

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

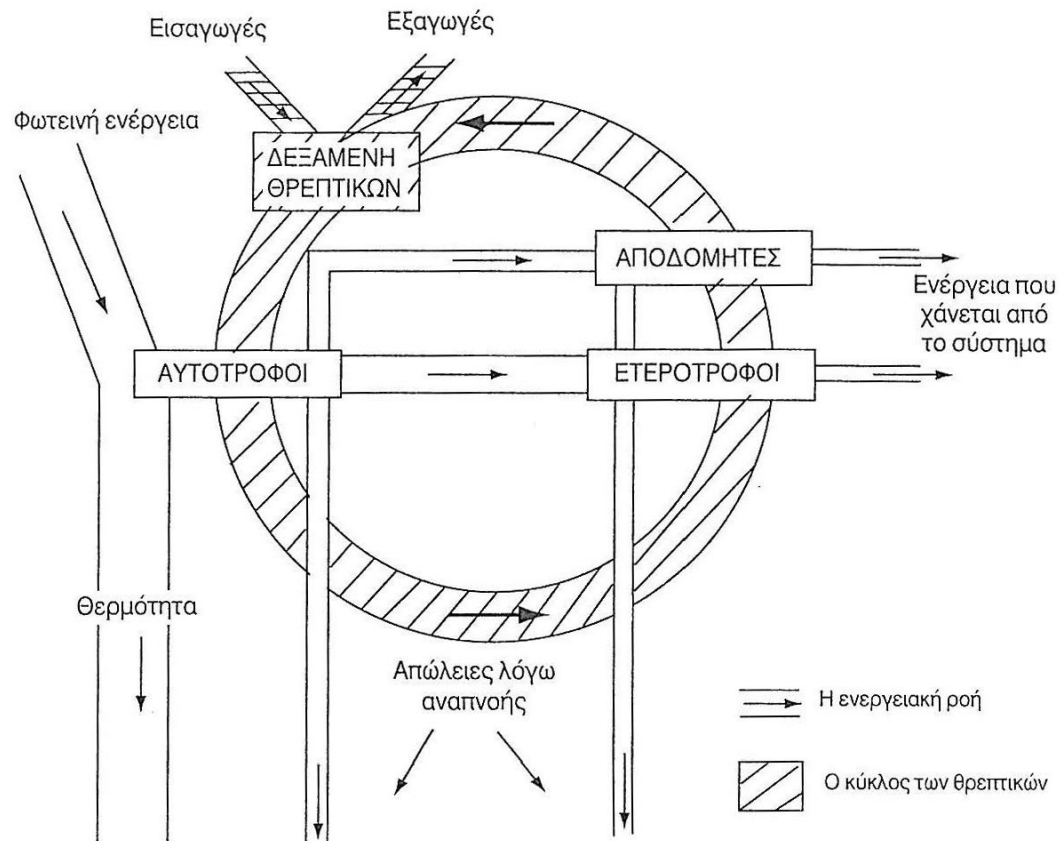
**ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ - ΒΙΟΓΕΩΧΗΜΙΚΟΙ ΚΥΚΛΟΙ -
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΟΥ ΚΑΠΑΡΗΣ**

Ανακύκλωση Θρεπτικών

Η ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΤΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ

- Η ροή της ενέργειας μέσα στα οικοσυστήματα έχει φορά μονόδρομη
- Αντίθετα, τα θρεπτικά τα οποία είναι αναγκαία για την παραγωγή της οργανικής ύλης, κυκλοφορούν μέσα στο σύστημα και ξαναχρησιμοποιούνται αρκετές φορές.
- Στα χερσαία οικοσυστήματα, τα θρεπτικά συνήθως απελευθερώνονται στο έδαφος.

Ανακύκλωση Θρεπτικών



Σχ. 6. Ένας βιογεωχημικός κύκλος (ο γραμμιοσκιασμένος κυκλικός δακτύλιος) επάνω σε ένα απλοποιημένο διάγραμμα ενεργειακής ροής.

Ανακύκλωση Θρεπτικών

Τα θρεπτικά μπορούμε να τα κατατάξουμε σε δύο κύριες ομάδες:

- (α') *Μακροθρεπτικά*. Είναι τα θρεπτικά που οι οργανισμοί τα χρειάζονται σε μεγάλες ποσότητες και παίζουν κύριο ρόλο στη δημιουργία του πρωτοπλάσματος (ζώσα ύλη).
- (β') *Μικροθρεπτικά ή ιχνοστοιχεία*. Είναι στοιχεία απαραίτητα για τη ζωή, που, όμως, οι οργανισμοί τα χρειάζονται σε πολύ μικρές ποσότητες.

Ανακύκλωση Θρεπτικών

Η σχετική αφθονία των θρεπτικών στους οργανισμούς.

- *Ποσότητες που βρίσκονται στη βιομάζα.*
- Ποσότητες που προσλαμβάνονται από τους οργανισμούς
- Επιλεκτικός χημικός εμπλουτισμός

Ανακύκλωση Θρεπτικών

Η χρήση των μακροθρεπτικών.

- Τα τρία βασικά μακροθρεπτικά (άνθρακας, υδρογόνο και οξυγόνο) αποτελούν τα σημαντικότερα συστατικά στοιχεία στα **λίπη** και στους **υδατάνθρακες** και βοηθούν στο σχηματισμό της βασικής κυτταρικής δομής των φυτών και των ζώων.
- Η προσθήκη του φωσφόρου στα τέσσερα αυτά στοιχεία παρέχει τα βασικά δομικά συστατικά για το σχηματισμό των **νουκλεϊκών οξέων** τα οποία με τη σειρά τους σχηματίζουν το γενετικό προσχέδιο των κυττάρων.

Ανακύκλωση Θρεπτικών

Μη-βασικά στοιχεία.

- Πολλά στοιχεία, χωρίς καμία, γνωστή τουλάχιστον, βιολογική λειτουργία κυκλοφορούν ανάμεσα στα βιοτικά και στα αβιοτικά στοιχεία των οικοσυστημάτων.
- Μεγάλες ποσότητες ορυκτών, όπως το πυρίτιο, για παράδειγμα, μπαίνουν και βγαίνουν στο αβιοτικό περιβάλλον. Τα μη-βασικά αυτά στοιχεία, κυκλοφορούν ως αποτέλεσμα της αδιάκριτης απορρόφησης των στοιχείων από τα φυτά.
- Το παραπάνω χαρακτηριστικό μπορεί να έχει μεγάλη οικολογική σημασία στην περίπτωση που αυτά τα στοιχεία απαντώνται σε ποσότητες που είναι χημικά τοξικές ή αν αντιδρούν χημικά στο έδαφος με τρόπο που μπορεί να καταστήσει τα βασικά στοιχεία μη διαθέσιμα για τα φυτά.

Ανακύκλωση Θρεπτικών

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΒΙΟΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΝ

- Η λειτουργία όλων των οικοσυστημάτων εξαρτάται από την κυκλοφορία των θρεπτικών.
- Χωρίς αυτήν, όλες οι διαθέσιμες προμήθειες εξαντλούνται και η ανάπτυξη περιορίζεται.
- Παρά τη σημασία του γεγονότος αυτού, η μελέτη του τρόπου της ανακύκλωσης των θρεπτικών ήταν πολύ περιορισμένη μέχρι τη δεκαετία του '30.
- Σήμερα, ωστόσο, οι βασικοί οδοί και οι κύριοι μηχανισμοί των περισσότερων κύκλων έχουν αποσαφηνιστεί.

Ανακύκλωση Θρεπτικών

Βασικά χαρακτηριστικά των βιογεωχημικών κύκλων.

- Οι κύκλοι των θρεπτικών σε κλίμακα πλανήτη είναι γνωστοί ως βιογεωχημικοί κύκλοι. Σε όλους τους βιογεωχημικούς κύκλους εμπλέκονται αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στο έδαφος και στην ατμόσφαιρα.

- Οι ανταλλαγές θρεπτικών στους κύκλους απαιτούν την παρουσία μεγάλης ποικιλίας ζωντανών οργανισμών που οι διαδικασίες της γέννησης, της ανάπτυξης και του θανάτου τους, υποβοηθούν στη διακίνηση των θρεπτικών μέσα στα οικοσυστήματα

Ανακύκλωση Θρεπτικών

Η σταθερότητα των βιογεωχημικών κύκλων.

Οι κύκλοι διαφέρουν στο βαθμό ανταλλαγής των στοιχείων μεταξύ των αβιοτικών και των βιοτικών μερών του οικοσυστήματος.

- (α') Οι περισσότεροι αέριοι κύκλοι, όπως αυτοί του άνθρακα, του οξυγόνου και του υδρογόνου, αυτορρυθμίζονται σε περίπτωση τοπικής μεταβολής, εξαιτίας της μεγάλης ατμοσφαιρικής δεξαμενής αποθήκευσης, που διαθέτουν.
- (β') Οι ιζηματογενείς κύκλοι, όπως αυτοί του φωσφόρου και του θείου, είναι λιγότερο πλήρεις και διαταράσσονται ευκολότερα από δράσεις τοπικού χαρακτήρα.

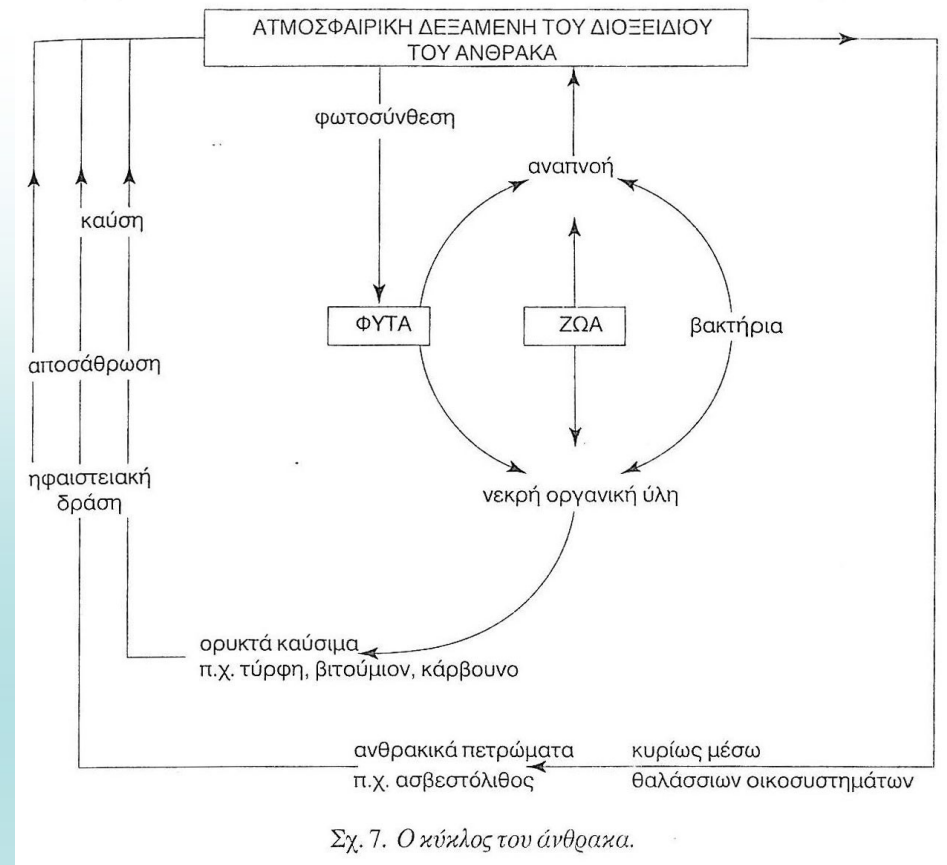
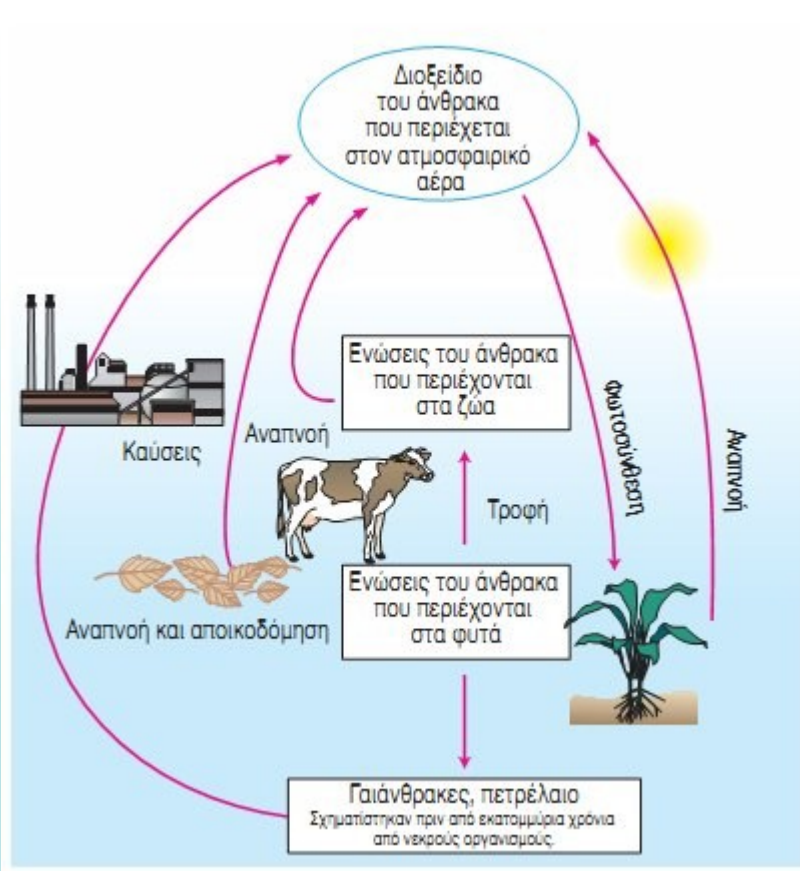
Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ρυθμοί ανακύκλωσης των θρεπτικών. Ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό και χωρικά και χρονικά. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό ανακύκλωσης είναι οι ακόλουθοι:

- (α') *Η φύση του στοιχείου.*
- (β') *Ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών και των ζώων.*
- (γ') *Ο ρυθμός αποσύνθεσης της οργανικής ύλης.*
- (δ') *Οι ανθρώπινες δραστηριότητες.*

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ



Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

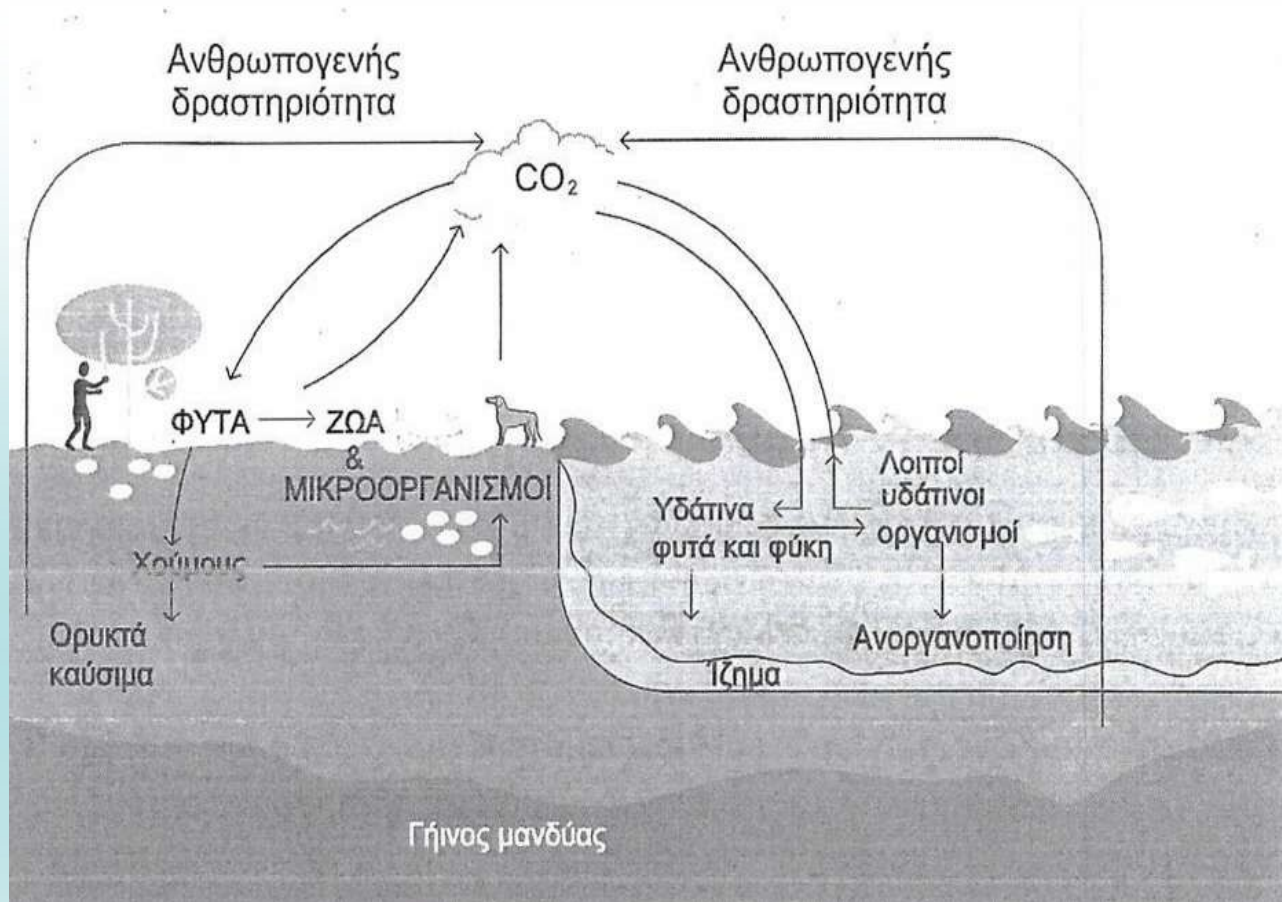
- Σε παγκόσμια κλίμακα, ο άνθρακας ανακυκλώνεται μέσω όλων των μεγάλων αποθηκών του πλανήτη
 - ❖ της ατμόσφαιρας,
 - ❖ του εδάφους,
 - ❖ των ωκεανών και των άλλων υδάτινων οικοσυστημάτων,
 - ❖ καθώς και των ιζημάτων και πετρωμάτων.
- Αν και η πλειονότητα του άνθρακα ευρίσκεται σε ιζήματα καθώς και σε πετρώματα του φλοιού της Γης, η διαθεσιμότητα των αποθεμάτων αυτών στους μ.ο. είναι αμελητέα.

Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

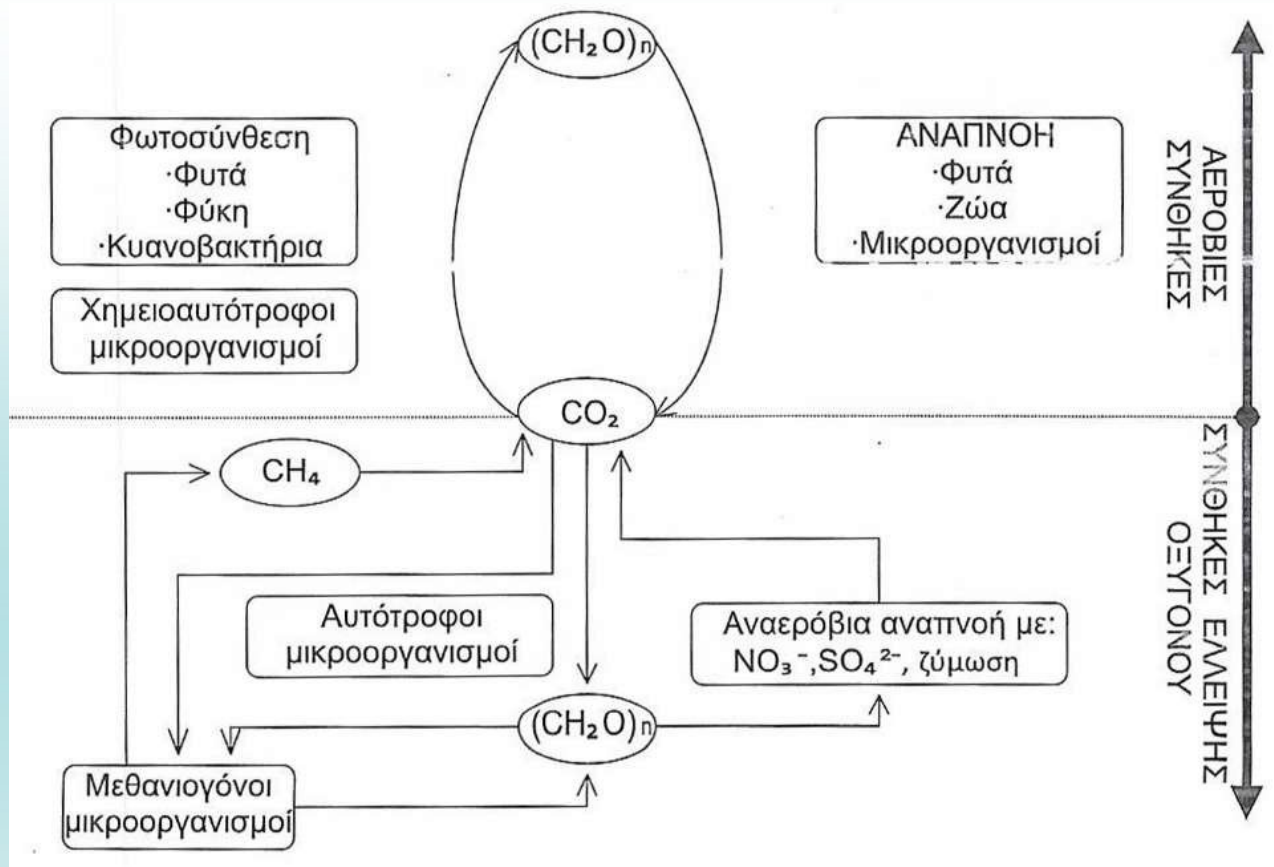
- Όσον αφορά στους ζώντες οργανισμούς, ένα μεγάλο μέρος του οργανικού άνθρακα που χρησιμοποιούν βρίσκεται στα χερσαία φυτά.
- Εντούτοις, ένα μεγαλύτερο μέρος αυτού βρίσκεται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους και αποτελείται από νεκρή οργανική ύλη που υποβάλλεται σε συνεχείς διεργασίες αποσύνθεσης, γνωστή ως χούμος
- Ο εδαφικός χούμος είναι ένα σύνθετο μίγμα οργανικών υλικών που προκύπτει από τη βραδεία αποσύνθεση που προκαλούν οι οργανισμοί του εδάφους και τα φυτά.

Ανακύκλωση Θρεπτικών Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ



Ο κύκλος του άνθρακα

Ανακύκλωση Θρεπτικών Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ



Ο οξειδοαναγωγικός κύκλος του άνθρακα

Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

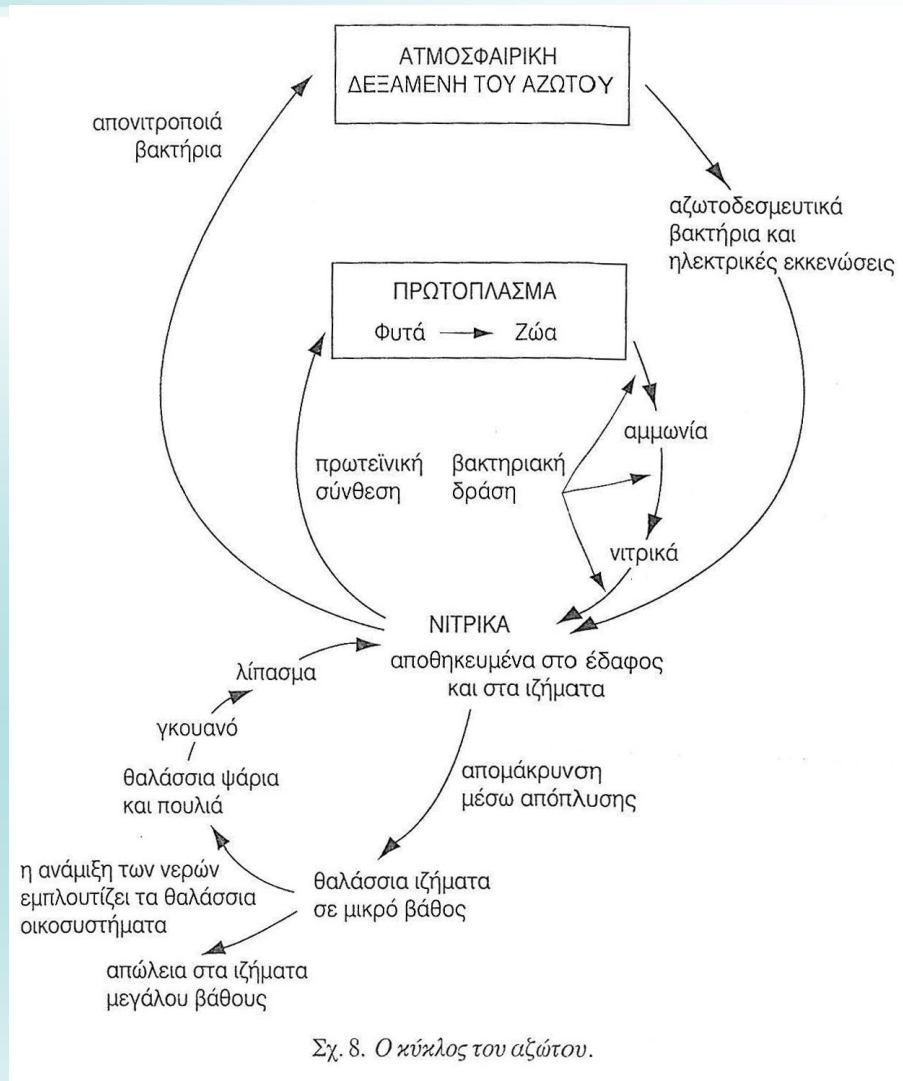
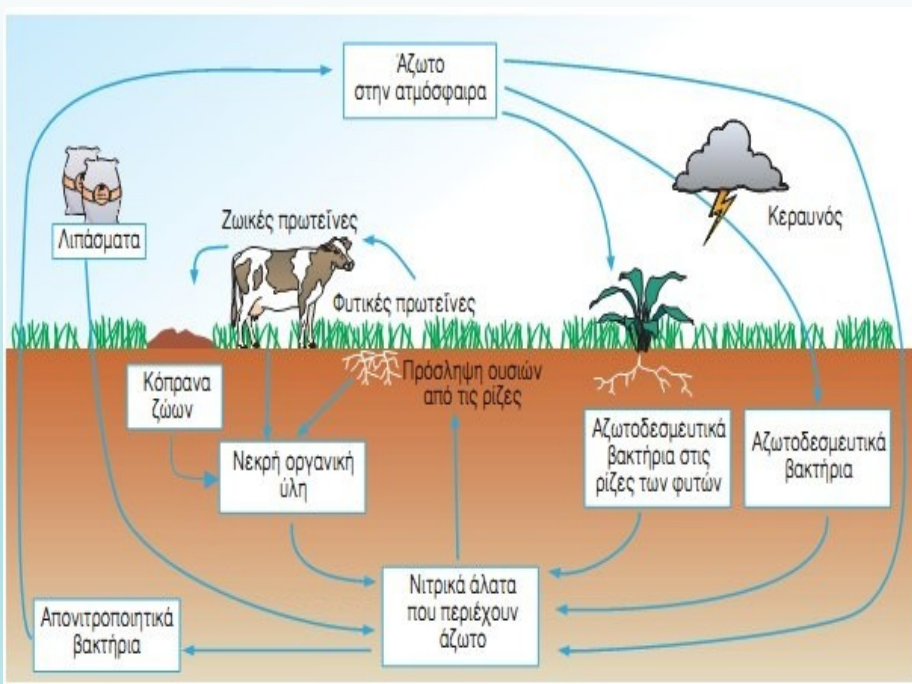
- (α') Πρόσληψη του CO_2 από τα φυτά.
- (β') Η διέλευση του άνθρακα από τις τροφικές αλυσίδες.
- (γ') Νεκρή οργανική ύλη.
- (δ') Ορυκτά καύσιμα.
- (ε') Ανταλλαγή μεταξύ ατμόσφαιρας και θάλασσας.
- (στ') Ηφαιστειακή δράση.

Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

- Το άζωτο απαιτείται από όλους του οργανισμούς για τη σύνθεση
 - ❖ Πρωτεϊνών
 - ❖ Νουκλεοτιδίων
 - ❖ Συνολικά αζωτούχων ενώσεων
- Ωστόσο, κανένα ευκαρυωτικό κύτταρο δεν είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει το μοριακό άζωτο N_2
- Από θερμοδυναμικής άποψης το μοριακό άζωτο ($N \equiv N$) αποτελεί την πιο σταθερή μορφή αζώτου και απαιτείται υψηλή ενέργεια για τη διάσπαση του τριπλού δεσμού του.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών



Σχ. 8. Ο κύκλος του αζώτου.

Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

- Τα συμβιωτικά αζωτοδεσμευτικά βακτήρια παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών.

- Μέλη των γενών

 - ❖ *Rhizobium*,

 - ❖ *Bradyrhizobium* και

 - ❖ *Frankia*

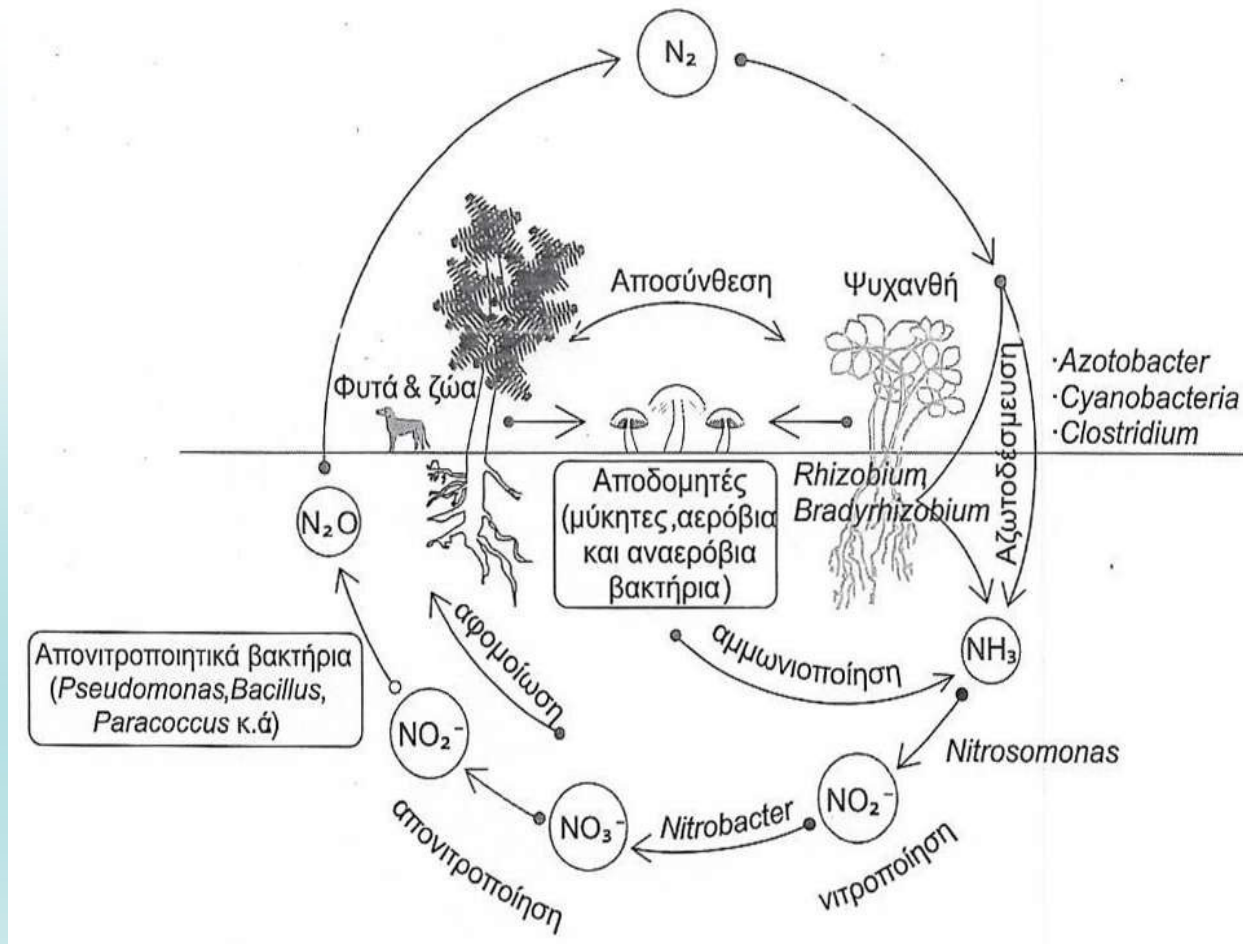
συμβιώνουν στο ριζικό σύστημα των ψυχανθών (π.χ. σόγια, φασόλια, κουκιά) σε επιφανειακές διογκώσεις των ριζών που ονομάζονται φυμάτια.

Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

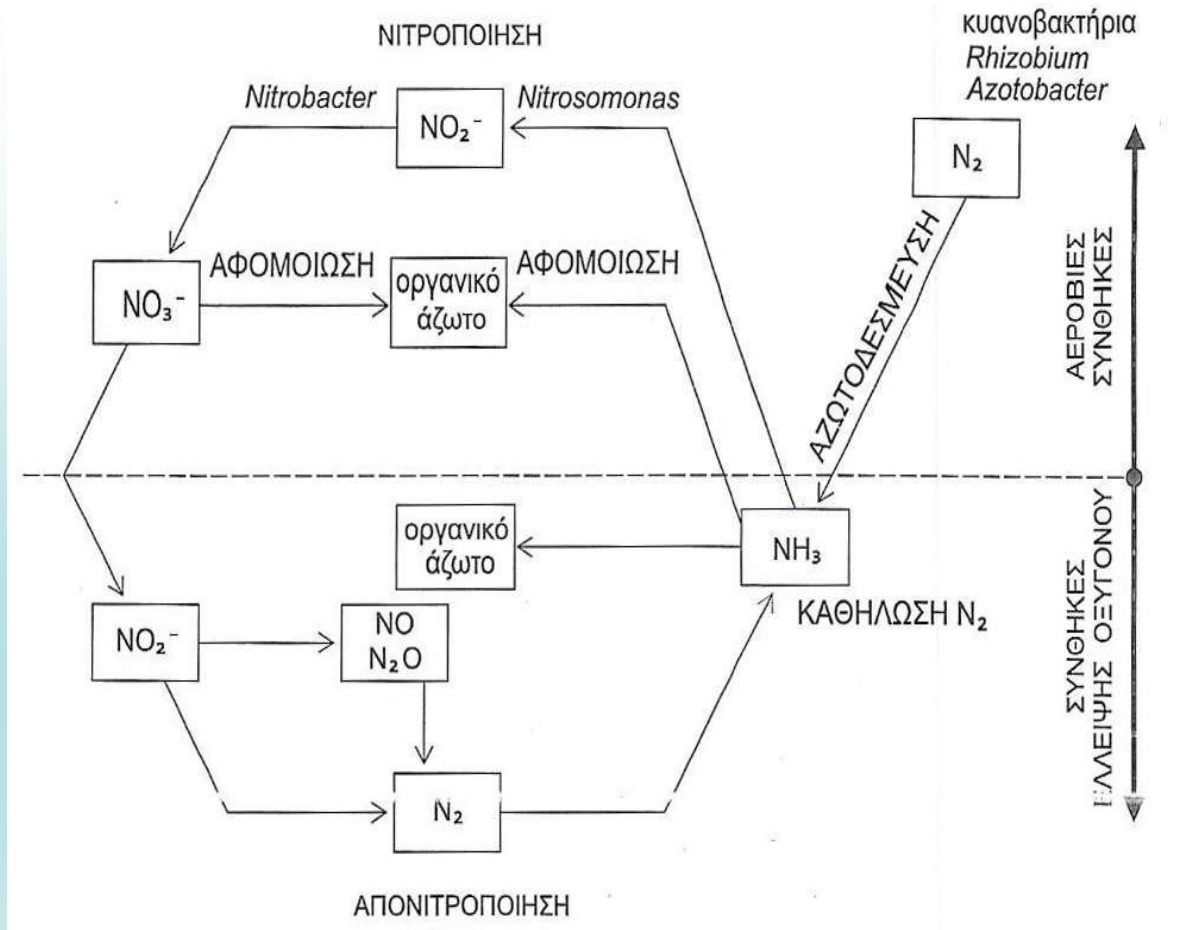
- (α') Μετατροπή του ατμοσφαιρικού αζώτου σε νιτρικά άλατα.
- (β') Η διέλευση των νιτρικών μέσα από τις τροφικές αλυσίδες.
- (γ') Η μετατροπή των πρωτεϊνών σε νιτρικά μέσα στο έδαφος.
- (δ') Η μετατροπή των νιτρικών αλάτων σε ατμοσφαιρικό άζωτο.
- (ε') Η απομάκρυνση των νιτρικών του εδάφους μέσω της απόπλυσης.

Ανακύκλωση Θρεπτικών



Ο κύκλος του άνθρακα

Ανακύκλωση Θρεπτικών



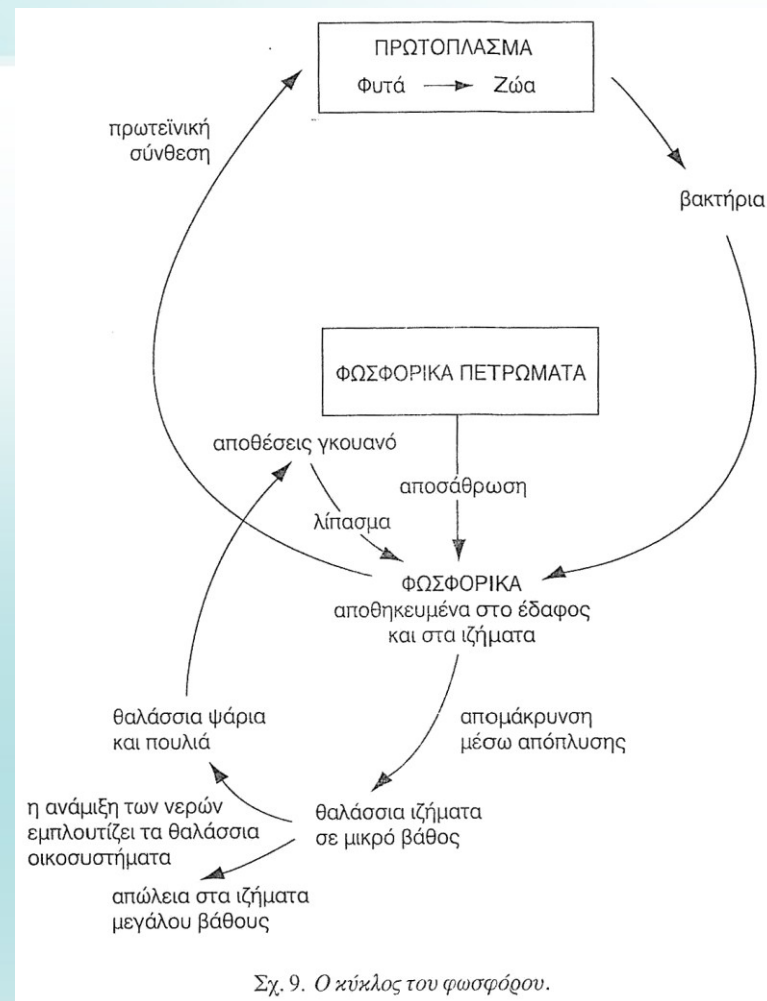
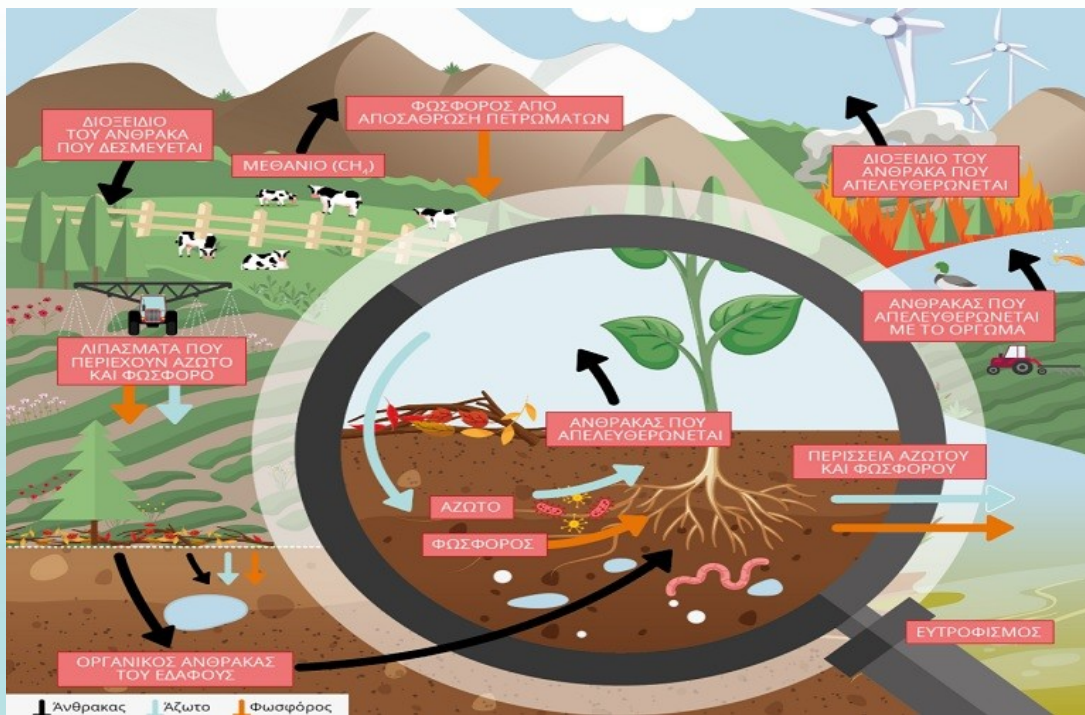
Ο οξειδοαναγωγικός κύκλος του αζώτου

Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

- Αποτελεί παράδειγμα απλού ιζηματογενούς κύκλου που διαταράσσεται εύκολα.
- Δεν υπάρχει αέρια φάση.
- Ο φώσφορος βρίσκεται στη φύση με τη μορφή φωσφορικών αλάτων.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών



Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

- (α') Η διέλευση των φωσφορικών αλάτων του εδάφους μέσα από τις τροφικές αλυσίδες.
- (β') Η απόπλυση των φωσφορικών από το έδαφος.
- (γ') Η απελευθέρωση των φωσφορικών από τα πετρώματα.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ



Ανακύκλωση Θρεπτικών

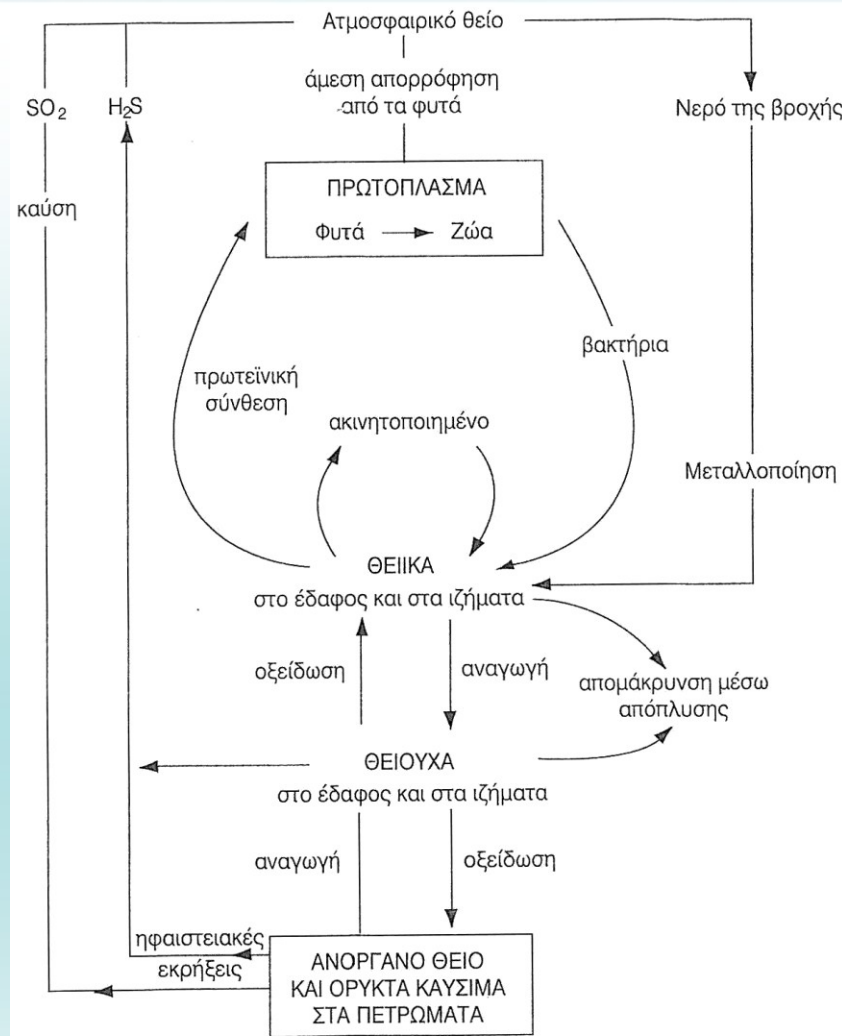
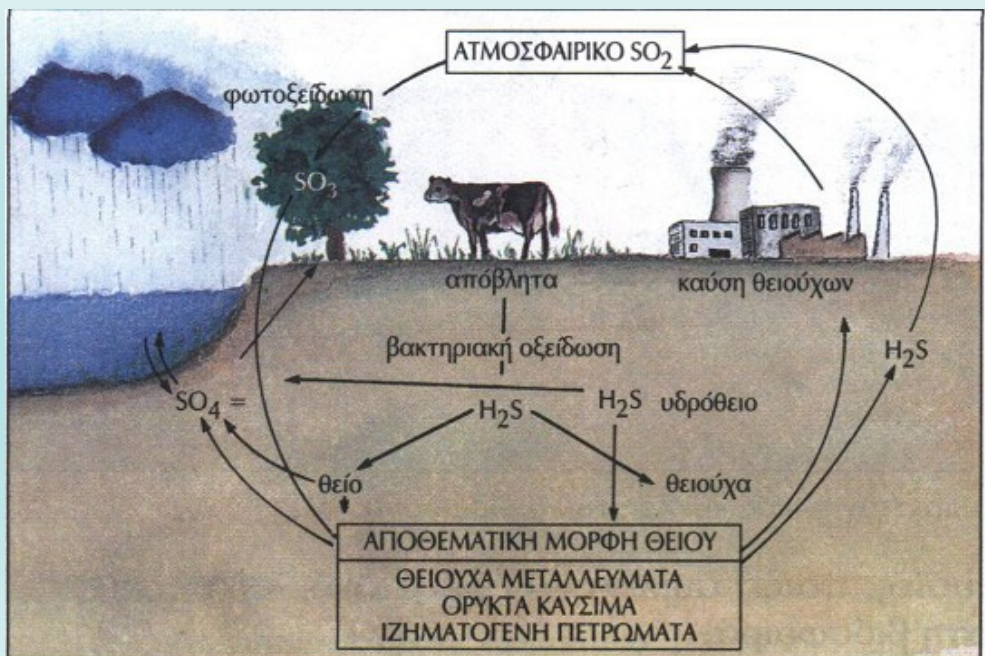
Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ

- Αποτελεί ένα ακόμα παράδειγμα ιζηματογενούς κύκλου.
- Σε αντίθεση με τον κύκλο του φωσφόρου εδώ παρατηρείται ατμοσφαιρική φάση.
- Το θείο δεν είναι απαραίτητο για τα οικοσυστήματα σε ποσότητες ανάλογες με αυτές του άνθρακα, του αζώτου ή του φωσφόρου, ούτε αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των οργανισμών.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

- (α') Η διέλευση των θειϊκών από τις τροφικές αλυσίδες

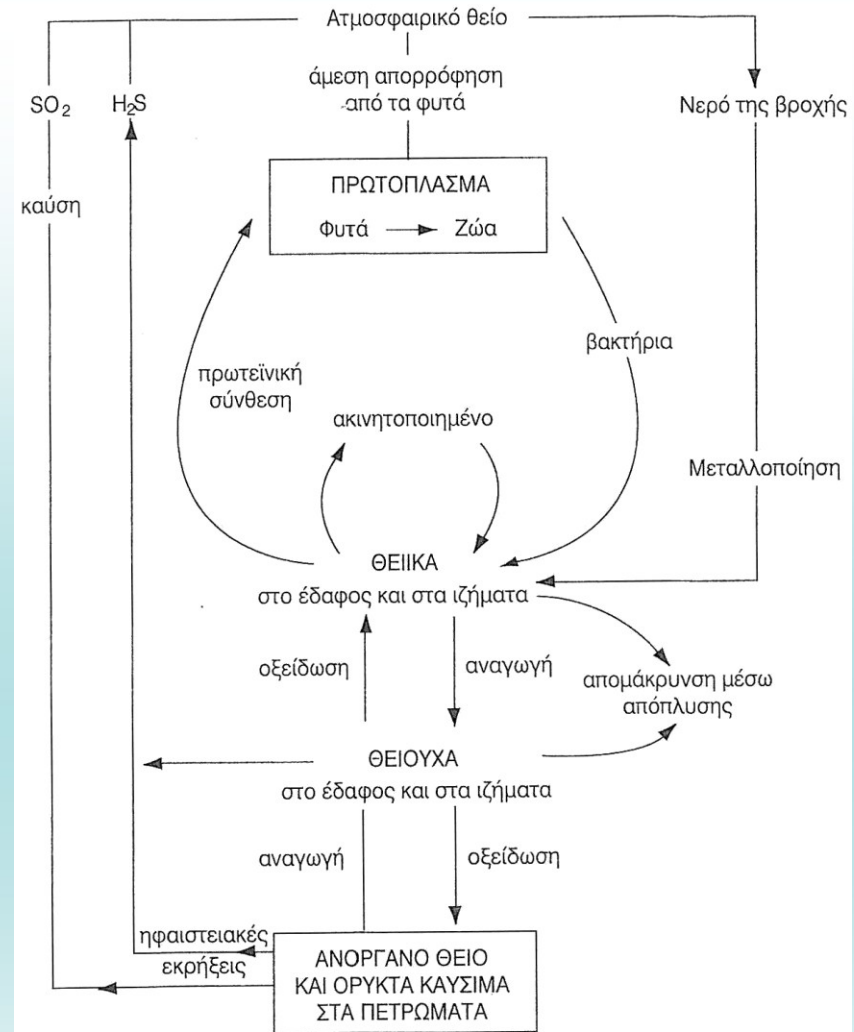
Για ποιο λόγο το θείο είναι απαραίτητο για τους οργανισμούς....



Σχ. 10. Ο κύκλος του θείου.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

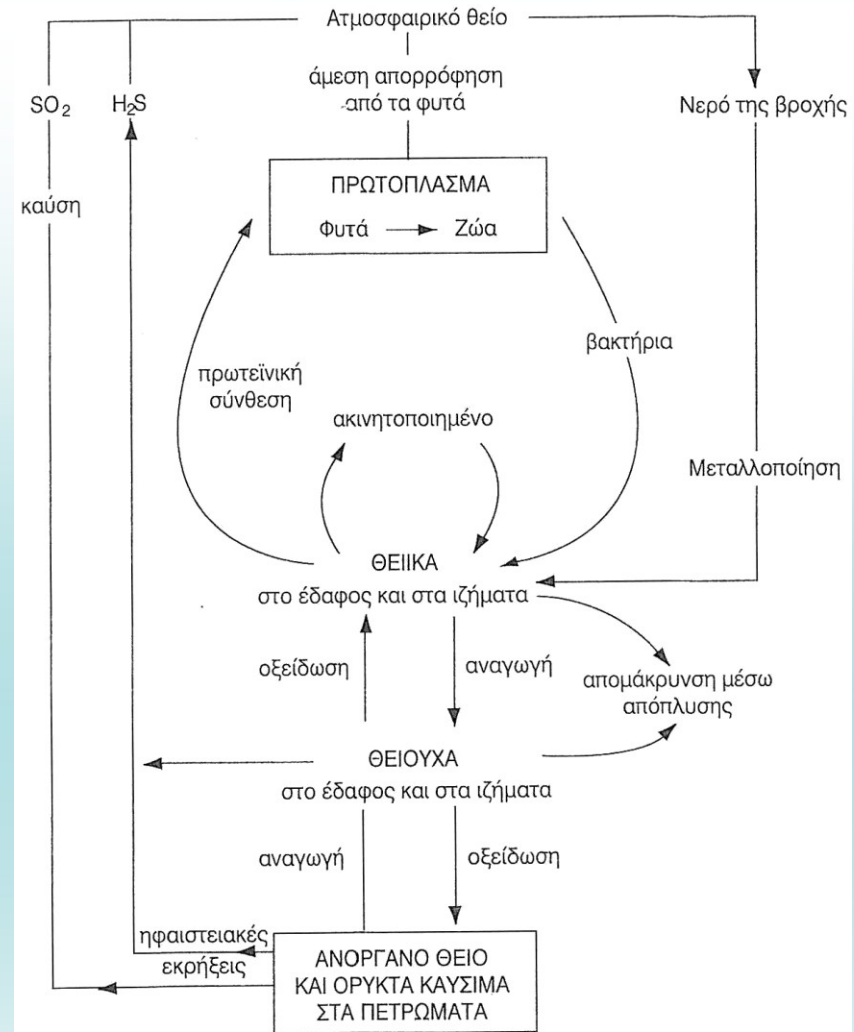
- (β') Απώλεια των θειικών από το έδαφος.



Σχ. 10. Ο κύκλος του θείου.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

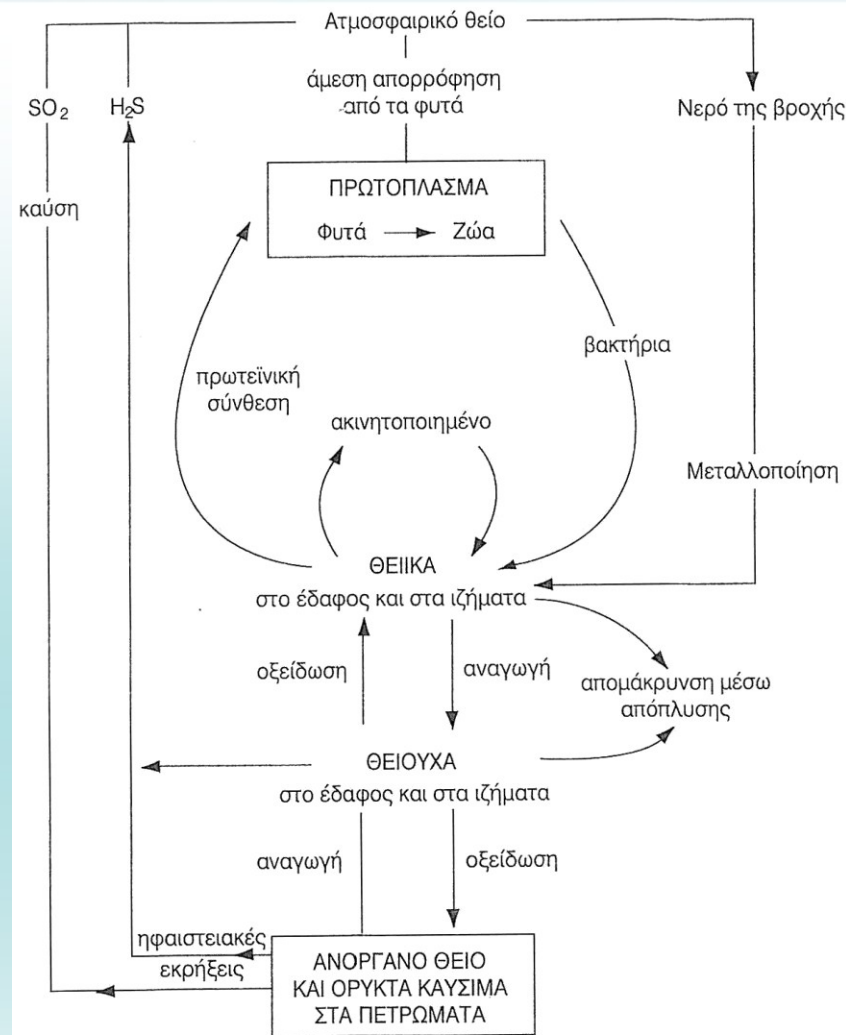
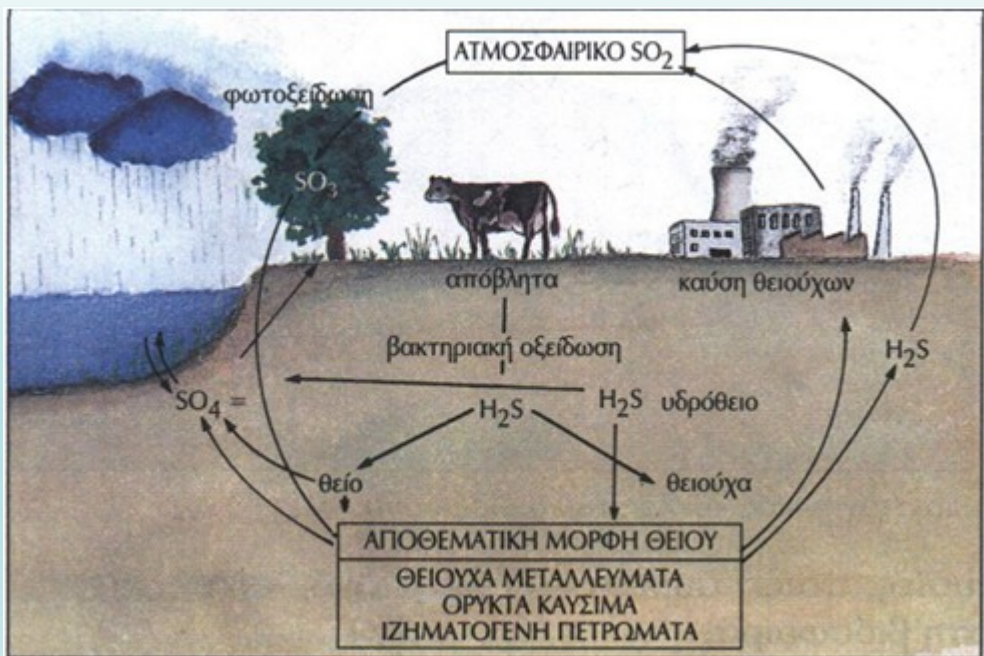
- (γ') Το απόθεμα θειικών στα πετρώματα.



Σχ. 10. Ο κύκλος του θείου.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

- (δ') Η ατμοσφαιρική φάση



Σχ. 10. Ο κύκλος του θείου.

Όρος (OMICS)	Χαρακτηριστικά
Γονιδιωματική (Genomics)	Ανάλυση της περιεκτικότητας σε γονίδια ενός οργανισμού με αλληλούχιση και χαρτογράφηση γονιδιωμάτων (χρωμοσώματα ευκαρυωτικών ή νουκλεοειδών σε προκαρυωτικά)
Μεταγονιδιωματική (Metagenomics)	Ανάλυση γονιδιακής περιεκτικότητας όλων των οργανισμών σε συγκεκριμένο περιβάλλον
Μεταγραφωματική (Transcriptomics)	Αξιολόγηση της παραγωγής mRNA που παράγεται σε συγκεκριμένο χρόνο από έναν απομονωμένο οργανισμό
Πρωτεομική (Proteomics)	Μελέτη πρωτεϊνικής δομής και πρωτεϊνικής ρύθμισης ενός οργανισμού
Μεταβολομική (Metabionics)	Μελέτη παραγόμενων μικρών μορίων και ενδιάμεσων ενώσεων από μεταβολισμό. Συχνά αυτό περιλαμβάνει τα τελικά προϊόντα του μεταβολισμού
Μεταλλομική (Metallomics)	Μελέτη μεταλλικών ιόντων και των δραστηριοτήτων τους σε βιολογικό κύτταρο. (Ένωση βιομετάλλων και συμπλεγμάτων αυτών με πρωτεΐνες)
Μικροβιομική (Microbiomics)	Μελέτη που περιλαμβάνει όλους τους μικροοργανισμούς και τις αλληλεπιδράσεις τους με το άμεσο περιβάλλον

Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης

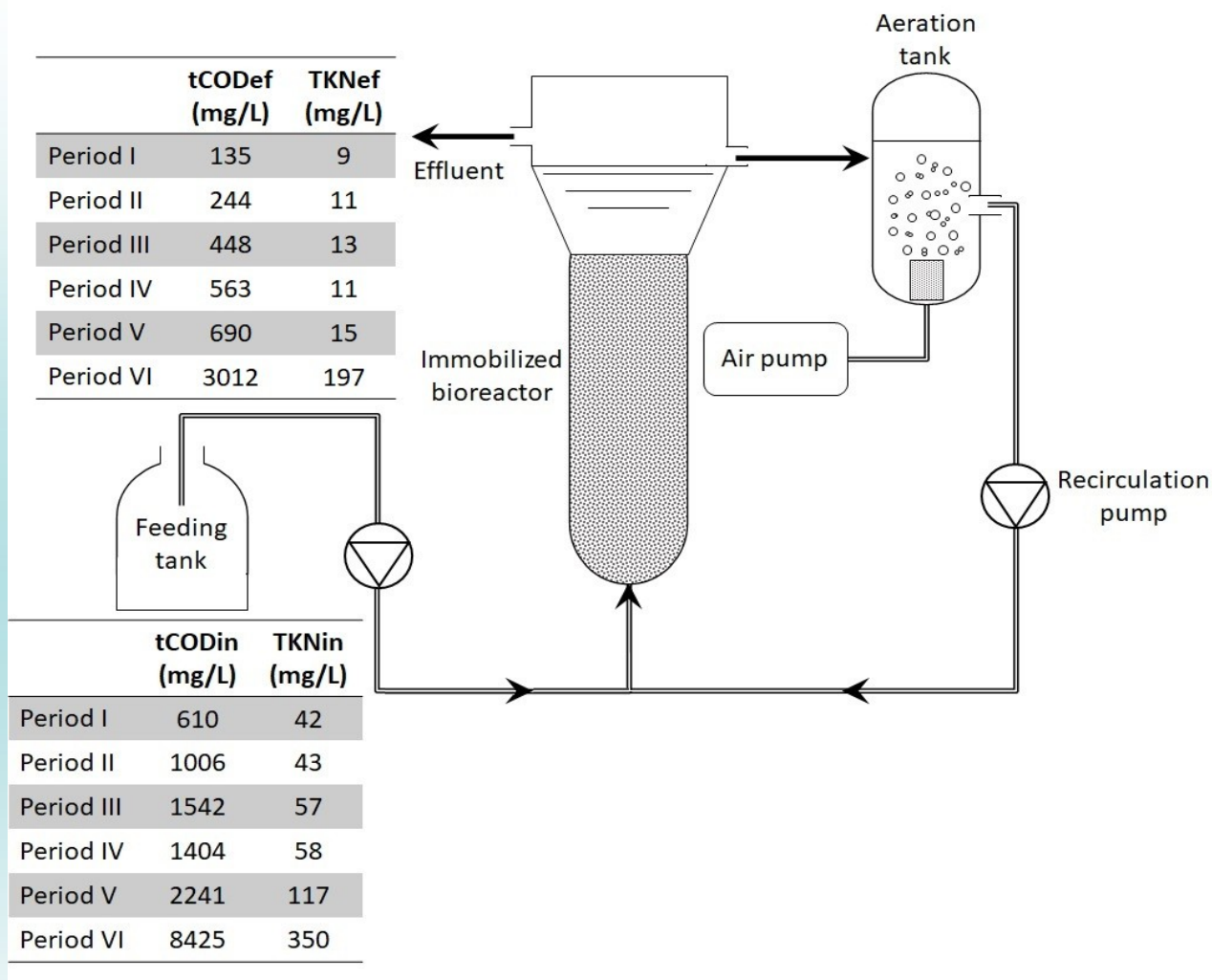
- Αποδοτικότητα βιοεπεξεργασίας, υδρολυτική δυναμική και δυναμική της κοινότητας των βακτηρίων σε σύστημα ακινητοποιημένης βιομάζας, το οποίο επεξεργάστηκε υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης.

Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης

- Διερευνήθηκε η δυνατότητα βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων κάπαρης,
- Αξιολογήθηκε η αποτελεσματικότητα της ακινητοποιημένης βιομάζας να ανταπεξέλθει τις ιδιαίτερες αυτές συνθήκες όπου η συγκέντρωση άλατος προσέγγισε τα 100 g/L
- Προσδιορίστηκε η δυναμική της βακτηριακής κοινότητας καθώς και η υδρολυτική ικανότητα της ακινητοποιημένης βιομάζας κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας υπό αυξημένη οργανική φόρτιση και αλατότητα.

Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης

- Σχηματική διάταξη βιοαντιδραστήρα ακινητοποιημένης βιομάζας



Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης

- Πειραματική διαδικασία

- ❖ tCOD

- ❖ sCOD

- ❖ BOD₅

- ❖ EC

- ❖ pH

- ❖ TKN

- ❖ NH₄⁺-N

Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης

- Πειραματική διαδικασία

- ❖ NO_3^- -N

- ❖ NO_2^- -N

- ❖ TS

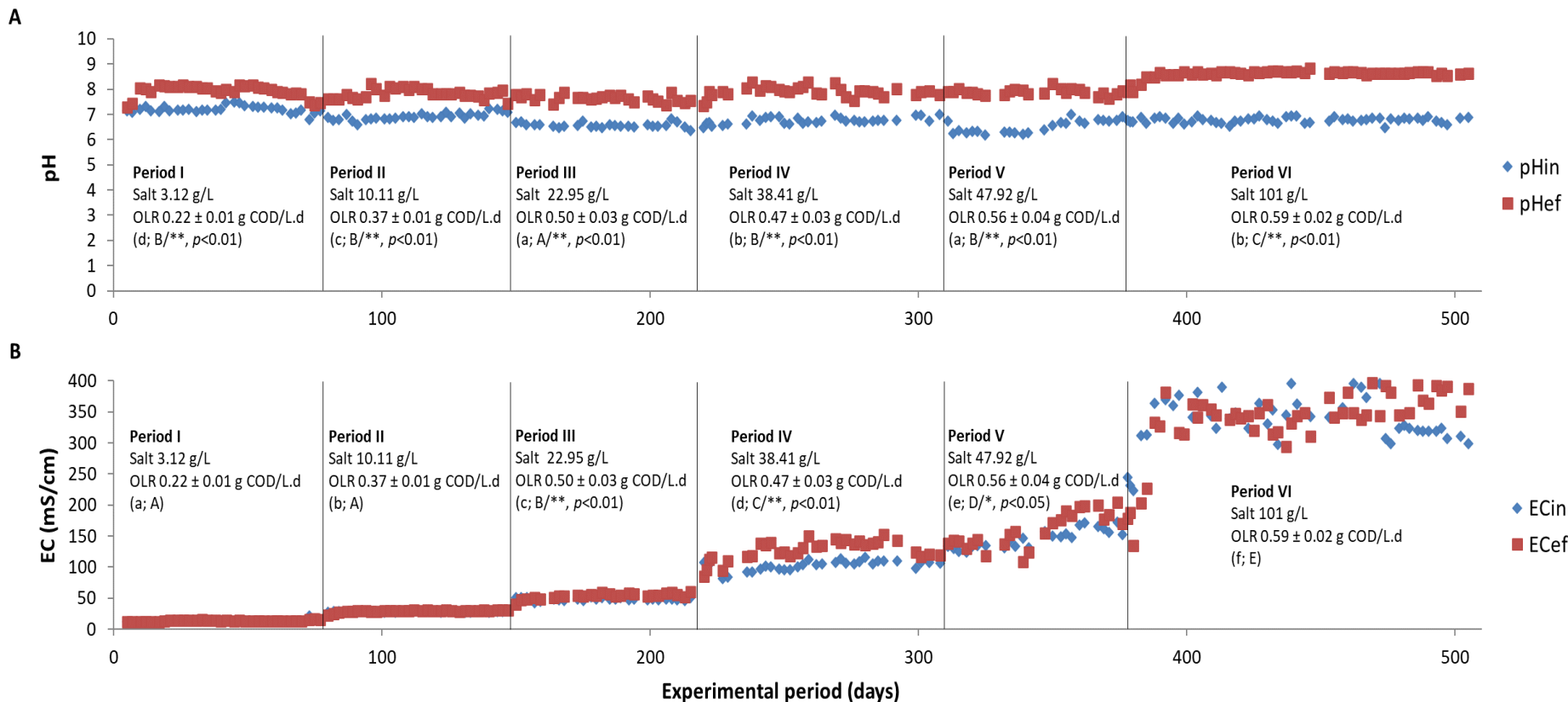
- ❖ TVS

- ❖ PO_4^{3-} -N

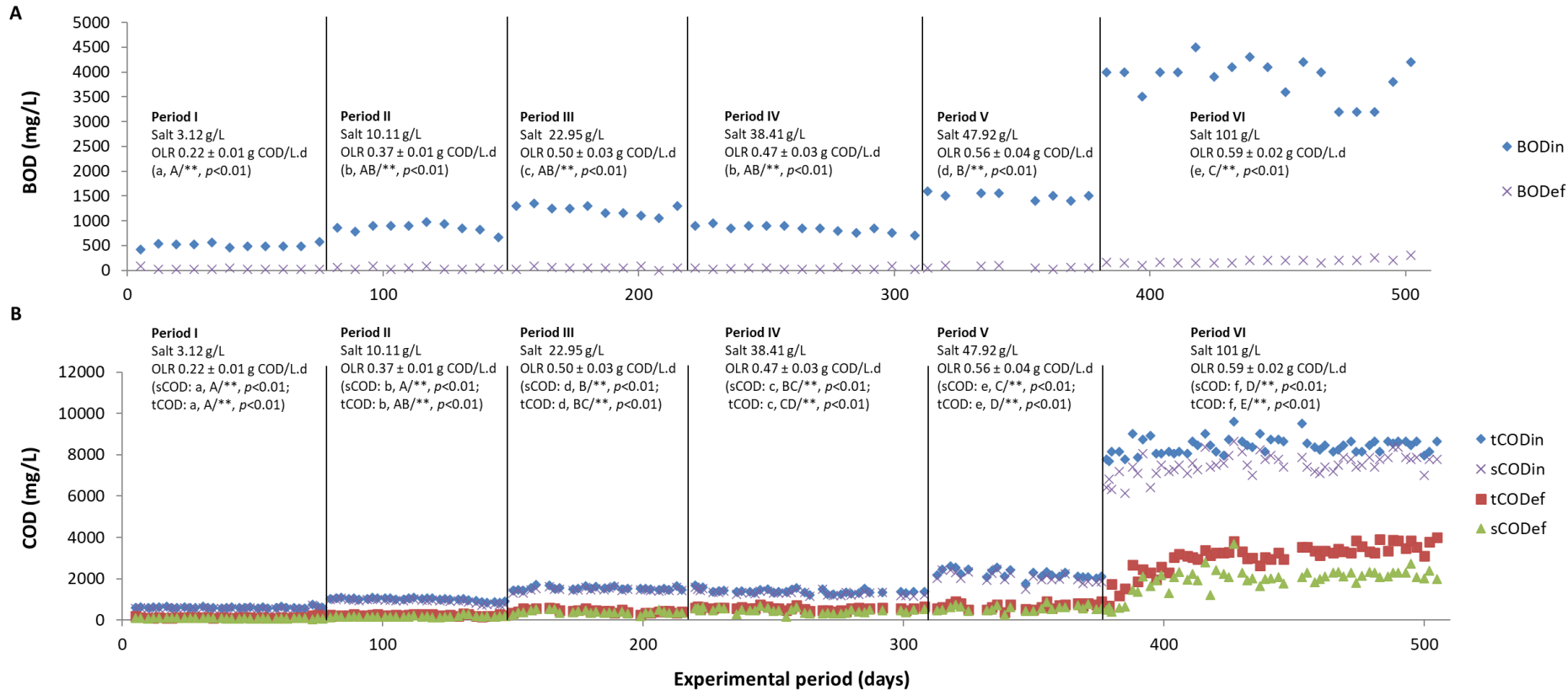
- ❖ Υδρολυτική ενεργότητα της ακινητοποιημένης βιομάζας που επεξεργάστηκε υγρό απόβλητο κάπαρης υψηλής αλατότητας

- ❖ Ταυτοποίηση βακτηρίων και εκτίμηση οικολογικών δεικτών στο σύστημα ακινητοποιημένης βιομάζας που επεξεργάστηκε υγρό απόβλητο κάπαρης

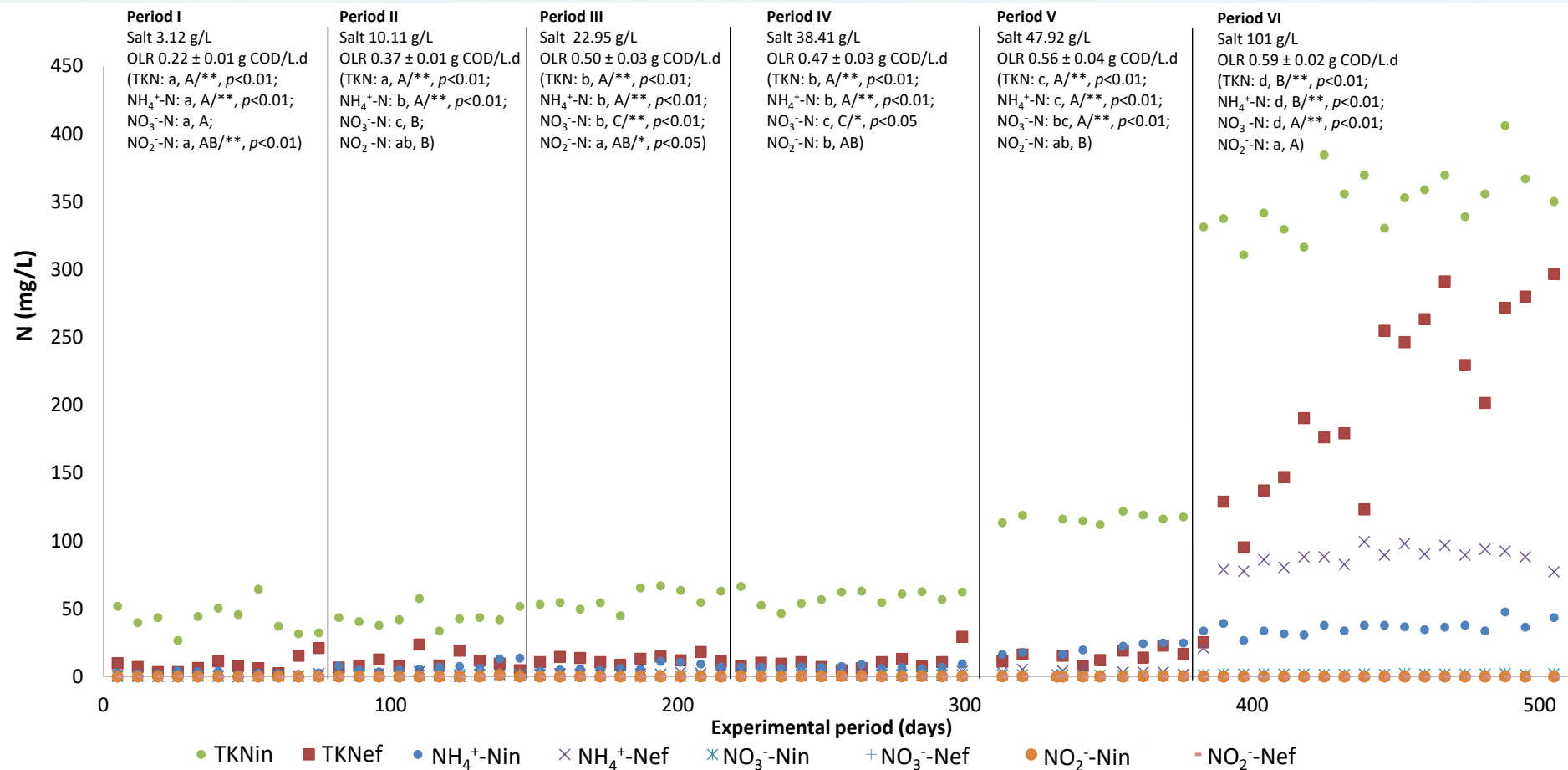
Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάππαρης



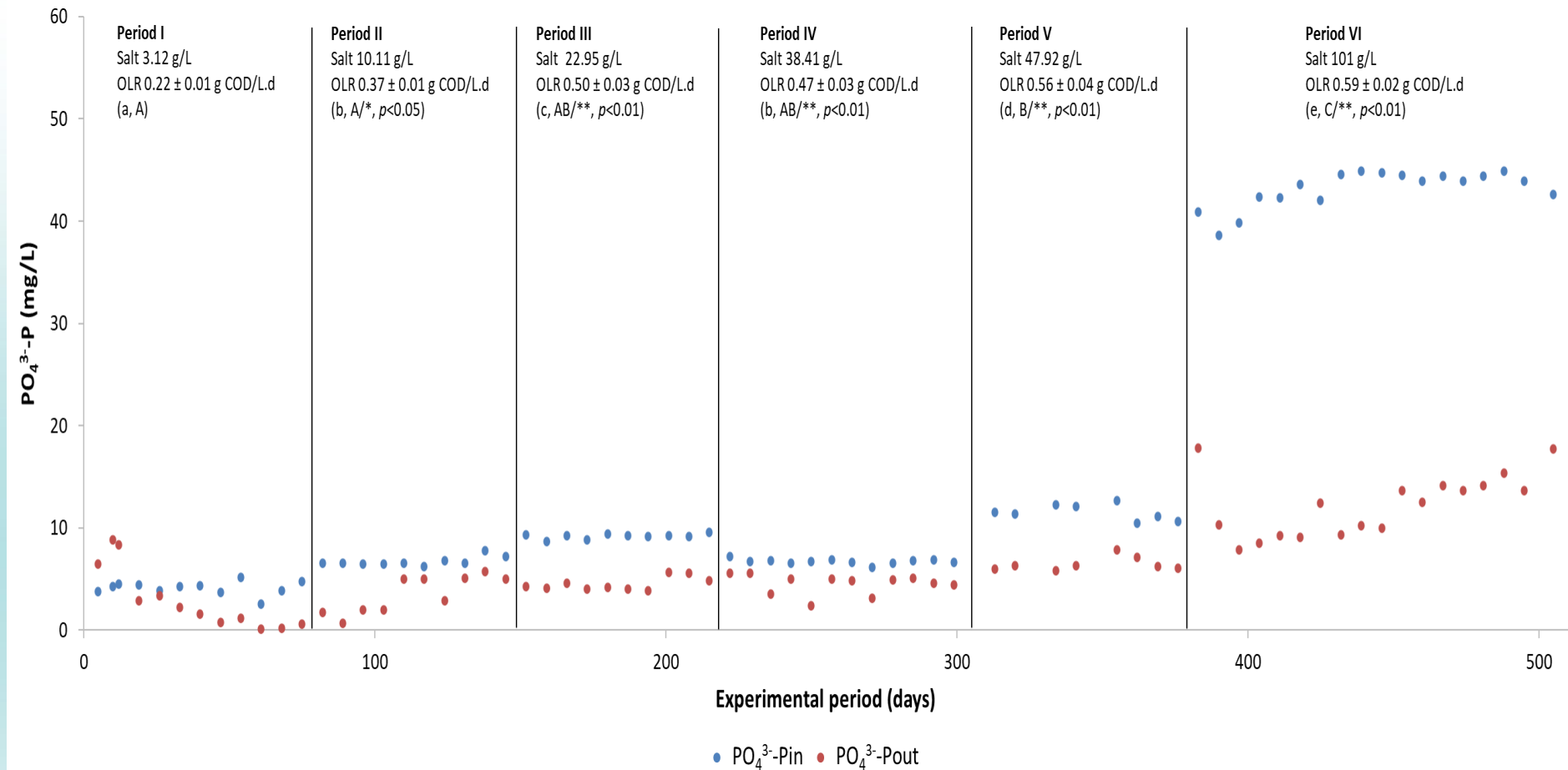
Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης



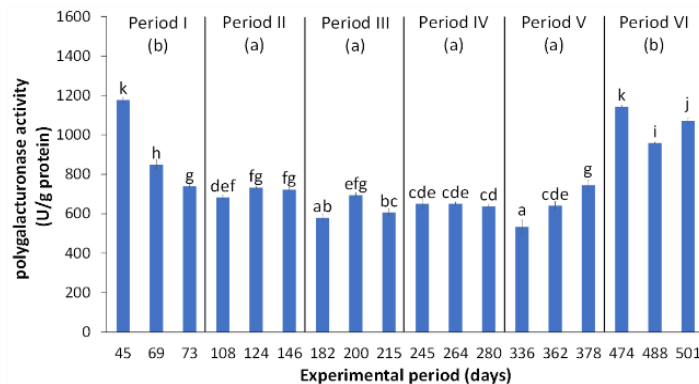
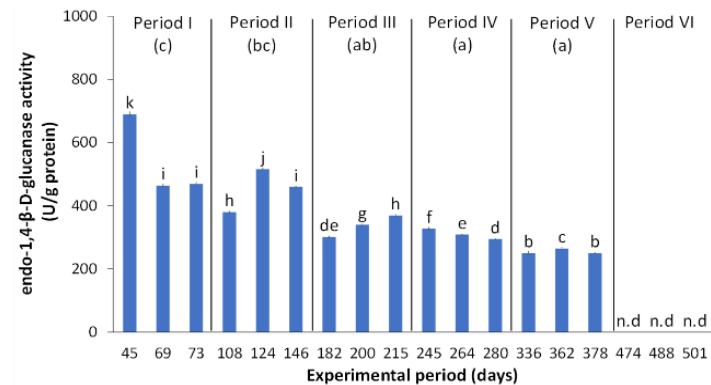
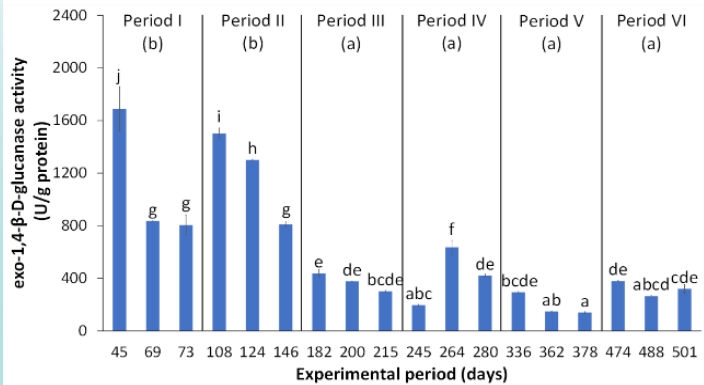
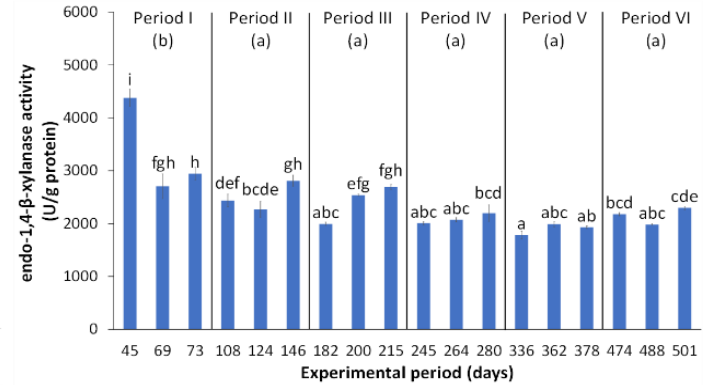
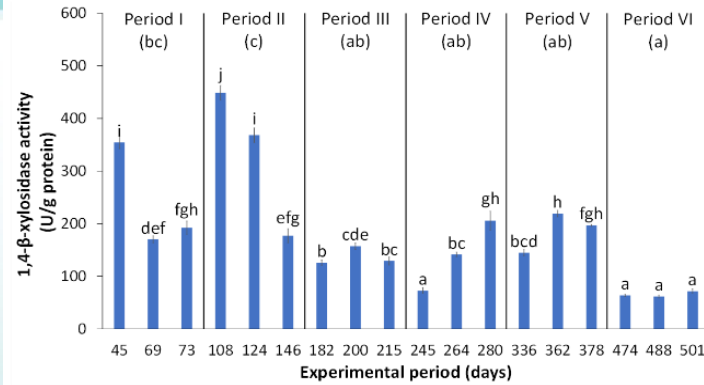
Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης



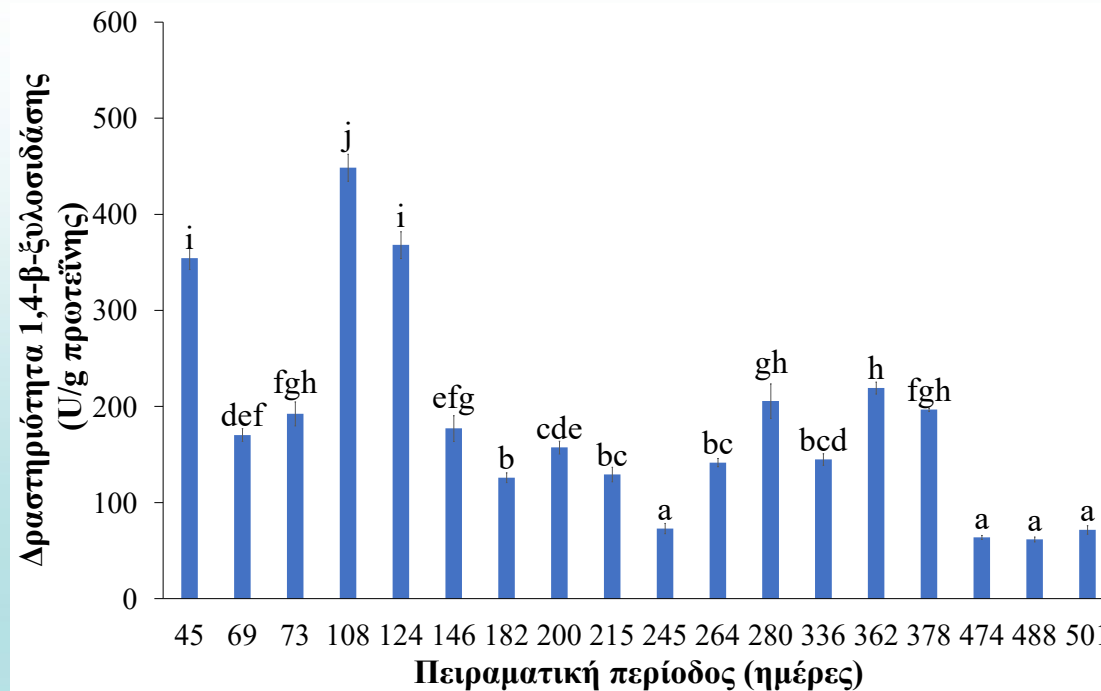
Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης



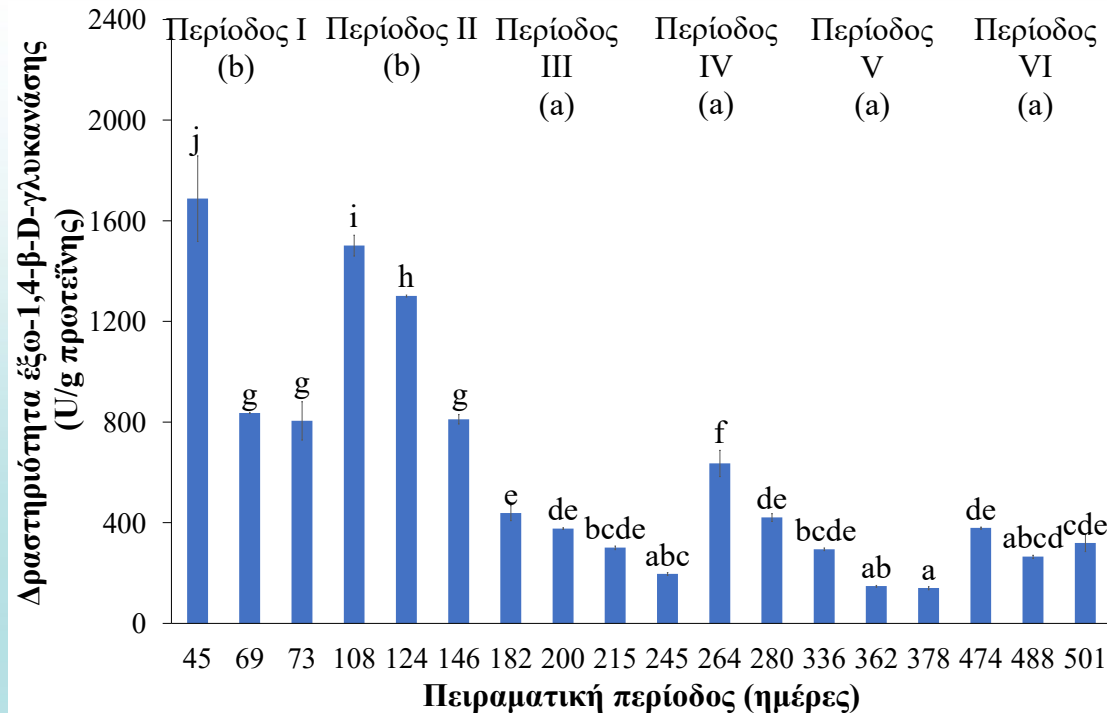
Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης



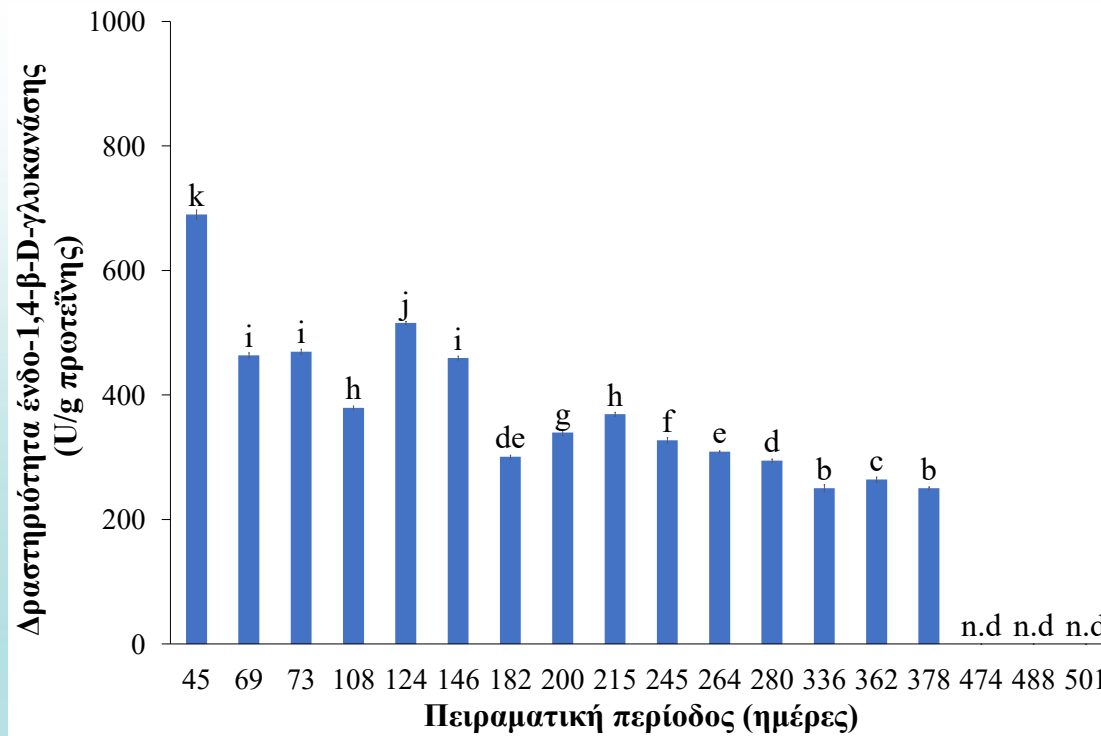
Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης



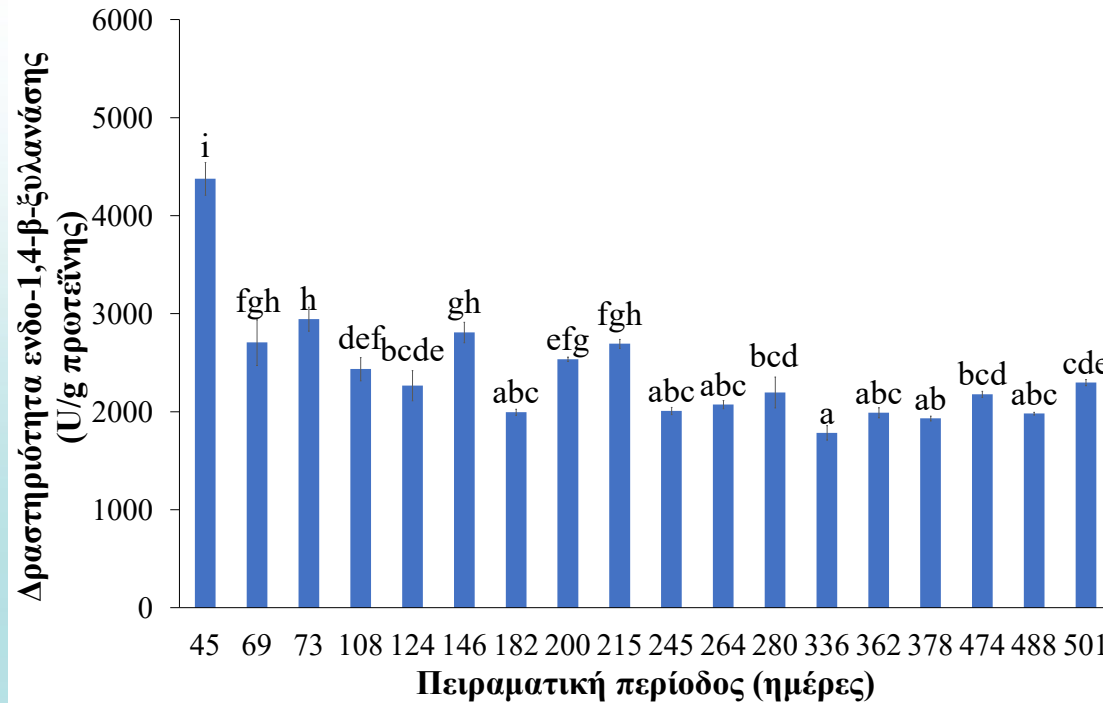
Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης



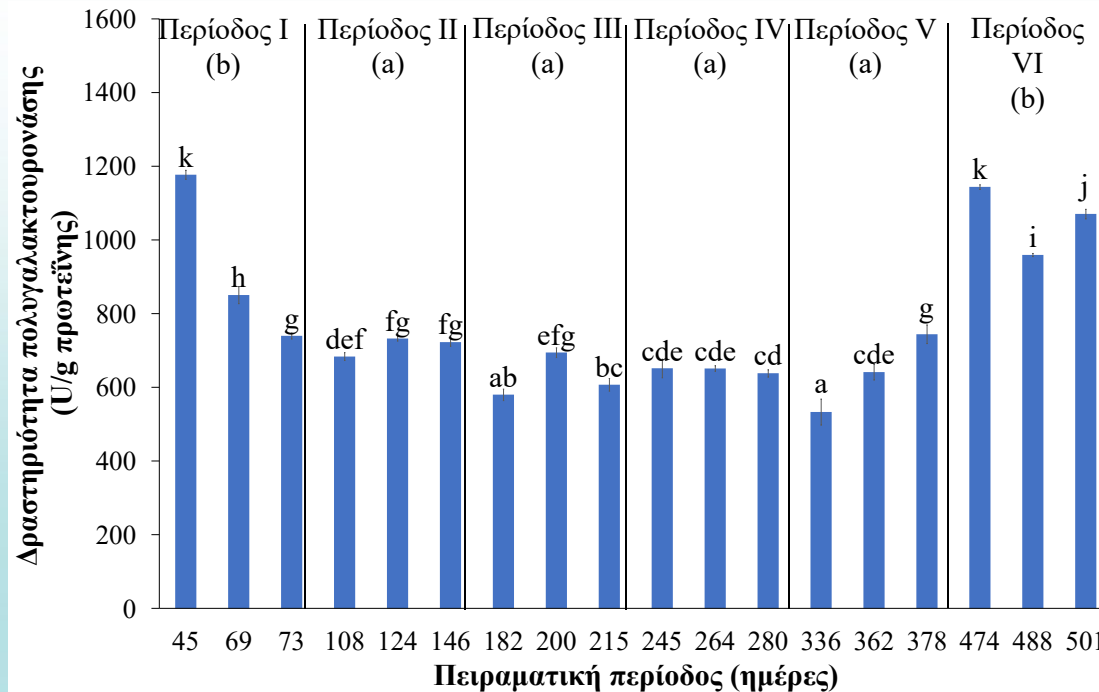
Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης



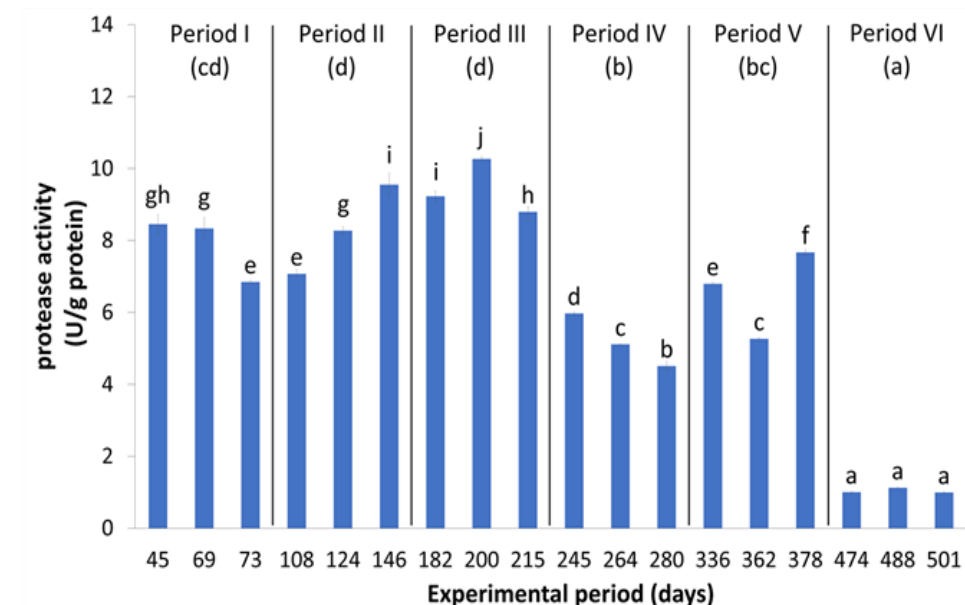
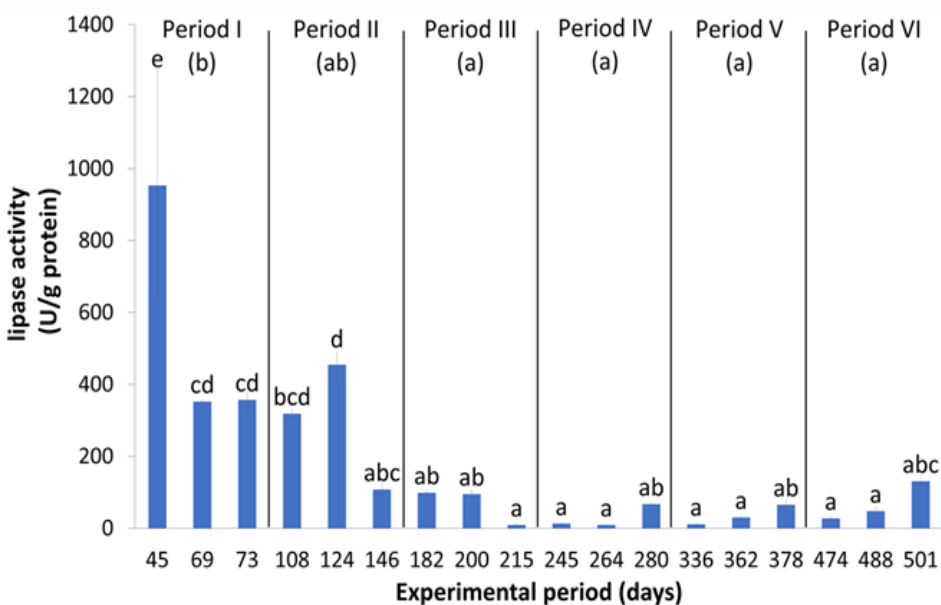
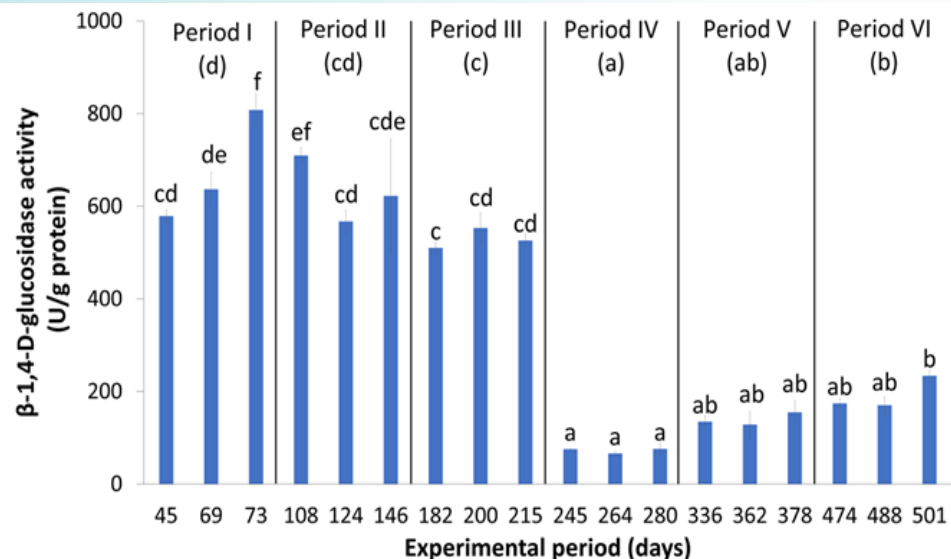
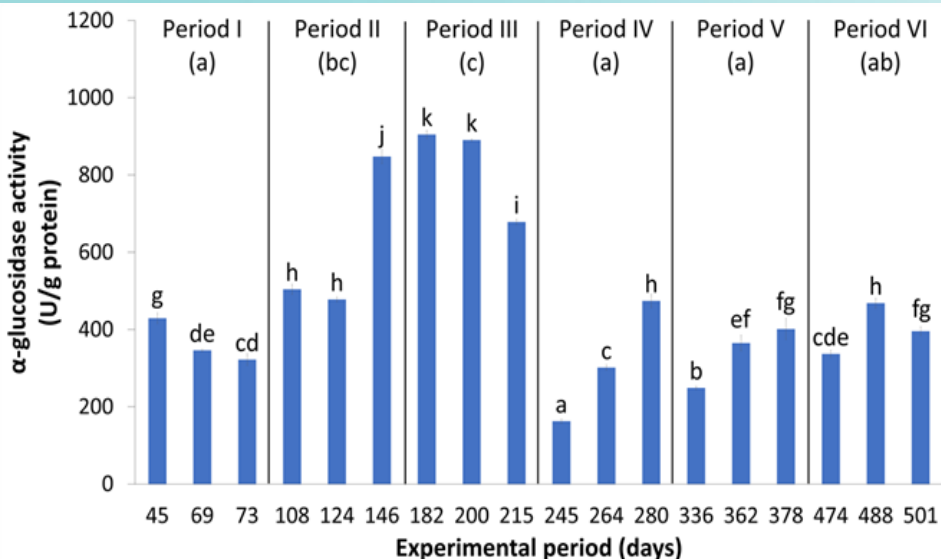
Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης



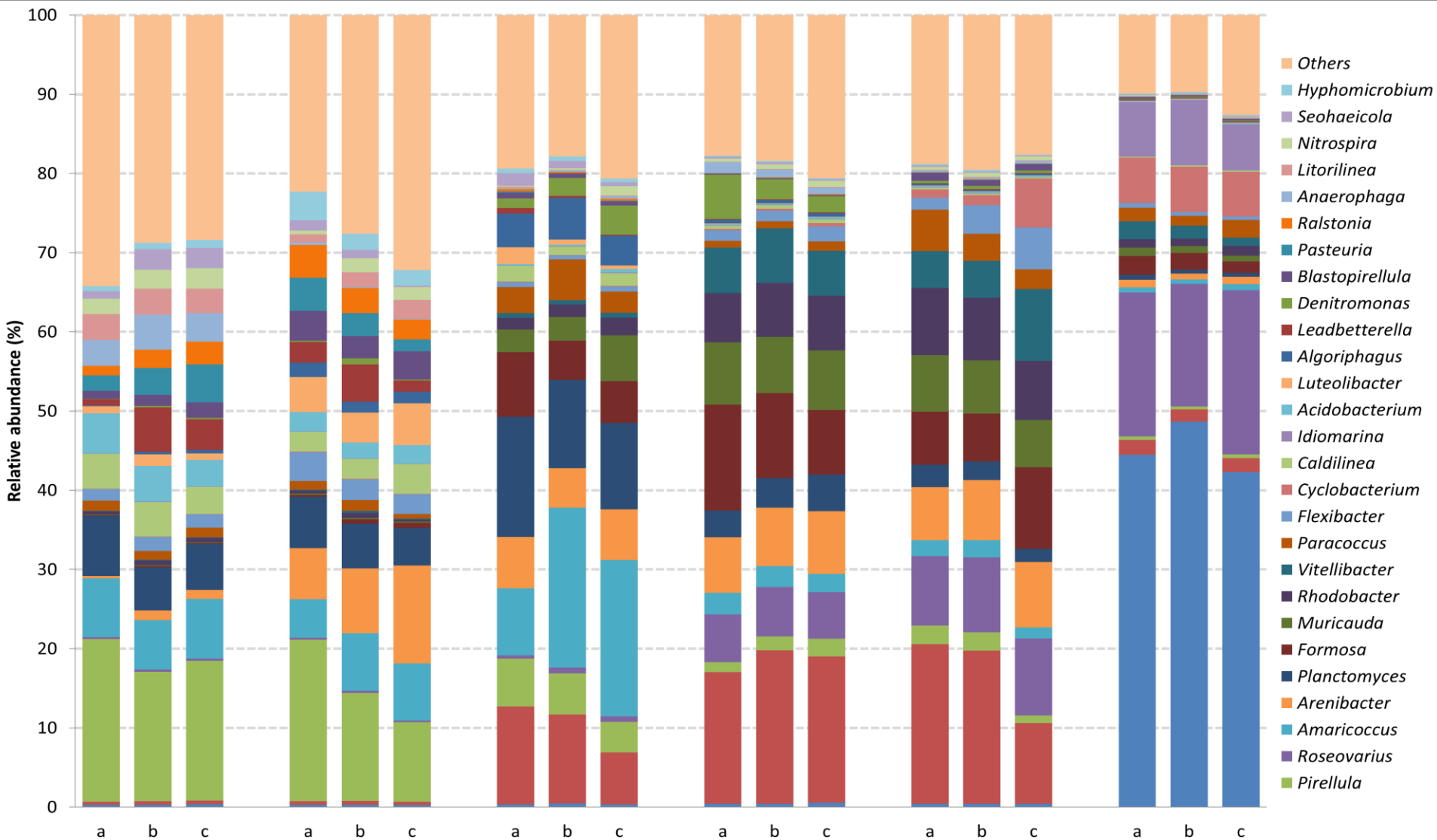
Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης



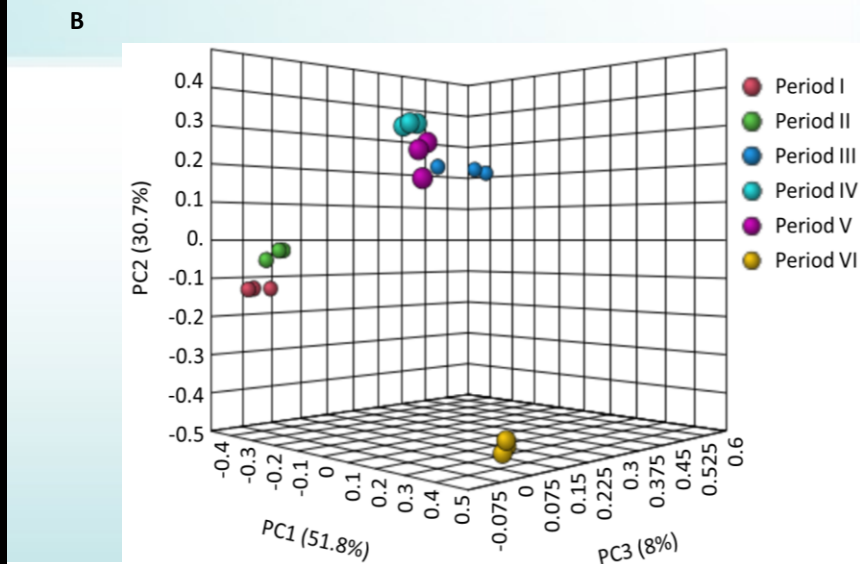
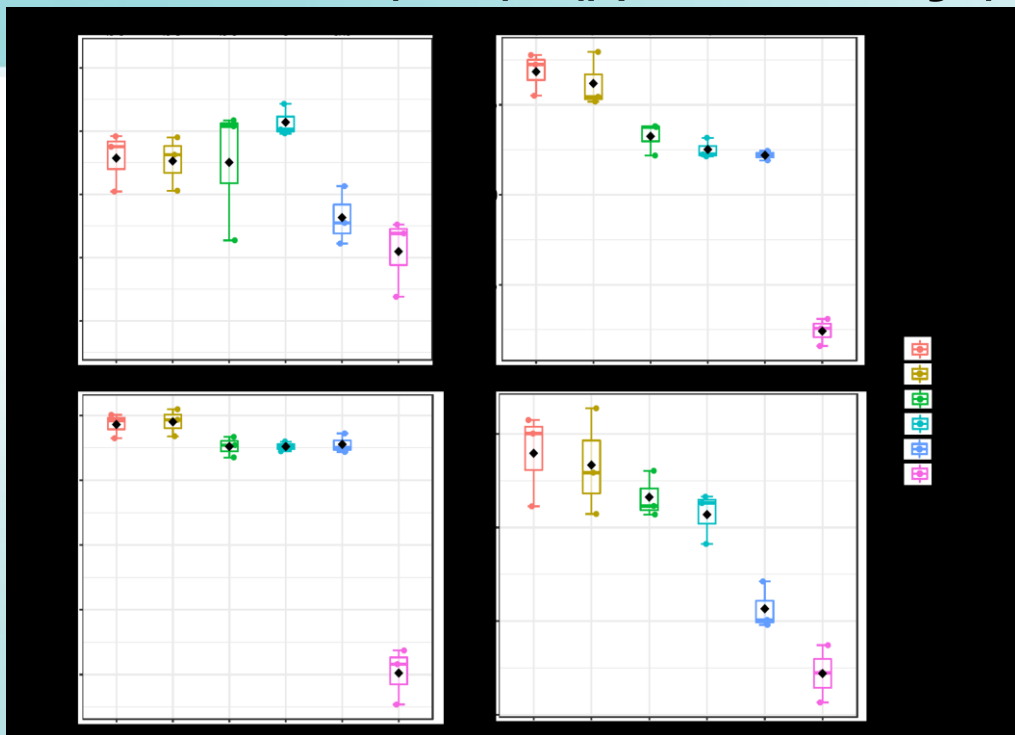
Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης



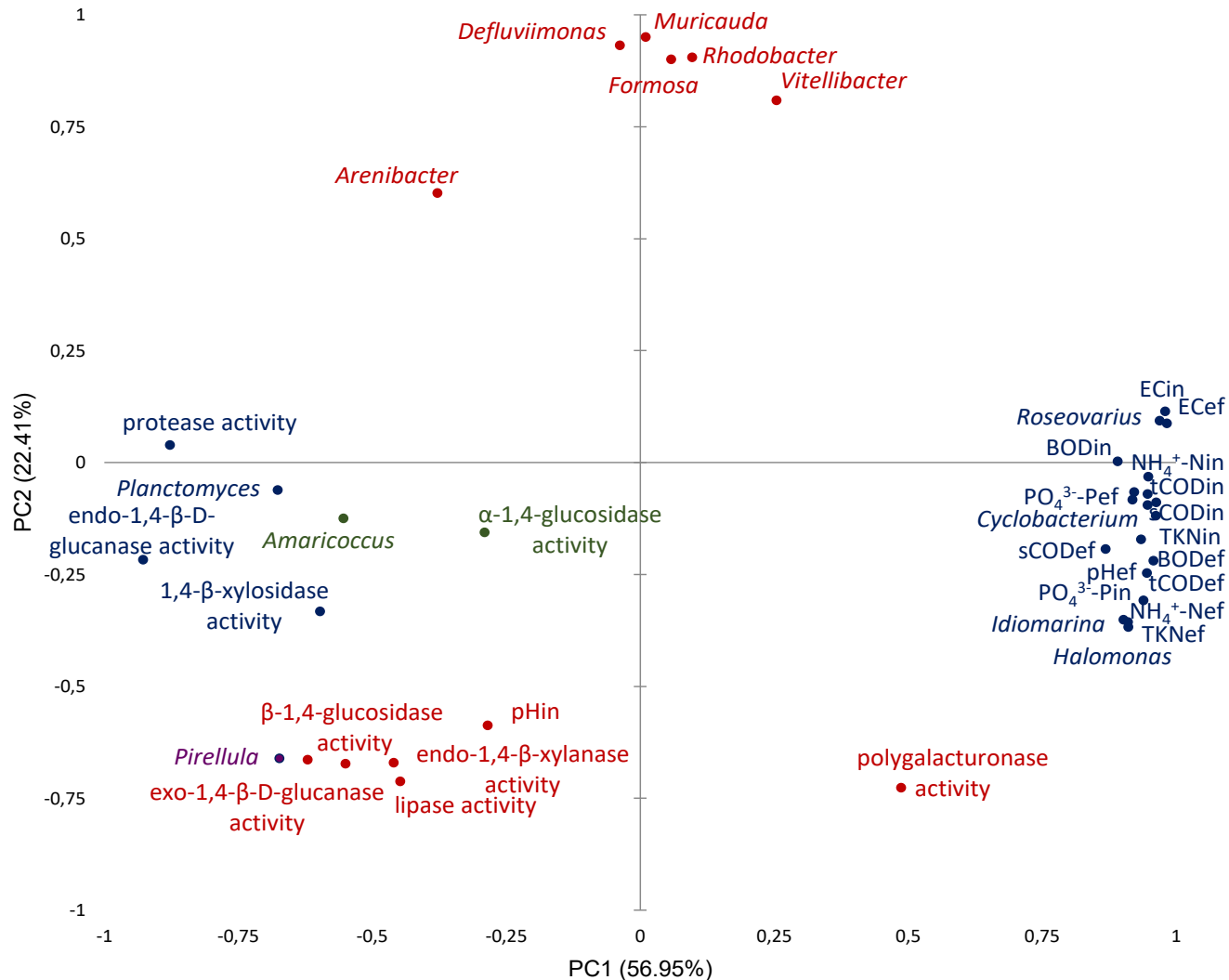
Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης



Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης



Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης



Υγρό απόβλητο υψηλής αλατότητας από βιομηχανία επεξεργασίας κάπαρης

Bioreactor type	Wastewater	Salinity (g/L)	HRT (days)	COD _{in} (mg/L)	COD _{rem} (%)	TN _{in} (mg/L)	TN _{rem} (%)	Reference
Aerobic bioreactor	fish processing wastewater	70	8	1000	30	N.R.	N.R.	Ching and Redzwan (2017)
Sequencing biofilm batch reactor (SBBR)	acetate + NH ₄ Cl	30	N.A.	2500	98	100	99.1	Pan et al. (2020)
Sequencing batch reactor (SBR)	municipal wastewater + NaCl	85	N.R.	N.R.	N.R.	≈100	20.9 ± 6.2	Cui et al. (2016)
Sequencing batch reactor (SBR)	acetate + NH ₄ Cl	50	N.A.	200-300*	86*	40-50	N.R.	Zhang et al. (2016)
Immobilized cell bioreactor	caper processing wastewater	48	3.67	2241 ± 43	69.8 ± 1.4	117 ± 1	86.9 ± 1.3	Present study
Immobilized cell bioreactor	caper processing wastewater	101	13.75	8425 ± 54	64.4 ± 1.2	350 ± 6	44.3 ± 4.9	Present study