

ΑΓΡΟΤΗΣ



ΤΟ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ ΤΟΥ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑΣ, ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΕΥΧΟΣ 492

ΕΤΟΣ 80

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ-ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2024

www.agrokypros.gov.cy



Λιβάδια Ποσειδωνίας:
ένας θαλάσσιος θησαυρός



Γεωργικά μηχανήματα στις
αροτραίες καλλιέργειες



Κουμανδάρια: 800 χρόνια
από τη βράβευσή της
στη μεσαιωνική Γαλλία



Υποβοηθούμενη από κόμποστ αναγεννητική διαδικασία μεταλλευτικών απορριμμάτων

Δρ. Αναστάσης Χρίστου¹, Ευγενία Χαριλάου², Δρ. Ανδρέας Ζήσιμος³,
Δρ. Δαμιανός Νεοκλέους¹, Δρ. Παναγιώτης Ντάλιας¹, Δρ. Αντώνης Ζορπάς², Δρ. Μαρίνος Στυλιανού²

¹Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών, Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος

²Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

³Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος

Περίληψη

Η αναβλάστηση των ιδιαίτερα φυτοτοξικών σουλφιδικών μεταλλευτικών απορριμμάτων αποτελεί πρόκληση, η οποία συχνά μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την προσθήκη εδαφοβελτιωτικών. Η μελέτη αυτή αξιολόγησε τη χρήση πράσινου κόμποστ σε αυξανόμενες συγκεντρώσεις κατ' όγκο (0, 10, 25 και 50% v/v) για την αναβλάστηση εξαιρετικά όξινων σουλφιδικών μεταλλευτικών απορριμμάτων του μεταλλείου Βόρειου Μαθιάτη, στην Κύπρο, με τη χρήση φυτών μηδικής (*Medicago sativa* L.), υπό συνθήκες θερμοκηπίου. Η τροποποίηση των απορριμμάτων με την προσθήκη 50% (v/v) πράσινο κόμποστ είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών pH, της ικανότητας συγκράτησης νερού, του επιπέδου οργανικής ουσίας και του ρυθμού αναπνοής του εδάφους σε σύγκριση με τα άθικτα μεταλλευτικά απορρίμματα, γεγονός που με τη σειρά του διευκόλυνε την ανάπτυξη φυτών μηδικής καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (140 ημέρες).

Εισαγωγή

Οι περιοχές με μεταλλευτική δραστηριότητα έχουν αναδειχθεί σε σοβαρή πηγή περιβαλλοντικής ρύπανσης σε παγκόσμιο επίπεδο, με πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία¹. Οι άγονοι σωροί απορριμμάτων (συχνά χωρίς βλάστηση) συνήθως αφήνονται χωρίς καμία διαχείριση και συνεπώς υποβάλλονται σε συνεχή αιολική και υδάτινη διάβρωση, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη ρύπανση παρακείμενων περιβαλλοντικών μητρών (συμπεριλαμβανομένου του γεωργικού εδάφους, των υδάτινων πόρων, των ιζημάτων, των φυτών) με δυνητικά τοξικά στοιχεία (βαρέα μέταλλα)^{2,3}. Επιπλέον, η ακούσια έκθεση του ανθρώπου σε δυνητικά τοξικά στοιχεία μέσω της εισπνοής σκόνης απορριμμάτων, της δερματικής επαφής και της μόλυνσης της τροφικής αλυσίδας μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία (καρκινογόνες και μη καρκινογόνες επιδράσεις)⁴. Για τον σκοπό αυτό, η οικολογική αποκατάσταση των απορριμμάτων των ορυχείων μέσω διαφόρων επεξεργασιών, συμπεριλαμβανομένης της φυσικής σταθεροποίησης, της κάλυψης με βελτιωτικά ή αδρανή υλικά και της αναβλάστησης, είναι υψίστης σημασίας, καθώς μπορεί να περιορίσει αποτελεσματικά τη διασπορά της ρύπανσης⁵. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε πρόσφατα σχετική οδηγία (2006/21/EK3), η οποία προβλέπει ότι οι εξορυκτικές βιομηχανίες πρέπει να διαθέτουν σχέδιο κλεισίματος, συμπεριλαμβανομένης της αποκατάστασης των εγκαταστάσεων εξόρυξης, των διαδικασιών μετά το κλείσιμο και της παρακολούθησής⁶.

Η φυσική αναβλάστηση από αυτοφυή άγρια φυτά για τη φυτοσταθεροποίηση των μεταλλευτικών απορριμμάτων αναγνωρίζεται ως η πιο εφικτή και οικονομική επιλογή⁵. Ωστόσο, ταυτόχρονα αποτελεί ένα δύσκολο ή συχνά αδύνατο εγχείρημα, ακόμη και πολλά χρόνια μετά την εγκατάλειψη των μεταλλείων, λόγω πολλών περιοριστικών παραγόντων για την ανάπτυξη των φυτών⁵. Έτσι, μια σειρά

οργανικών πρόσθετων όπως το κόμποστ, ο βιοάνθρακας, η λυματολάσπη, ο ζεόλιθος και η κοπριά χρησιμοποιούνται συνήθως μεμονωμένα ή σε συνδυασμούς με στόχο την υποβοήθηση των σχεδίων αναβλάστησης⁵. Τέτοια οργανικά πρόσθετα έχουν αποδειχθεί ότι δημιουργούν ένα ευνοϊκότερο περιβάλλον για τη βλάστηση και την ανάπτυξη των φυτών μέσω της βελτίωσης της γονιμότητας του εδάφους/ απορριμμάτων, παρέχοντας και διατηρώντας θρεπτικά συστατικά και νερό, μειώνοντας την τοξικότητα των βαρέων μετάλλων, μετρίζοντας τα επίπεδα pH και αναβαθμίζοντας πολλές άλλες φυσικές (αερισμός), χημικές (αλκαλότητα, οργανική ύλη) και βιολογικές (εδαφική πανίδα και χλωρίδα, μικροβιακή κοινότητα) ιδιότητες του εδάφους⁷. Η επιλογή φυτικών ειδών που μπορούν να ανεχθούν τις δυσμενείς συνθήκες ανάπτυξης που επικρατούν στα μεταλλευτικά απορρίμματα (αυτόχθονα είδη άγριων φυτών, ψυχανθή) είναι επίσης ζωτικής σημασίας.

Σε ένα πρόσφατο ερευνητικό πρόγραμμα, το Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών, το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης του ΥΓΑΑΠ και το Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου αξιολογήσαν την υποβοηθούμενη με κόμποστ αποκατάσταση άγονων σουλφιδικών μεταλλευτικών απορριμμάτων με φύτευση φυτών μηδικής (*Medicago sativa* L.) σε ένα πείραμα θερμοκηπίου διάρκειας σχεδόν πέντε μηνών⁸.

Μεθοδολογία

Το μεταλλείο από το οποίο ελήφθησαν δειγματοληπτικά τα μεταλλευτικά απορρίμματα είναι αυτό του Βόρειου Μαθιάτη (34°26' N, 33°20'49.59" E) (Εικ. 1α). Η γεωλογία του μεταλλείου αποτελείται κυρίως από βασικά λαβές του οφιολίθου του Τροόδους. Η εξόρυξη στον Βόρειο Μαθιάτη σταμάτησε το 1987, αφήνοντας ένα βαθύ ανοικτό λάκκο που τώρα φιλοξενεί μια όξινη λίμνη (pH 2,93-3,04) (Εικ. 1β, γ, δ). Τα μεταλλευτικά απορρίμματα έχουν υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων (ιδίως As, Cu, Pb και Zn) και πολύ χαμηλές τιμές pH⁹. Δείγματα μεταλλευτικών απορριμμάτων συλλέχθηκαν από σημείο όπου δεν αναπτύχθηκε ούτε ένα φυτό μετά την παύση των εξορυκτικών δραστηριοτήτων, αντιπροσωπεύοντας το χειρότερο σενάριο για την αποκατάσταση τέτοιων απορριμμάτων (Εικ. 1ε).

Το κόμποστ που εφαρμόστηκε προήλθε αποκλειστικά από ανακτημένα υλικά φυτικής προέλευσης στην Κύπρο (γκαζόν, κλαδέματα κήπου και δέντρων και άλλα) και ήταν εμπορικά διαθέσιμο. Το κόμποστ είχε υψηλή περιεκτικότητα σε ολική οργανική ύλη (28,38% επί ξηρού) και αναλογία C/N (21/1). Το τυπικό γεωργικό επιφανειακό έδαφος (0-25 cm) λήφθηκε από αγροτεμάχιο του πειραματικού σταθμού του Ινστιτούτου Γεωργικών Ερευνών στη Λευκωσία και χρησιμοποιήθηκε ως θετικός μάρτυρας ελέγχου.

Πραγματοποιήθηκε πείραμα θερμοκηπίου, στο οποίο έγινε προσθήκη ή μη κόμποστ σε αυξανόμενες συγκεντρώσεις (0, 10, 25, 50% v/v) στα μεταλλευτικά απορρίμματα, και

έπειτα έγινε σπορά μηδικής (*Medicago sativa* L.). Σπόροι μηδικής φυτεύτηκαν επίσης σε γλάστρες που περιείχαν μόνο γεωργικό έδαφος, ενεργώντας ως εσωτερικός μάρτυρας θετικού ελέγχου για συγκριτικούς λόγους. Συνολικά, εφαρμόστηκαν πέντε μεταχειρίσεις ως εξής: 100% μεταλλευτικά απορρίμματα, (T100); 90/10% v/v μεταλλευτικά απορρίμματα /κόμποστ, (T90+C10); 75/25% v/v μεταλλευτικά απορρίμματα /κόμποστ, (T75+C25); 50/50% v/v μεταλλευτικά απορρίμματα /κόμποστ, (T50+C50); και 100% γεωργικό έδαφος που χρησίμευε ως θετικός μάρτυρας, (Control). Τα φυτά αναπτύχθηκαν μέχρι το στάδιο της σποροποίησης και το πείραμα είχε διάρκεια σχεδόν πέντε μήνες (140 ημέρες, από τα μέσα Ιανουαρίου έως τις αρχές Ιουνίου).

Οι αναλύσεις σε εδαφικά και φυτικά δείγματα περιγράφονται στην σχετική επιστημονική δημοσίευση (Christou et al., *J. Environ. Manage.*, 137, 119185, 2023)⁸.

Αποτελέσματα και συζήτηση

Τα μεταλλευτικά απορρίμματα ήταν πολύ όξινα (pH 2,69), με μέτρια περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα (EC 3,54 mS cm⁻¹) και ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC, 12,85 % v/v). Επιπλέον, το κόμποστ είχε αλκαλικό pH (8,6) και χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα (EC 1,86 mS cm⁻¹), ενώ το γεωργικό έδαφος που χρησιμοποιήθηκε ως εσωτερικός έλεγχος είχε ουδέτερη τιμή pH (6,83), χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC 2,01 mS cm⁻¹) και WHC (22,22 % v/v).

Η προσθήκη κόμποστ στα μεταλλευτικά απορρίμματα είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση του pH και του WHC του μίγματος απορριμμάτων /κόμποστ, με την αύξηση να συσχετίζεται θετικά με την ποσότητα κόμποστ που προστίθεται στο μίγμα. Η αύξηση της τιμής pH του μίγματος T50+C50 ήταν υπερδιπλάσια σε σύγκριση με εκείνη του αρνητικού μάρτυρα (μεταλλευτικό απόρριμμα), φθάνοντας σχεδόν τις τιμές που καταγράφηκαν στο γεωργικό έδαφος. Το μίγμα T50+C50 κατέγραψε επίσης περισσότερο από τρεις φορές αύξηση της τιμής WHC σε σύγκριση με εκείνη του μεταλλευτικού απορριμματος. Σημαντικές, αν και χαμηλότερες αυξήσεις (δοσοεξαρτώμενες) καταγράφηκαν στις μεταχειρίσεις T90+C10 και T75+C25.

Οι σπόροι μηδικής απέτυχαν να βλαστήσουν σε γλάστρες που περιείχαν αποκλειστικά μεταλλευτικά απορρίμματα (T100) ή μίγμα απορριμμάτων κόμποστ 90/10% (T90+C10) (Πίνακας 1). Ωστόσο, η τροποποίηση των μεταλλευτικών απορριμμάτων με προσθήκη 25% (v/v) κόμποστ (T75+C25) είχε ως αποτέλεσμα την άμβλυνση των φυτοτοξικών επιδράσεων των απορριμμάτων στη βλάστηση των σπόρων, καθώς περισσότεροι από τους μισούς σπόρους μηδικής (52,14%) βλάστησαν επιτυχώς. Η προσθήκη κόμποστ σε ποσοστά όγκου ίσου με τα μεταλλευτικά απορρίμματα (T50+Γ50) επέτρεψε τη βλάστηση της πλειονότητας των σπόρων (85%), με αποτέλεσμα τα ποσοστά βλαστικότητας να είναι παρόμοια με εκείνα που παρατηρούνταν στο γεωργικό έδαφος (90,83 %) (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Ποσοστά βλάστησης και παραγωγής βιομάζας των φυτών μηδικής στις υπό μελέτη μεταχειρίσεις.

	Ποσοστό βλάστησης (%)	Φρέσκο βάρος (g)	Ξηρό βάρος ουσίας (%)	Ποσοστό ξηράς (g)	Φρέσκο βάρος (g)	Ξηρό βάρος ουσίας (%)	Ποσοστό ξηράς (g)	Φρέσκο βάρος (g)	Ξηρό βάρος ουσίας (%)	Ποσοστό ξηράς
		60 μέρες από τη σπορά			105 μέρες από τη σπορά			140 μέρες από τη σπορά		
Control	90.83	0.48	0.10	20.82	4.94	0.92	18.62	9.9	2.17	21.46
T100	0.00	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
T90+C10	0.00	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
T75+C25	52.14	0.06	0.01	17.17	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
T50+C50	85.00	0.13	0.02	16.32	1.99	0.36	18.1	6.53	1.42	20.56

100% μεταλλευτικά απορρίμματα, (T100); 90/10% v/v μεταλλευτικά απορρίμματα /κόμποστ, (T90+C10) 75/25% v/v μεταλλευτικά απορρίμματα /κόμποστ, (T75+C25); 50/50% v/v μεταλλευτικά απορρίμματα /κόμποστ, (T50+C50); και 100% γεωργικό έδαφος που χρησίμευε ως θετικός μάρτυρας (Control).

Τα φυτά που βλάστησαν στα απορρίμματα στα οποία προστέθηκε ίσος όγκος κόμποστ (T50+C50) κατάφεραν να αναπτυχθούν και να ολοκληρώσουν τον κύκλο ζωής τους, καθώς καταφέρναι να παράγουν σπόρους, χωρίς σοβαρά συμπτώματα φυτοτοξικότητας (Εικ. 2). Ωστόσο, οι ρυθμοί παραγωγής βιομάζας αυτών των φυτών (επεξεργασία T50+C50) ήταν σημαντικά χαμηλότεροι σε σύγκριση με εκείνους των φυτών που καλλιεργούνταν στο γεωργικό έδαφος. Τα φυτά που βλάστησαν σε μεταλλευτικά απορρίμματα τροποποιημένα με προσθήκη κόμποστ 25% (v/v) (T75+C25) παρουσίασαν σοβαρά συμπτώματα φυτοτοξικότητας, με αποτέλεσμα την κατάρρευσή τους 70-75 ημέρες μετά την έναρξη του πειράματος (Εικ. 2).

Ο ρυθμός αναπνοής του εδάφους στα μεταλλευτικά απορρίμματα ήταν εξαιρετικά χαμηλός. Η προσθήκη κόμποστ

στα απορρίμματα αύξησε τη βιολογική δραστηριότητα στα μίγματα απορριμμάτων /κόμποστ με δοσοεξαρτώμενη απόκριση. Η αναπνοή του εδάφους στα απορρίμματα όπου προστέθηκε κόμποστ 50, 25 και 10% (v/v) ήταν 10, 4 και 2 φορές υψηλότερη σε σύγκριση με την αναπνοή στα μη διαταραγμένα απορρίμματα (T100) μετά από δύο εβδομάδες επώασης. Είναι ενδιαφέρον ότι η αναπνοή του εδάφους που καταγράφηκε στις επεξεργασίες T50+C50 και T75+C25 ήταν σημαντικά υψηλότερη ακόμη και σε σύγκριση με εκείνη του γεωργικού εδάφους.

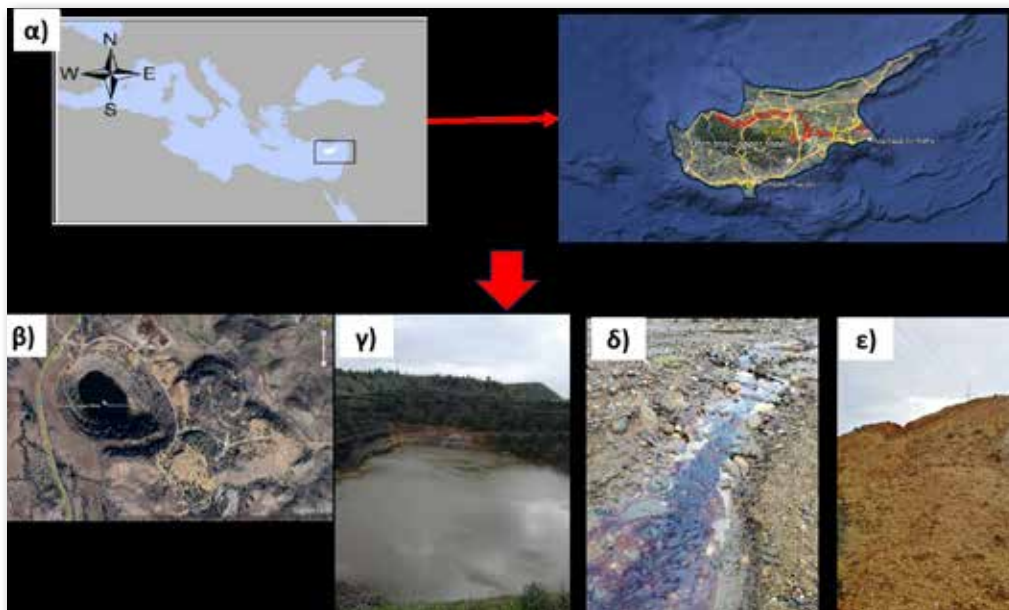
Συμπεράσματα

Η τροποποίηση των εξαιρετικά φυτοτοξικών σουλφιδικών απορριμμάτων με υψηλές δόσεις (50% v/v) κόμποστ πράσινων αποβλήτων μπορεί να βοηθήσει στην αναβλάστηση /αναγέννησή τους με φυτά μηδικής υπό πειραματικές

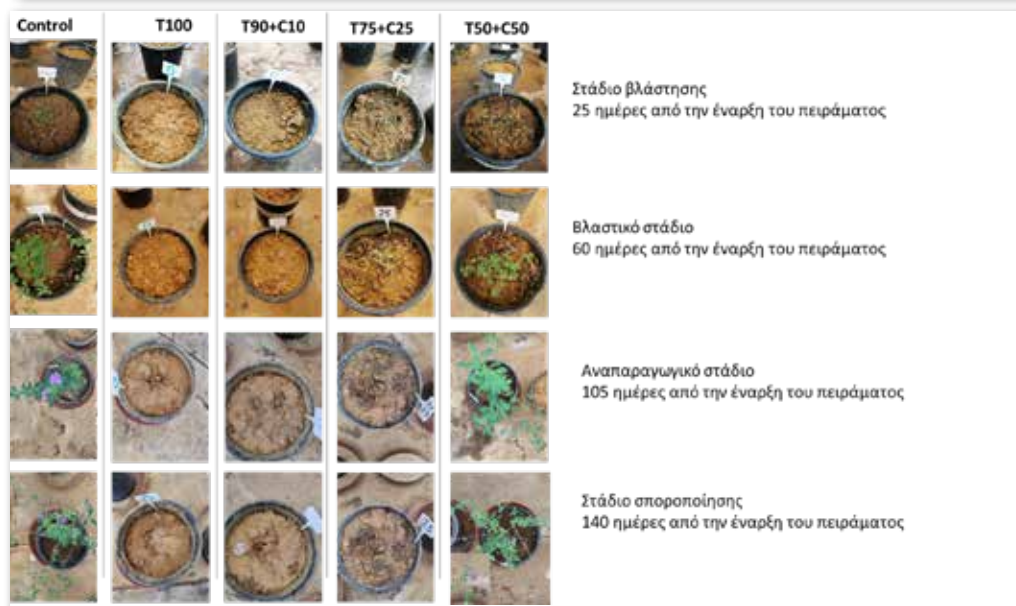
συνθήκες θερμοκηπίου. Τα φυτά είχαν αναπτυχθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα (140 ημέρες) υπό διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες. Η παραγωγή σπόρων δυνατόν να διευκολύνει τη μόνιμη επιτυχή αναβλάστηση αυτών των μεταλλευτικών απορριμμάτων.

Βιβλιογραφία

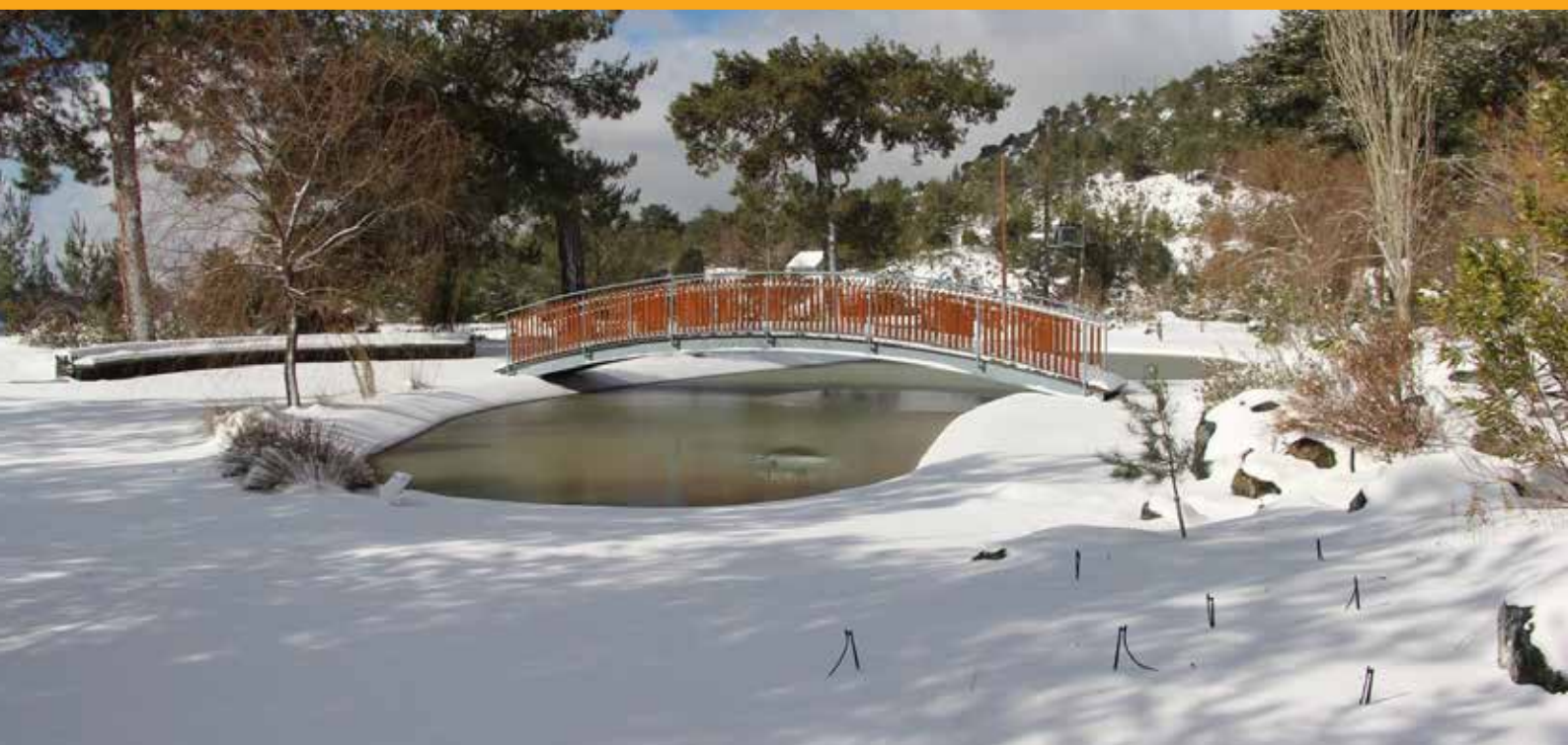
1. Wang, X. et al. Pedological characteristics of Mn mine tailings and metal accumulation by native plants. *Chemosphere* **72**, 1260-1266 (2008).
2. Christou, A., Theologides, C.P., Costa, C., Kalavrouziotis, I.K. & Varnavas, S.P. Assessment of toxic heavy metals concentrations in soils and wild and cultivated plant species in Limni abandoned copper mining site, Cyprus. *Journal of Geochemical Exploration* **178**, 16-22 (2017).
3. Hadjipanagiotou, C., Christou, A., Zissimos, A.M., Chatzitheodoridis, E. & Varnavas, S.P. Contamination of stream waters, sediments, and agricultural soil in the surroundings of an abandoned copper mine by potentially toxic elements and associated environmental and potential human health-derived risks: a case study from Agrokippia, Cyprus. *Environmental Science and Pollution Research* **27**, 41279-41298 (2020).
4. Kan, X., Dong, Y., Feng, L., Zhou, M. & Hou, H. Contamination and health risk assessment of heavy metals in China's lead-zinc mine tailings: A meta-analysis. *Chemosphere* **267**, 128909 (2021).
5. Sun, W. et al. An extensive review on restoration technologies for mining tailings. *Environmental Science and Pollution Research* **25**, 33911-33925 (2018).
6. European Commission. Guidelines for mine closure activities and calculation an periodic adjustment of financial guarantees (ed. Environment, D.-G.f.) (Publications Office, 2021).
7. Al-Lami, M.K., Oustriere, N., Gonzales, E. & Burken, J.G. Amendment-assisted revegetation of mine tailings: improvement of tailings quality and biomass production. *International journal of phytoremediation* **21**, 425-434 (2019).
8. Christou, A. et al. Compost-assisted revegetation of highly phytotoxic sulfidic tailings with *Medicago sativa* L. plants grown from the seed to seedpod stage under greenhouse experimental mesocosms conditions. *Journal of Environmental Management* **347**, 119185 (2023).
9. Hudson-Edwards, K. & Edwards, S. Mineralogical controls on storage of As, Cu, Pb and Zn at the abandoned Mathiatis massive sulphide mine, Cyprus. *Mineralogical Magazine* **69**, 695-706 (2005).



Εικόνα 1



Εικόνα 2



ΑΓΡΟΤΗΣ

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ, ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διαδικτυακή πύλη για την ενημέρωση του Αγρότη
www.agrokypros.gov.cy