$  ο μέσος όρος των επαναλήψεων όλων των επεμβάσεων μαζί. Το άθροισμα των τετραγώνων του υπολοίπου ΑΤυ δίνεται από τον τύπο  $ΑΤυ = \sum (x_i - \bar{x})^2$ .  $x_i$  η επανάληψη όλων των επεμβάσεων. Το άθροισμα των τετραγώνων του συνόλου ΑΤσ δίνεται από τον τύπο  $ΑΤσ = \sum (x_i - \bar{x}_\sigma)^2$ . Στην τρίτη στήλη είναι οι βαθμοί ελευθερίας (ΒΕ). Οι βαθμοί ελευθερίας των επεμβάσεων ΒΕε δίνονται από τον τύπο  $ΒΕε = \alpha - 1$ , όπου  $\alpha$  το σύνολο των επεμβάσεων. Οι βαθμοί ελευθερίας του υπολοίπου ΒΕυ δίνονται από τον τύπο  $ΒΕυ = \alpha * (N - 1)$ . Οι βαθμοί ελευθερίας του συνόλου ΒΕσ δίνονται από τον τύπο  $ΒΕσ = \alpha * N - 1$ . Στην τέταρτη στήλη είναι το μέσο τετράγωνο (ΜΣ). Το μέσο τετράγωνο των επεμβάσεων ΜΣε δίνεται από τον τύπο  $ΜΣε = ΑΤε / (\alpha - 1)$ . Το μέσο τετράγωνο του υπολοίπου ΜΣυ δίνεται από τον τύπο  $ΜΣυ = ΑΤυ / \alpha * (N - 1)$ . Στην πέμπτη στήλη είναι η τιμή F η οποία δίνεται από τον τύπο  $F = ΜΤε / ΜΤυ$ . Στην έκτη στήλη είναι το επίπεδο σημαντικότητας. Όσο πιο κοντά στο 0 είναι αυτή η τιμή τόσο μεγαλύτερες είναι οι διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων (Καλτσίκης, 1997).

Στους Πίνακες 35, 36, 37, 38, 39 και 40 φαίνεται ο διαχωρισμός των μέσων των επεμβάσεων (1, 2, 3 και 4) σύμφωνα με τη δοκιμή Duncan σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 0,05$ .

**Πίνακας 35.** Διαχωρισμός των μέσων του ύψους σε υπόστρωμα φυτόχωμα.

| Επεμβάσεις    | Επανάληψεις | a      | b      |
|---------------|-------------|--------|--------|
| 4             | 4           | 26,025 |        |
| 3             | 4           |        | 31,775 |
| 1             | 4           |        | 33,950 |
| 2             | 4           |        | 35,250 |
| Σημαντικότητα |             | 1,000  | 0,179  |

**Πίνακας 36.** Διαχωρισμός των μέσων του ύψους σε υπόστρωμα τύρφη.

| Επεμβάσεις | Επανάληψεις | a     | b      | c |
|------------|-------------|-------|--------|---|
| 1          | 4           | 8,275 |        |   |
| 4          | 4           |       | 22,100 |   |

|               |   |       |       |        |
|---------------|---|-------|-------|--------|
| 2             | 4 |       |       | 25,675 |
| 3             | 4 |       |       | 26,075 |
| Σημαντικότητα |   | 1,000 | 1,000 | 0,810  |

**Πίνακας 37.** Διαχωρισμός των μέσων του ύψους σε υπόστρωμα περλίτη.

| Επεμβάσεις    | Επαναλήψεις | a      | b      | c      |
|---------------|-------------|--------|--------|--------|
| 4             | 4           | 12,100 |        |        |
| 2             | 4           |        | 15,550 |        |
| 3             | 4           |        | 15,625 |        |
| 1             | 4           |        |        | 21,425 |
| Σημαντικότητα |             | 1,000  | 0,961  | 1,000  |

**Πίνακας 38.** Διαχωρισμός των μέσων του βάρους σε υπόστρωμα φυτόχωμα.

| Επεμβάσεις    | Επαναλήψεις | a     | b     |
|---------------|-------------|-------|-------|
| 4             | 4           | 0,583 |       |
| 3             | 4           |       | 0,990 |
| 1             | 4           |       | 1,055 |
| 2             | 4           |       | 1,193 |
| Σημαντικότητα |             | 1,000 | 0,079 |

**Πίνακας 39.** Διαχωρισμός των μέσων του βάρους σε υπόστρωμα τύρφη.

| Επεμβάσεις | Επαναλήψεις | a     | b     |
|------------|-------------|-------|-------|
| 1          | 4           | 0,065 |       |
| 4          | 4           |       | 0,323 |
| 2          | 4           |       | 0,370 |



|               |   |       |       |
|---------------|---|-------|-------|
| 3             | 4 |       | 0,410 |
| Σημαντικότητα |   | 1,000 | 0,134 |

**Πίνακας 40.** Διαχωρισμός των μέσων του βάρους σε υπόστρωμα περλίτη.

| <b>Επεμβάσεις</b> | <b>Επαναλήψεις</b> | <b>a</b> | <b>b</b> |
|-------------------|--------------------|----------|----------|
| 4                 | 4                  | 0,125    |          |
| 2                 | 4                  | 0,185    |          |
| 3                 | 4                  | 0,190    |          |
| 1                 | 4                  |          | 0,300    |
| Σημαντικότητα     |                    | 0,112    | 1,000    |

Υποσημείωση για τους Πίνακες 35, 36, 37, 38, 39 και 40:

Οι παραπάνω Πίνακες δείχνουν ποιες επεμβάσεις διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους (a, b ή και c) (Καλτσίκης, 1997).

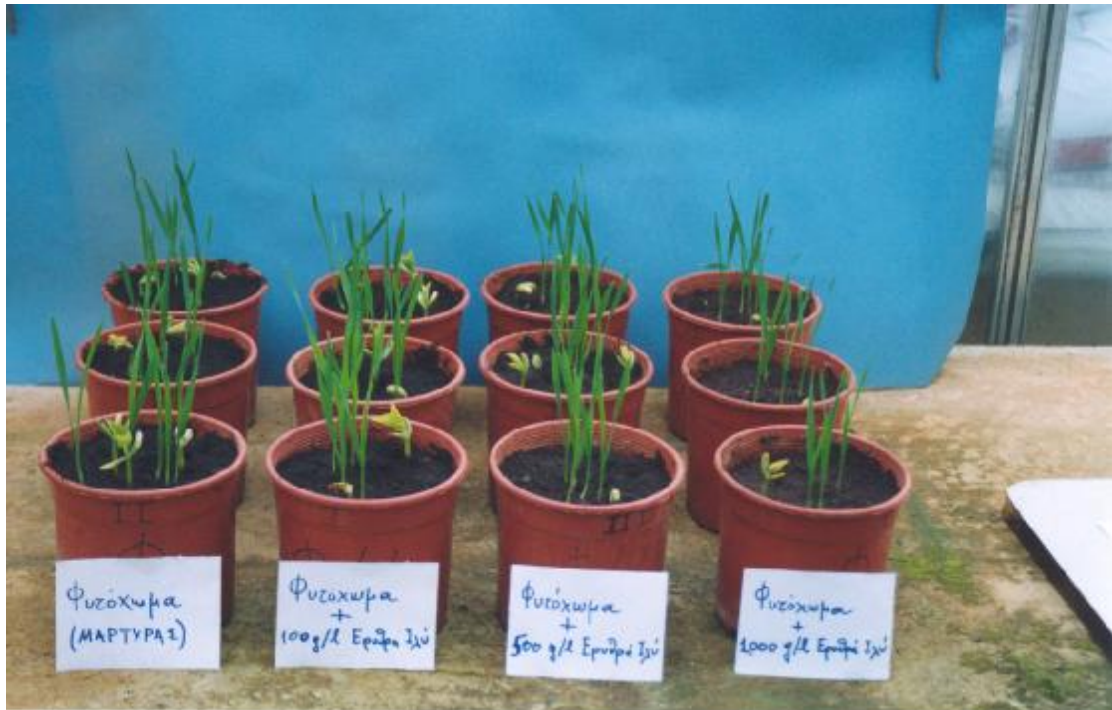
## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

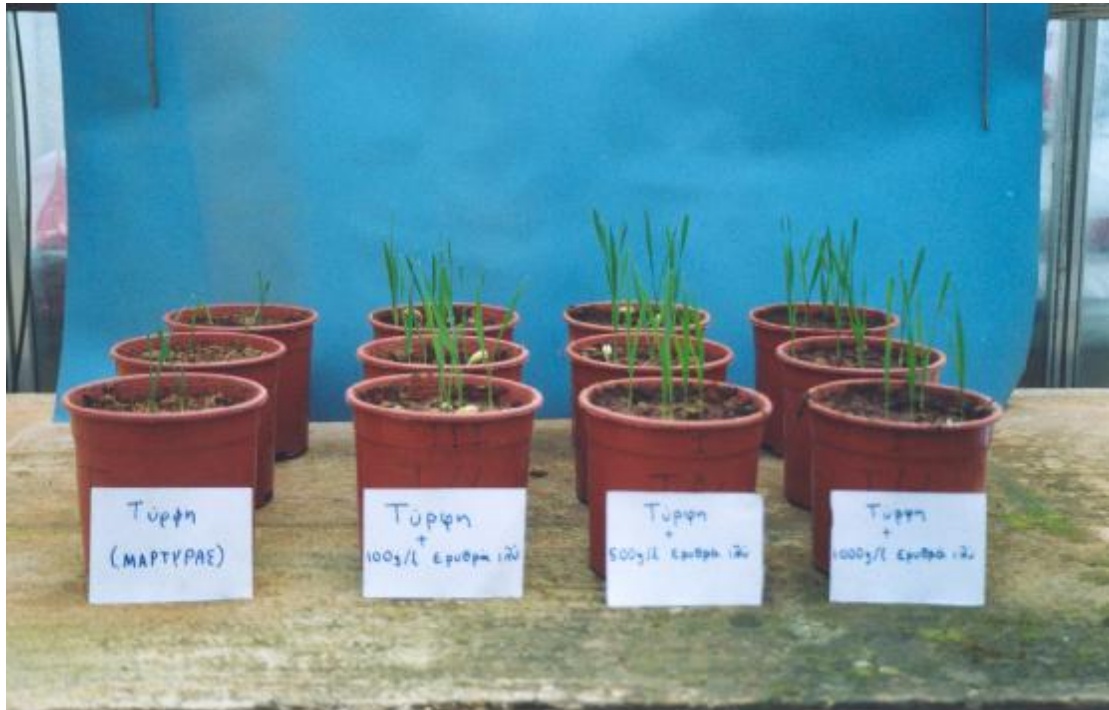
- APHA, AWWA and WPCF, 1989.** American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation. In: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18<sup>th</sup> edn., Section 8220. Washington, DC.
- Barrow, N.J. 1982.** Possibility of using caustic residue from bauxite for improving the chemical and physical properties of sandy soils. Australian Journal of Agricultural Research **33**: 275-285.
- Baseden, S. 1976.** Environmental Study of the Disposal of Red Mud Waste. Marine Pollution Bulletin **7**: 4-6.
- Dethlefsen, V. and Rosenthal, H. 1973.** Problems with dumping of red mud in shallow waters. A critical review of selected literature. Aquaculture **2**: 267-280.
- Fairchild, J.F., Ruessler, D.S., Heverland, P.S and Carlson, A.R. 1997.** Comparative Sensitivity of *Selenastrum capricornutum* and *Lemna minor* to Sixteen Herbicides. Archives of Environmental Contamination and Toxicology **32**: 353-357.
- Fuller, R.D. and Richardson, C.J. 1986.** Alluminate toxicity as a factor controlling plant growth in bauxite residue. Environmental Toxicology and Chemistry **5**: 905-915.
- Gherardi, M.J. and Rengel, Z. 2003.** Genotypes of lucerne (*Medicago sativa* L.) show differential tolerance to manganese deficiency and toxicity when grown in bauxite residue sand. Plant and Soil **249**: 287-296.
- Glenister, D.J. 1987.** Alcoa' s experiences with alternative techniques for bauxite residue disposal and the rehabilitation of old residue areas. In: Tailings disposal and management Symposium Murdoch University, Editor: N. Stockton, Western Australia pp: 50-70.
- Καλτσίκης, Π. 1997.** Μονοπαραγοντικά πειράματα. Σε: Απλά πειραματικά σχέδια. Εκδόσεις: Α. Σταμούλης, Αθήνα. σελ: 63-139.
- Kong, T. and Mendelson, I.A. 1996.** The impact of red mud on growth of wetland vegetation and substrate fertility. Wetlands Ecology and Management **4**: 3-14.

- Κοντόπουλος, Α., Μαρίνος-Κουρής, Δ., Χρυσουλάκη, Ι., Βασιλείου, Π. και Βρεττού, Κ. 1979.** Δυνατότητες αξιοποίησης Ερυθράς Ιλύος. Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδος – Διαλέξεις.
- Lewis, M. 1994.** Use of freshwater plants for phytotoxicity testing: a review. Environmental Pollution **87**: 319-336.
- Lewis, L.W., Shim You, J., Pedersen, W. and Black, E.W. 1995.** Vegetation thickened red mud tailing deposits without the use of soil capping techniques. In : Light Metals, Editor: J. Evans, U.S.A. pp: 31-34.
- Lombi, E., Zhao, F., Zhang, G., Sun, B., Fitz, W., Zhang, H. and McGrath, S.P. 2002.** In situ fixation of metals in soils using bauxite residue: chemical assessment. Environmental Pollution **118**: 435-443.
- Marshall, C.E. 1964.** The physical chemistry and mineralogy of soils. Vol I. Editor: John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Paffenhofer, G.A. 1972.** The effects of suspended “red mud” on mortality, body weight, and growth of the marine planktonic copepod, *Calanus helgolandicus*. Water, Air, and Soil Pollution **1**: 314-321.
- Παπαδόπουλος, Γ. 1992.** Σημειώσεις περιγραφικής στατιστικής. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. σελ: 1-35.
- Πασπάτης, Ε. 2004.** Γεωπόνος-Ζιζανιολόγος του Εργαστηρίου Ολοκληρωμένης Αντιμετώπισης και Φυτορρυθμιστικών Ουσιών του Τμήματος Ζιζανιολογίας του Μπενακείου Φυτοπαθολογικού Ινστιτούτου, Αθήνα.
- Ποντίκης, Ι.Θ., Στιβανάκης, Β.Ε., Αγγελόπουλος, Γ.Ν., Μπουφούνος, Δ., Φαφούτης, Δ., Παπαγεωργίου, Δ. και Χανιωτάκης, Μ. 2003.** Χαρακτηρισμός αποξηραμένης Ερυθράς Ιλύος με στόχο την αξιοποίησή της. 4<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο Χημικής Μηχανικής 29/5-31/5/2003, Πάτρα. σελ: 1029-1032.
- Rombke, J. and Knacker, T. 2003.** Standardization of Terrestrial Ecotoxicological Effect Methods: An example of successful international co-operation. Journal of Soils and Sediments **3**: 237-238.
- Summers, R. 1994.** Red mud – Cutting pollution and boosting yields. W.A. Journal of Agriculture **35**: 55-59.
- Varnavas, S.P. and Papatheodorou, G. 1987.** Marine mineral resources in the eastern Mediterranean Sea. I. An iron-titanium-chromium and nickel deposit in the Gulf of Corinth, Greece. Marine Mining **6**: 37-70.

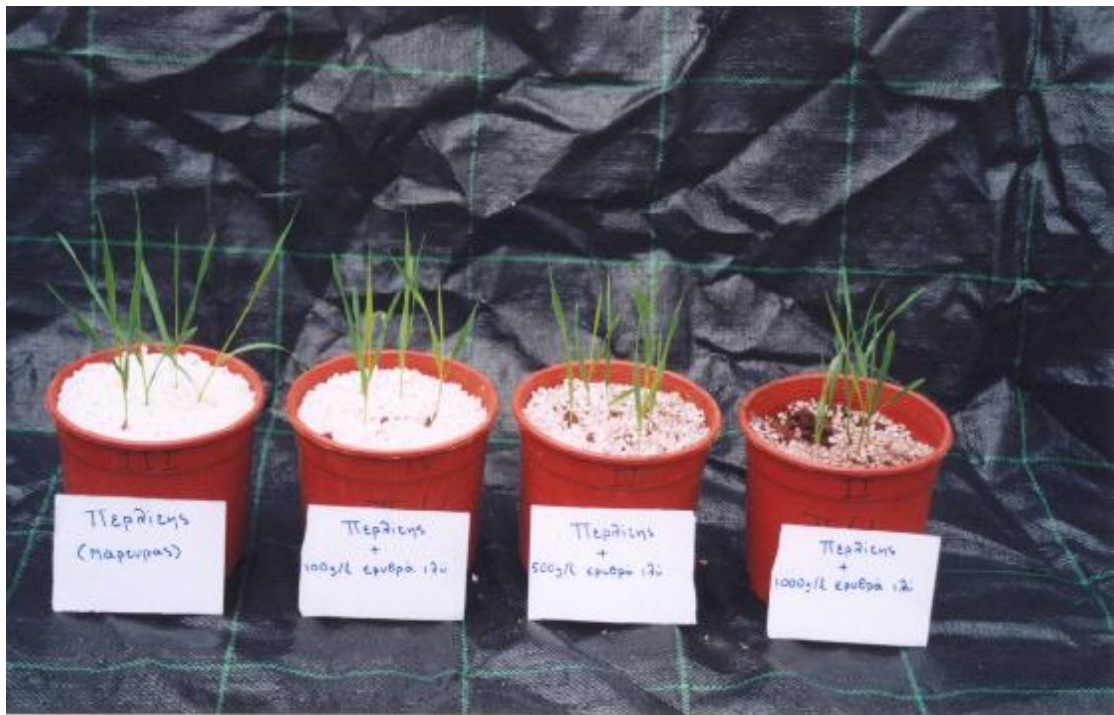
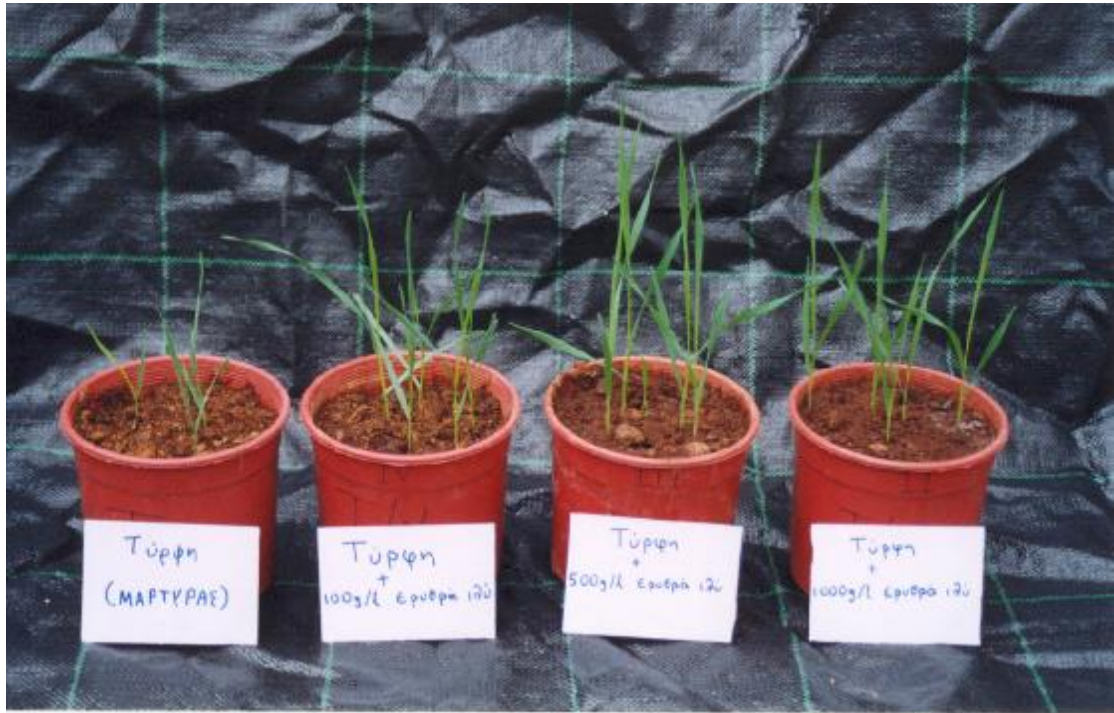
- Varnavas, S.P. and Achilleopoulos, P.P. 1995.** Factors controlling the vertical and spatial transport of metal-rich particulate matter in seawater at the outfall of bauxite red mud toxic waste. The Science of the Total Environment **175**: 199-205.
- Vassiliou, P. 1990.** Anticorrosive paints pigment by red mud residue. Technical Chronicles C. Greece **10**: 7-14.
- Ward, S.C. 1983.** Growth and fertilizer requirements of annual legumes on a sandy soil amended with fine residue from bauxite refining. Reclamation and Revegetation Research **2**: 177-190.
- Wong, J.W.C. and Ho, G.E. 1992.** Use of gypsum in the revegetation on red mud deposits: A greenhouse study. Waste Management and Research **11**:249-256.
- Wong, J.W.C. and Ho, G.E. 1995.** Cation exchange behaviour of bauxite refining residues from Western Australia. Journal of Environmental Quality **24**: 461-466.
- Zhang, Y., Qu, Y. and Wu, S. 2001.** Engineering geological properties and comprehensive utilization of the solid waste (red mud) in aluminium industry. Environmental Geology **41**: 249-256.
- <http://web.ead.anl.gov/ecorisk/methtool>
- <http://www.alunet.gr>
- <http://www.world-aluminium.org>

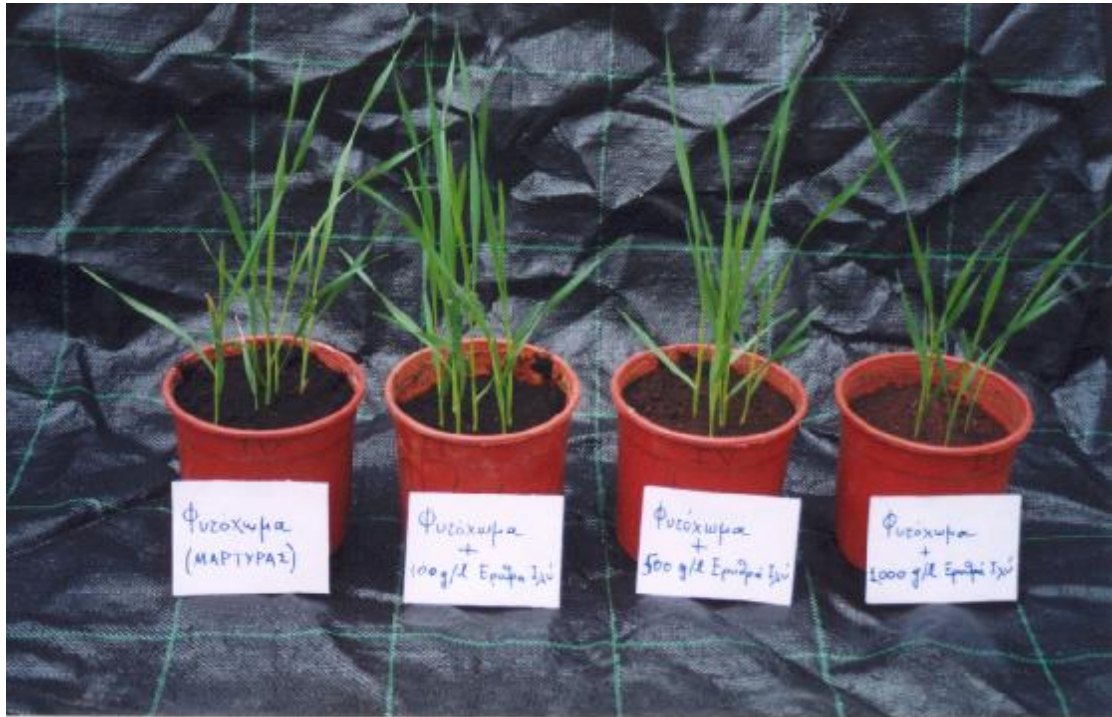
## ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΒΙΟΔΟΚΙΜΗΣ ΣΙΤΑΡΙΟΥ ΣΕ ΕΡΥΘΡΑ ΙΛΥ





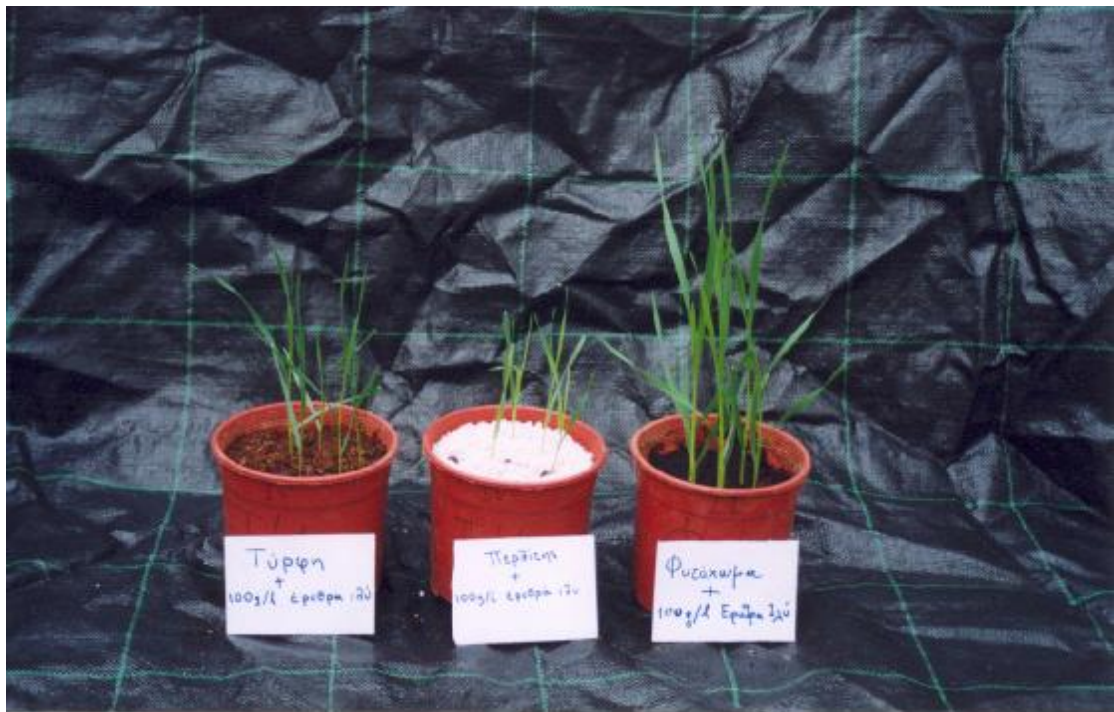
**Φωτογράφιση 24-2-2004.** Σύγκριση των τεσσάρων αναλογιών της ερυθράς ιλύος (μάρτυρας, 100 gr/l, 500 gr/l και 1000 gr/l) αναμεμιγμένη με υπόστρωμα φυτόχωμα, περλίτη και τύρφη.





**Φωτογράφιση 5-3-2004.** Σύγκριση των τεσσάρων αναλογιών της ερυθράς ιλύος (μάρτυρας, 100 gr/l, 500 gr/l και 1000 gr/l) αναμεμιγμένη με υπόστρωμα φυτόκωμα, περλίτη και τύρφη.







**Φωτογράφιση 5-3-2004.** Σύγκριση των τριών υποστρωμάτων (τύρφη, περγίτης και φυτόχωμα) σε σκέτο μάρτυρα, σε ποσότητα 100 gr, 500 gr και 1000 gr ερυθράς ιλύος αναμεμιγμένη με υπόστρωμα.

**ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΒΙΟΔΟΚΙΜΗΣ ΚΑΡΔΑΜΟΥ ΣΕ ΕΡΥΘΡΑ ΙΛΥ**







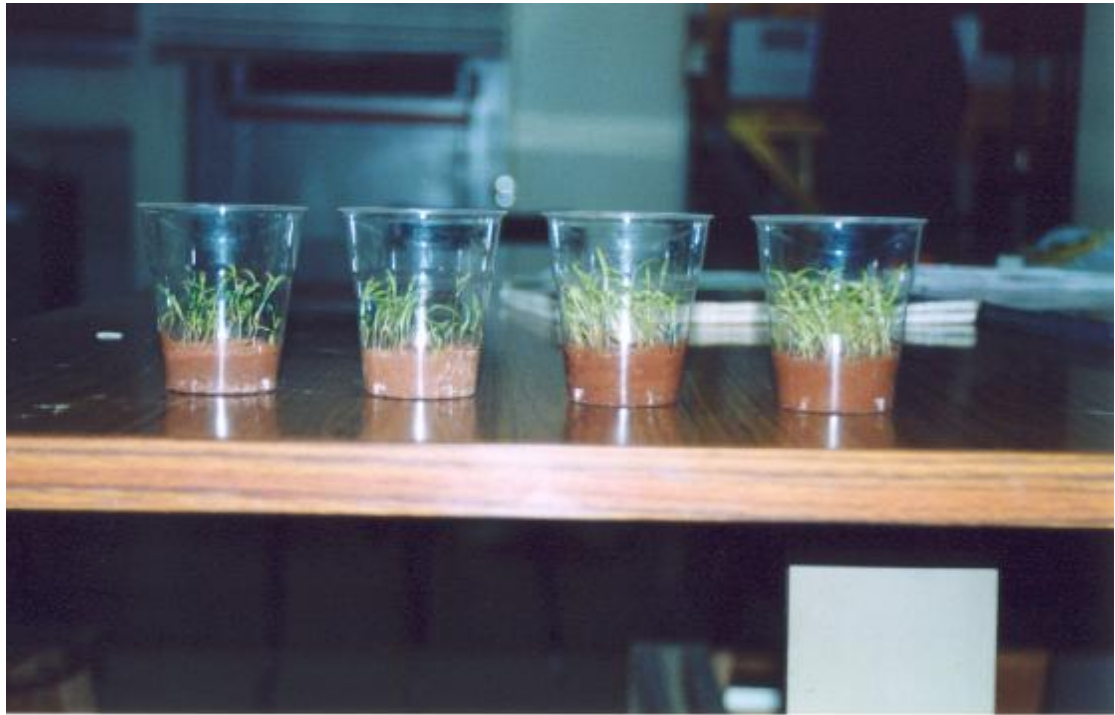




**Φωτογράφιση 31-10-2003.** Ανάπτυξη των φυτών καρδάμου 18 ημέρες μετά την φύτευσή τους σε υπόστρωμα περλίτη αναμεμιγμένο με ερυθρά ιλύ σε αναλογίες 5 gr ερυθράς ιλύος με 2 gr περλίτη και 11 gr ερυθράς ιλύος με 2 gr περλίτη.











**Φωτογράφιση 12-11-2003.** Ανάπτυξη των φυτών καρδάμου 28 ημέρες μετά την φύτευσή τους σε υπόστρωμα περλίτη αναμεμιγμένο με ερυθρά ιλύ σε αναλογίες 5 gr ερυθράς ιλύος με 2 gr περλίτη και 11 gr ερυθράς ιλύος με 2 gr περλίτη.