

ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος ΔΠΘ

Εξάμηνο 1ο

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Η ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΤΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ

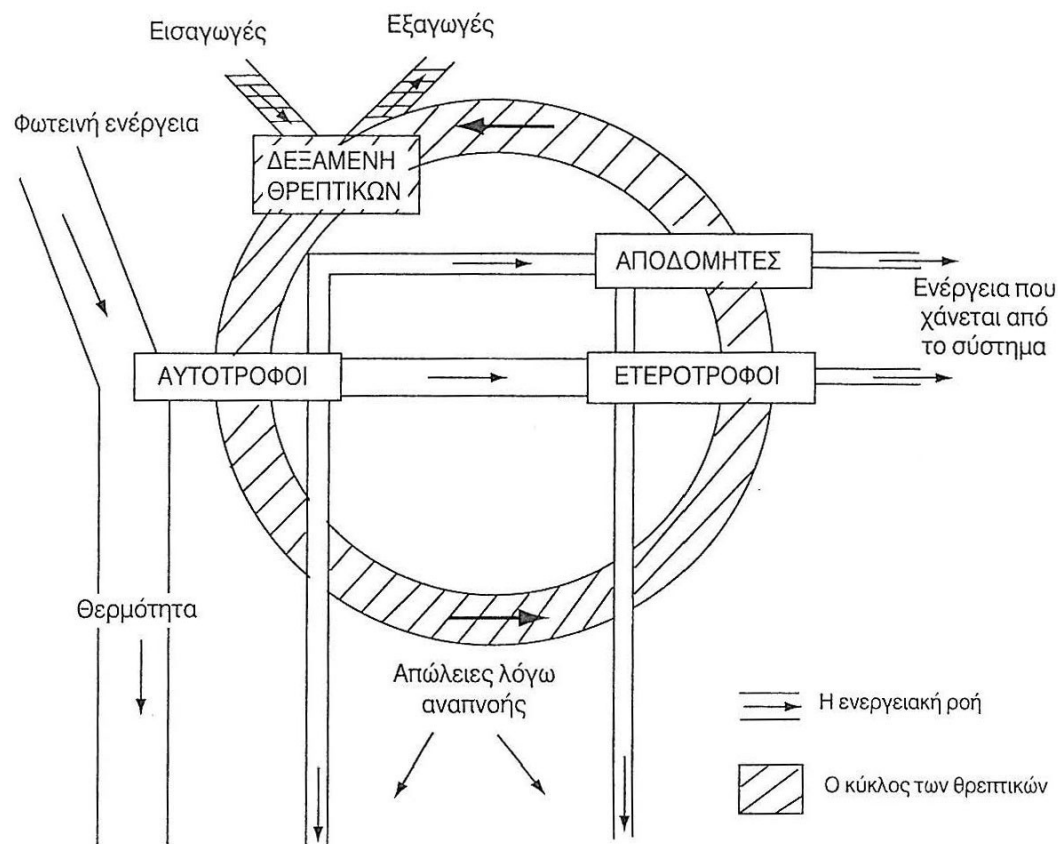
Η ροή της ενέργειας μέσα στα οικοσυστήματα έχει φορά

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.

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται ένας κύκλος θρεπτικών μαζί με το διάγραμμα της ενεργειακής ροής.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών



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

Κεφάλαιο 2: 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.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Η σχετική αφθονία των θρεπτικών στους οργανισμούς.

- Ποσότητες που βρίσκονται στη βιομάζα

Παρ' όλο που τα φυτά μπο-ρούν να απορροφήσουν όλα τα φυσικά στοιχεία, τρία μόνο από αυτά (ο άνθρακας, το οξυγόνο και το υδρογόνο) βρίσκονται συνήθως σε μεγάλες ποσότητες στη ζωντανή ύλη.

- Ποσότητες που προσλαμβάνονται από τους οργανισμούς
- Επιλεκτικός χημικός εμπλουτισμός

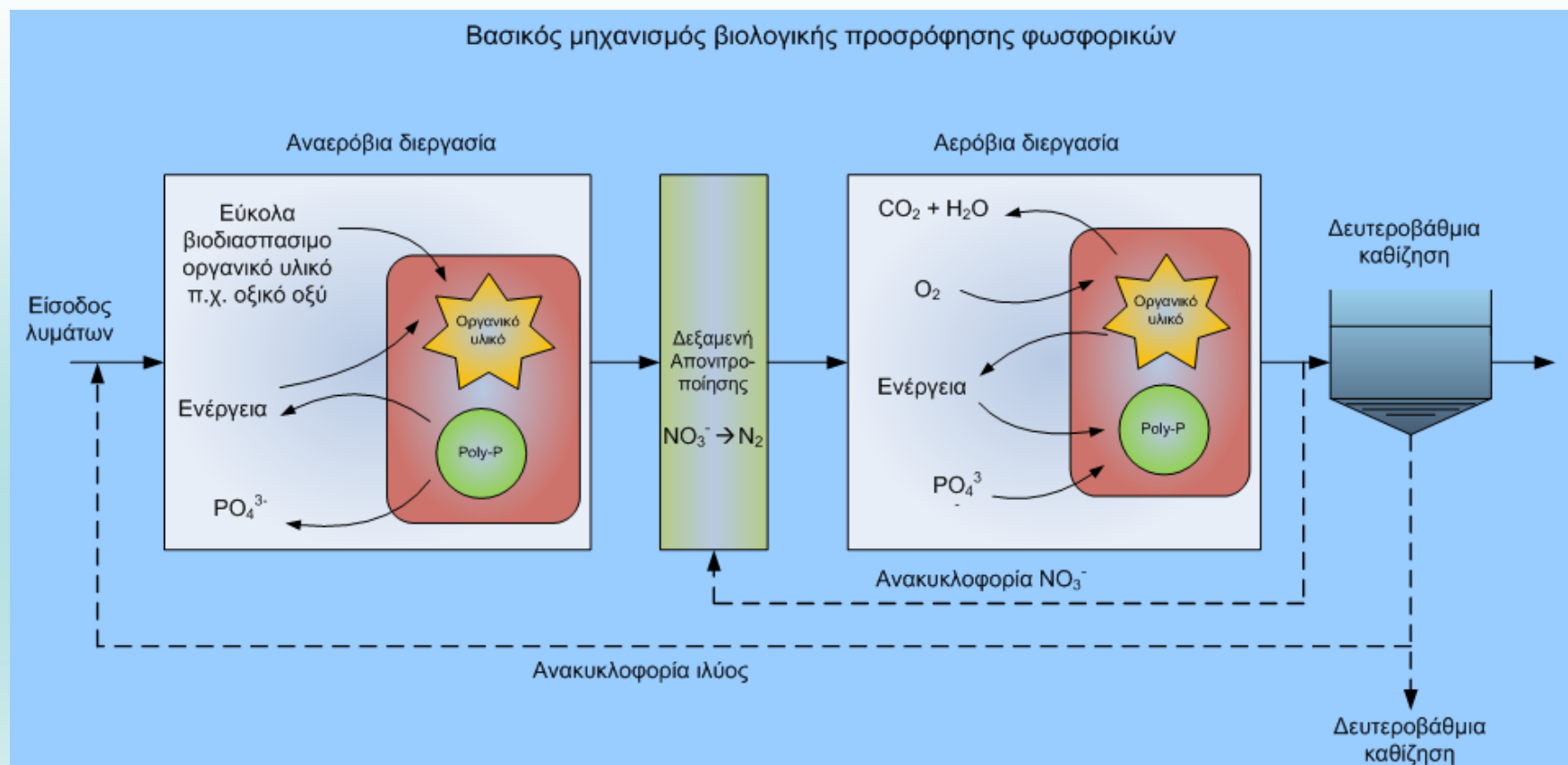
Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Η σχετική αφθονία των θρεπτικών στους οργανισμούς.

- Στη βιολογική αφαίρεση φωσφόρου, ο φώσφορος στην εισροή είναι ενσωματωμένος στα κύτταρα της βιομάζας και στη συνέχεια απομακρύνεται από τη διεργασία μέσω της απόρριψης της ιλύος.
- Οι οργανισμοί που συσσωρεύουν το φώσφορο (Phosphorous Accumulating Organisms, PAO) αυξάνονται και καταναλώνουν φώσφορο σε συστήματα όπου χρησιμοποιούνται διατάξεις αντιδραστήρων, που παρέχουν στους PAOs ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης έναντι των άλλων βακτηρίων.

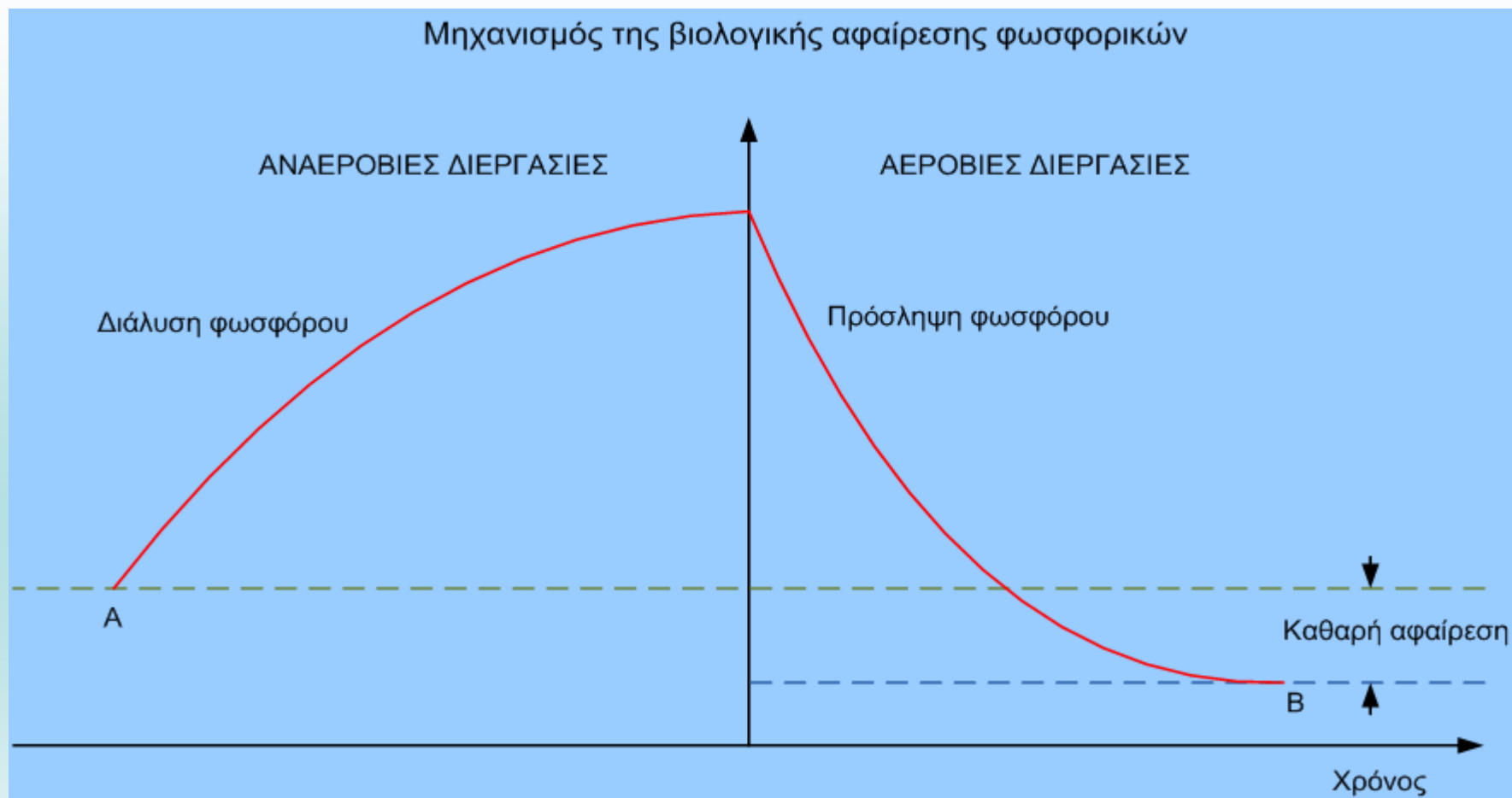
Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Η σχετική αφθονία των θρεπτικών στους οργανισμούς.



Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Η σχετική αφθονία των θρεπτικών στους οργανισμούς.



Κεφάλαιο 2: 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.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Η χρήση των μικροθρεπτικών.

- Τα **μικροθρεπτικά** συχνά είναι βασικά συστατικά στοιχεία των κυτταρικών δομών
- Το μαγνήσιο, για παράδειγμα, χρησιμοποιείται σε πολύ μικρές ποσότητες για την παραγωγή της χλωροφύλλης, της πράσινης αυτής ουσίας μέσω της οποίας απορροφάται η ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης
- Πολύ συχνά τα μικροθρεπτικά απαιτούνται για την παρασκευή των ενζύμων

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Το πρόβλημα της χρήσης των θρεπτικών στα ζώα.

Τα ζώα, όχι μόνο έχουν πιο ποικίλες θρεπτικές απαιτήσεις από τα φυτά, αλλά και στο μεταβολισμό τους εμπλέκονται διαφορετικές χημικές αντιδράσεις.

Έτσι, παρ' όλο που και στα φυτά και στα ζώα υπάρχουν τα ίδια στοιχεία, τα θρεπτικά περνούν από το πρώτο τροφικό επίπεδο στο δεύτερο, ως έτοιμες προκατασκευασμένες οργανικές ενώσεις μάλλον, παρά ως απλές ουσίες.

Κεφάλαιο 2: 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.

Κεφάλαιο 2: 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.

Κεφάλαιο 2: 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

Ο κάθε βιογεωχημικός κύκλος αποτελείται από δύο βασικά μέρη.

Κεφάλαιο 2: 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.

Κεφάλαιο 2: 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*

Ορισμένα θρεπτικά ανακυκλώνονται με γρηγορότερους ρυθμούς από άλλα εξαιτίας των χημικών χαρακτηριστικών τους και του τρόπου που αυτά χρησιμοποιούνται από τους οργανισμούς

- (β') *Ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών και των ζώων.*

Επηρεάζει το ρυθμό πρόσληψης των θρεπτικών και την κυκλοφορία τους μέσα στα τροφικά δίκτυα.

Κεφάλαιο 2: 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:

- (γ') Ο ρυθμός αποσύνθεσης της οργανικής ύλης
Εξαρτάται, πρωτίστως, από το κλίμα και τον τύπο του εδάφους. Σε εδάφη ευνοϊκά, όπως αυτά των θερμών και υγρών περιοχών, οι αποδομητές οργανισμοί συναντώνται σε πυκνότητες της τάξης των εκατομμυρίων ανά γραμμάριο εδάφους.
- (δ') Οι ανθρώπινες δραστηριότητες.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Σύσταση ατμόσφαιρας

- Ο ατμοσφαιρικός αέρας (ή απλά αέρας) είναι ένα μείγμα αερίων που περιβάλλει την Γη.
- Τα κυριότερα συστατικά του αέρα βρίσκονται σε αέρια κατάσταση και είναι τα εξής :
- άζωτο (N_2)
- οξυγόνο (O_2)
- διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)
- αργό (Ar)
- υδρατμοί (H_2O)

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Σύσταση ατμόσφαιρας

- Η ατμόσφαιρα διακρίνεται στα εξής στρώματα (κατά αυξανόμενο υψόμετρο)
- Τροπόσφαιρα : είναι το στρώμα πάνω από την επιφάνεια της Γης
- Στρατόσφαιρα : φτάνει μέχρι το ύψος των 50km
- Μεσόσφαιρα : Φτάνει μέχρι το ύψος των 85km
- Θερμόσφαιρα Φτάνει μέχρι το ύψος των 500km

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Σύσταση ατμόσφαιρας

- Η σύνθεση του ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα

Αέρια	Σύμβολα	(%) Κατά όγκο
Οξυγόνο	O	20.95
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	0.03
Ήλιο	He	5.24x10 ⁻⁴

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

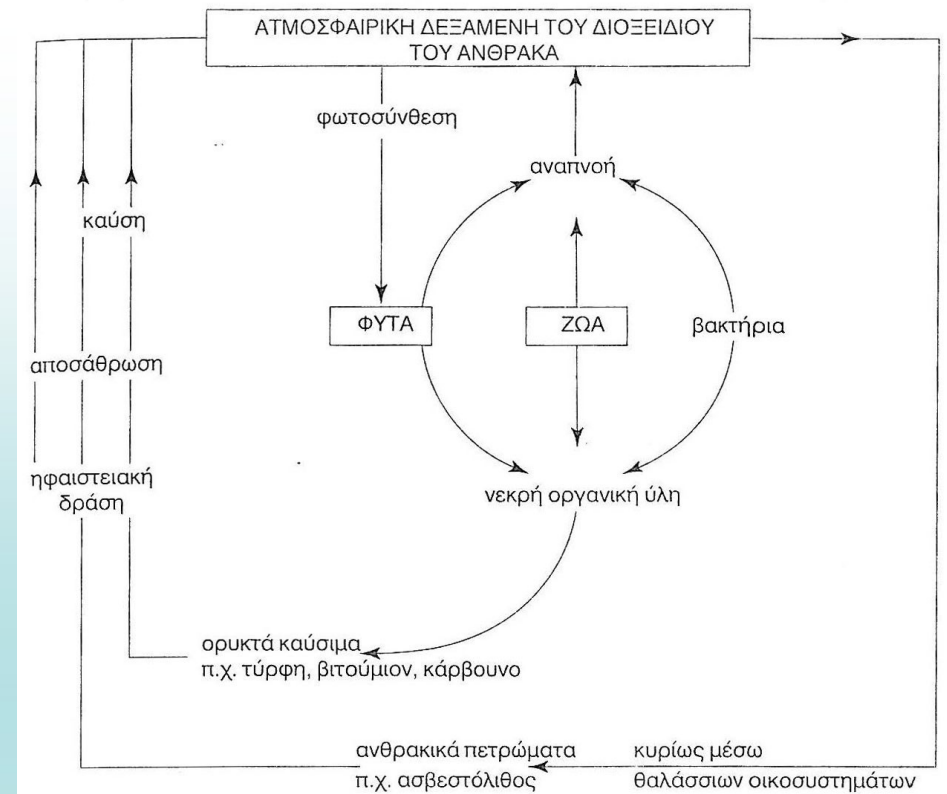
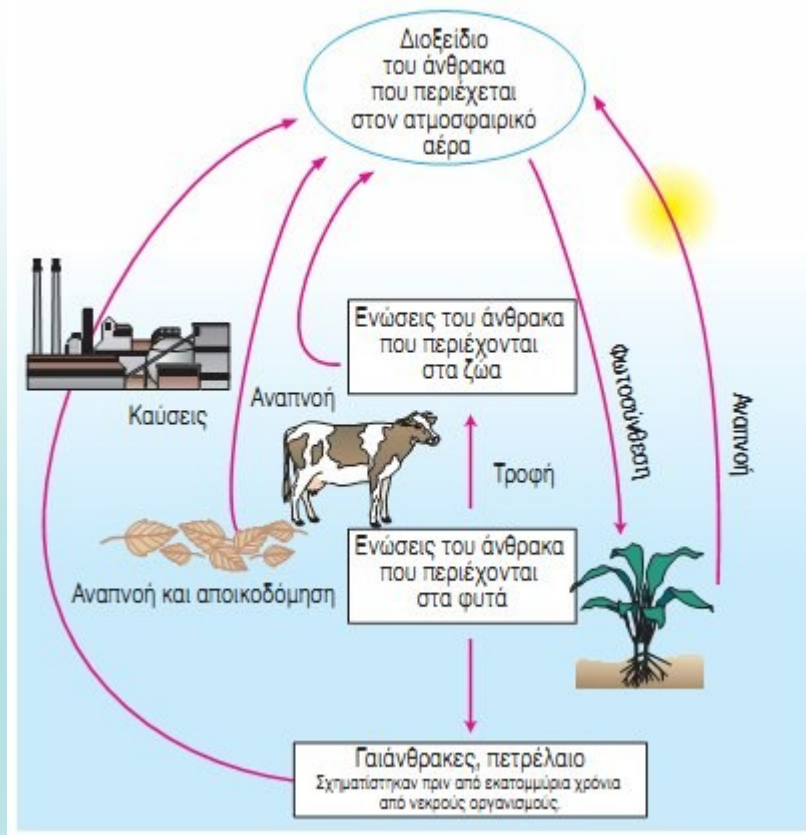
Σύσταση ατμόσφαιρας

- **Οξυγόνο**

- Μετά από το άζωτο, το οξυγόνο είναι το πιο διαδεδομένο αέριο της ατμόσφαιρας
- Καταναλώνεται και ανανεώνεται συνέχεια με τη βοήθεια χημικών αντιδράσεων της Λιθόσφαιρας, της Βιόσφαιρας και των υδρατμών
- Μέσα στα όρια των σφαλμάτων μέτρησης, η ποσότητα του οξυγόνου στην κατώτερη ατμόσφαιρα είναι σταθερή
- Το οξυγόνο εισέρχεται στην ατμόσφαιρα από δύο πηγές

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ



Σχ. 7. Ο κύκλος του άνθρακα.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

α) Πρόσληψη του διοξειδίου του άνθρακα από τα φυτά.

- Το σύνολο σχεδόν του άνθρακα εισέρχεται στο βιοτικό τμήμα των οικοσυστημάτων μέσω της άμεσης πρόσληψης διοξειδίου του άνθρακα από τα φυτά. Το διοξείδιο του άνθρακα χρησιμοποιείται για την παρασκευή σακχάρων και υδατανθράκων μέσω της φωτοσύνθεσης

- Οι συνολικές ποσότητες του άνθρακα που αφομοιώνονται από τα φυτά είναι πολύ μεγάλες. Υπολογίζεται ότι σε ετήσια βάση, απορροφάται το 3% του συνολικού διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας

Β) Η διέλευση του άνθρακα από τις τροφικές αλυσίδες.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

- Νεκρή οργανική ύλη
 - (α') Η νεκρή οργανική ύλη αποτελεί μια συμπληρωματική δεξαμενή άνθρακα στο έδαφος
 - (β') Ο ρυθμός και η ταχύτητα αποδόμησης της οργανικής ύλης και συνεπώς και ο ρυθμός απελευθέρωσης άνθρακα, ποικίλλουν αρκετά, ανάλογα με τη φύση του οργανισμού
 - (γ') Οργανισμοί που προκαλούν αποδόμηση όπως είναι τα βακτήρια, αλλά και σαπροφάγοι οργανισμοί όπως οι γαιοσκώληκες υποβοηθούν τη διάσπαση της νεκρής ύλης και απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα μέσω της αναπνοής τους διοξείδιο του άνθρακα

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

- *Νεκρή οργανική ύλη.*

Η νεκρή οργανική ύλη αποτελεί μια συμπληρωματική δεξαμενή άνθρακα στο έδαφος

Ο ρυθμός και η ταχύτητα αποδόμησης της οργανικής ύλης και συνεπώς και ο ρυθμός απελευθέρωσης άνθρακα, ποικίλλουν αρκετά, ανάλογα με τη φύση του οργανισμού.

- Οργανισμοί που προκαλούν αποδόμηση....

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

- (δ') Ορυκτά καύσιμα.
- α') Κάτω από ειδικές συνθήκες, η νεκρή οργανική ύλη μπορεί να σχηματίσει οργανικές εναποθέσεις όπως είναι η τύρφη και το κάρβουνο
- (β') Η αυξημένη χρήση ορυκτών καυσίμων τα τελευταία χρόνια είχε ως αποτέλεσμα τη γρήγορη επιστροφή μεγάλων ποσών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

- Ορισμένα επιπλέον στοιχεία
 - Η ατμοσφαιρική δεξαμενή του κύκλου του άνθρακα έχει αποθηκευμένη με φυσικό τρόπο γύρω στα 2200 δισ. τόνους διοξειδίου του άνθρακα (GtCO_2)
 - Κάθε χρόνο, περίπου 400 GtCO_2 αφαιρούνται από την ατμόσφαιρα από τα δέντρα και άλλη βλάστηση στην ξηρά μέσω της φωτοσύνθεσης, και μια παρόμοια ποσότητα επιστρέφει σε αυτήν μέσω της διαπνοής των φυτών
 - Στον ωκεανό, περίπου 330 GtCO_2 ανταλλάσσονται κάθε χρόνο μεταξύ της ατμόσφαιρας και των επιφανειακών υδάτων, με περισσότερο CO_2 να απορροφάται στα κρύα νερά μεγάλου γεωγραφικού πλάτους και λιγότερο στους τροπικούς ωκεανούς, όπου τα βαθιά νερά πλούσια σε άνθρακα έρχονται στην επιφάνεια μέσω των ανύψωσης των ωκεάνιων υδάτων

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

- Ορισμένα επιπλέον στοιχεία
 - Για 800.000 χρόνια, μέχρι και τη Βιομηχανική Επανάσταση, η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα ήταν περίπου 300 ppm
 - Μαζί με το μεθάνιο, το οξείδιο του αζώτου και άλλα αέρια του θερμοκηπίου (GHGs), οι ετήσιες εκπομπές έχουν αυξηθεί σε περίπου 59 GtCO₂
 - Οι εκπομπές από την καύση των ορυκτών καυσίμων και τη χρήση της γης κατανέμονται στην ατμόσφαιρα, στη γη και στους ωκεανούς. Χωρίς την απομόνωση του άνθρακα από τη γη και τον ωκεανό, το επίπεδο του CO₂ στην ατμόσφαιρα θα ήταν τώρα περίπου 600 ppm, με την αύξηση της θερμοκρασίας περίπου διπλάσια από αυτήν που παρατηρείται σήμερα όπου η συγκέντρωση CO₂ είναι ίση με 422 ppm

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

- (ε') Ανταλλαγή μεταξύ ατμόσφαιρας και θάλασσας.

Το διοξείδιο του άνθρακα διαλύεται εύκολα στο θαλασσινό νερό. Εάν, συνεπώς, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα αυξηθεί, μεγάλο μέρος του θα απορροφηθεί από τις θάλασσες.

Το διοξείδιο του άνθρακα αντιδρά με το νερό, σχηματίζοντας ανθρακικά άλατα και κυρίως ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3).

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

- (στ') Ηφαιστειακή δράση.

Διοξείδιο του άνθρακα εκπέμπεται συνεχώς από τους κρατήρες των ηφαιστείων. Η δράση τους προμηθεύει την ατμόσφαιρα με νέες ποσότητες άνθρακα από το εσωτερικό της Γης.



Δολομίτης (ανθρακικό πέτρωμα)

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Η βασική δεξαμενή αποθήκευσης είναι η ατμόσφαιρα και η δεξαμενή ανταλλαγής λειτουργεί ανάμεσα στους οργανισμούς και στο έδαφος.

Σε αντίθεση, όμως, με τον άνθρακα, η πρόσληψη του αζώτου από τα φυτά δεν μπορεί να γίνει άμεσα από τον αέρα.

Προτού γίνει διαθέσιμο στη δεξαμενή ανταλλαγής, πρέπει να πάρει τη μορφή χημικών ενώσεων όπως είναι τα νιτρικά άλατα.

Η διαδικασία αυτή εμπεριέχει πολλούς και πολύπλοκους μηχανισμούς.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Οι βασικότερες βιοτικές μετατροπές N στο περιβάλλον

1. Αμμωνιοποίηση (Ανοργανοποίηση)
2. Νιτροποίηση
3. Απονιτροποίηση
4. **Αζωτοδέσμευση** (τριφύλλι, μπιζελιά, φασολιά, φακή, σόγια)

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Η αζωτοδέσμευση διακρίνεται σε

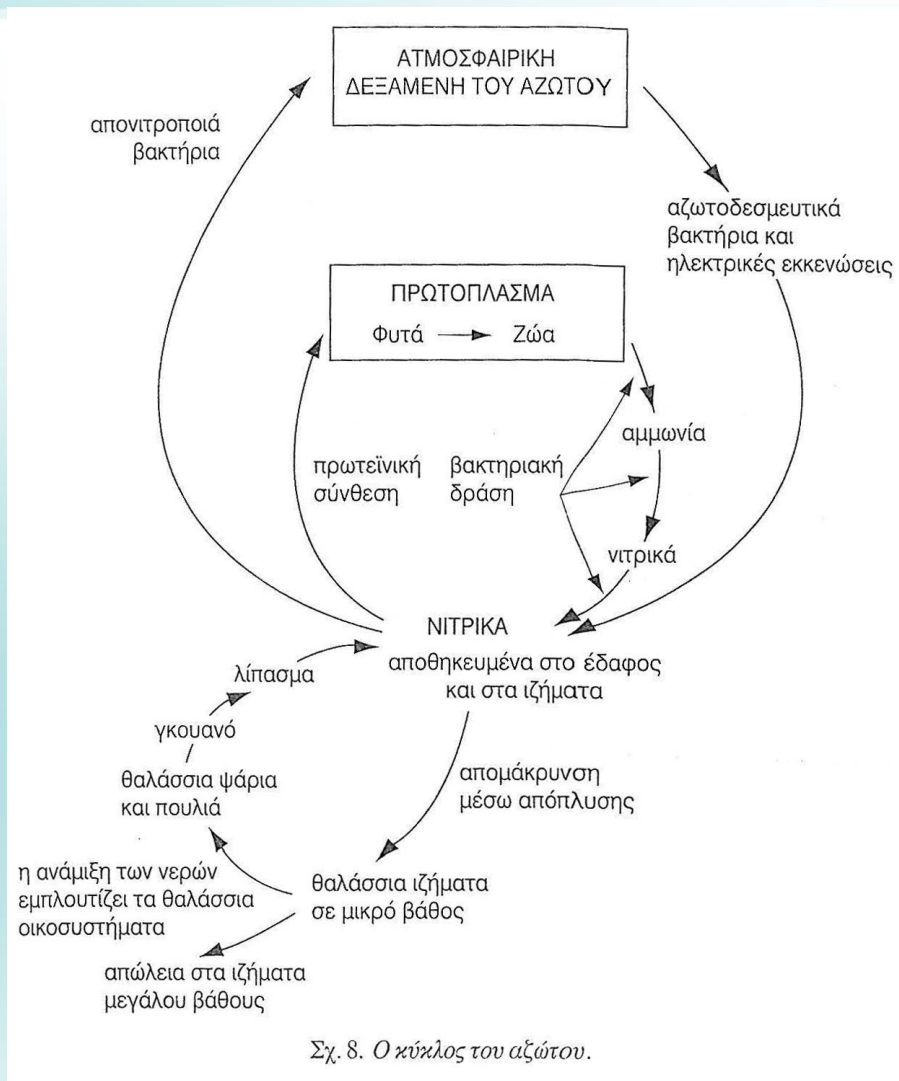
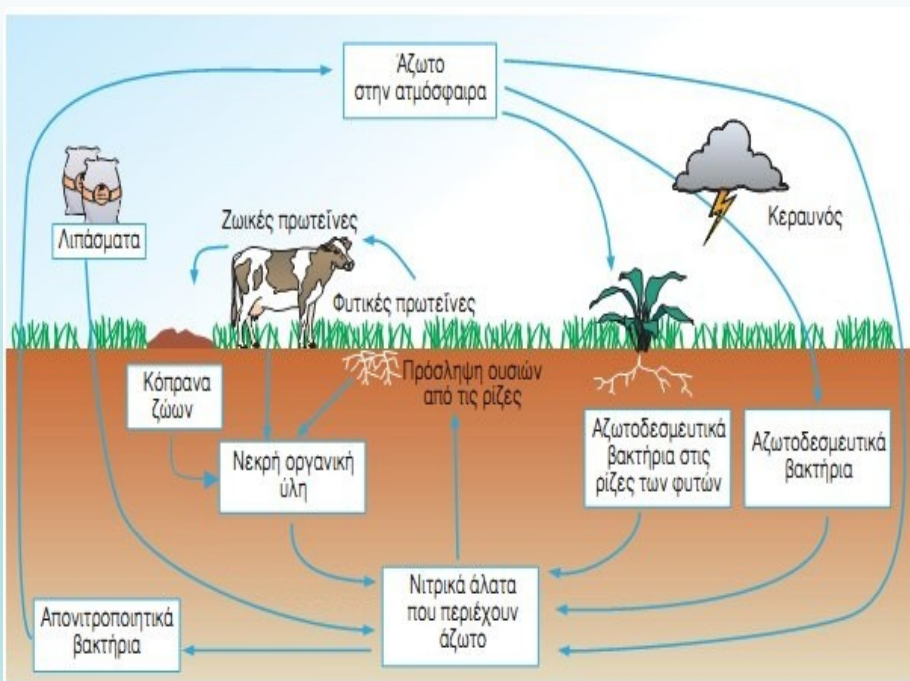
- ατμοσφαιρική
- βιολογική

Κατά την ατμοσφαιρική αζωτοδέσμευση το άζωτο της ατμόσφαιρας αντιδρά

- είτε με τους υδρατμούς, σχηματίζοντας αμμωνία,
- είτε με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, σχηματίζοντας νιτρικά ιόντα.

Η απαραίτητη ενέργεια προσφέρεται από τις ηλεκτρικές εκκενώσεις (αστραπές, κεραυνοί).

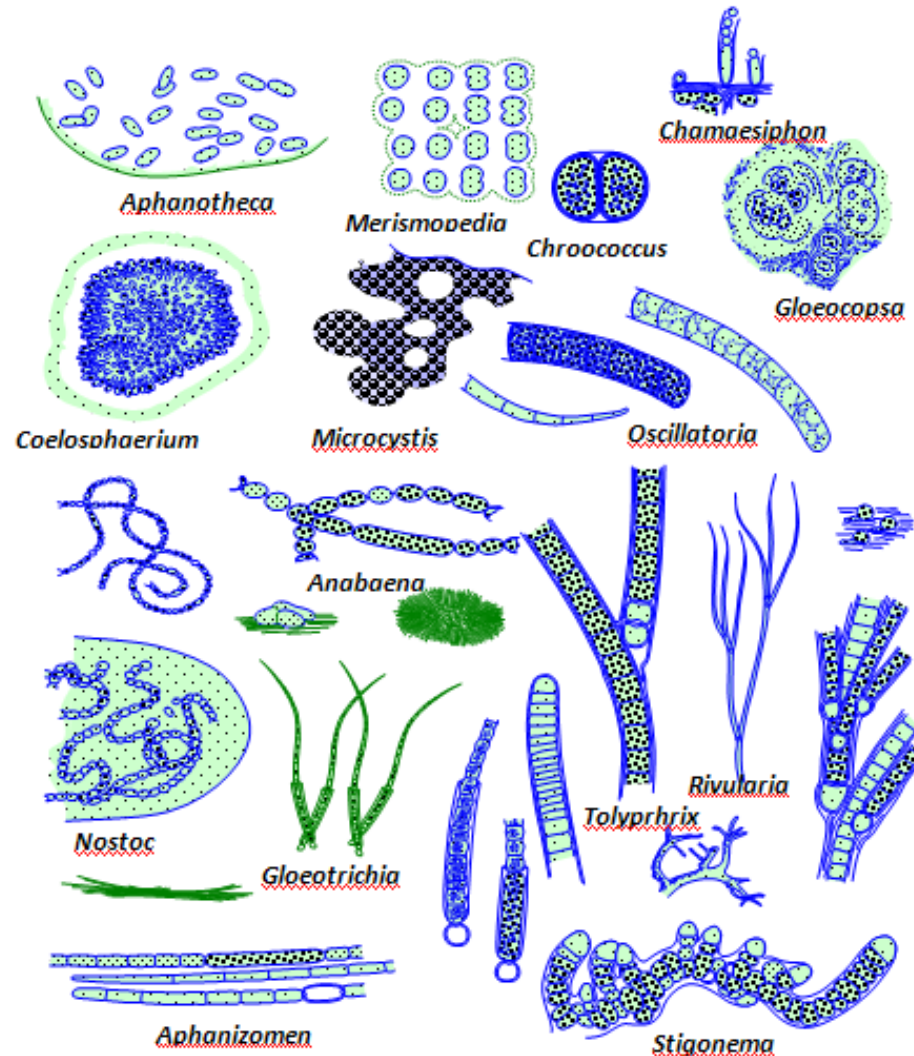
Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών



Σχ. 8. Ο κύκλος του αζώτου.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Γένη
κυανοβακτηρίων
που επιτελούν
αζωτοδέσμευση



Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

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

- Μέλη των γενών

 - ❖ *Rhizobium*,

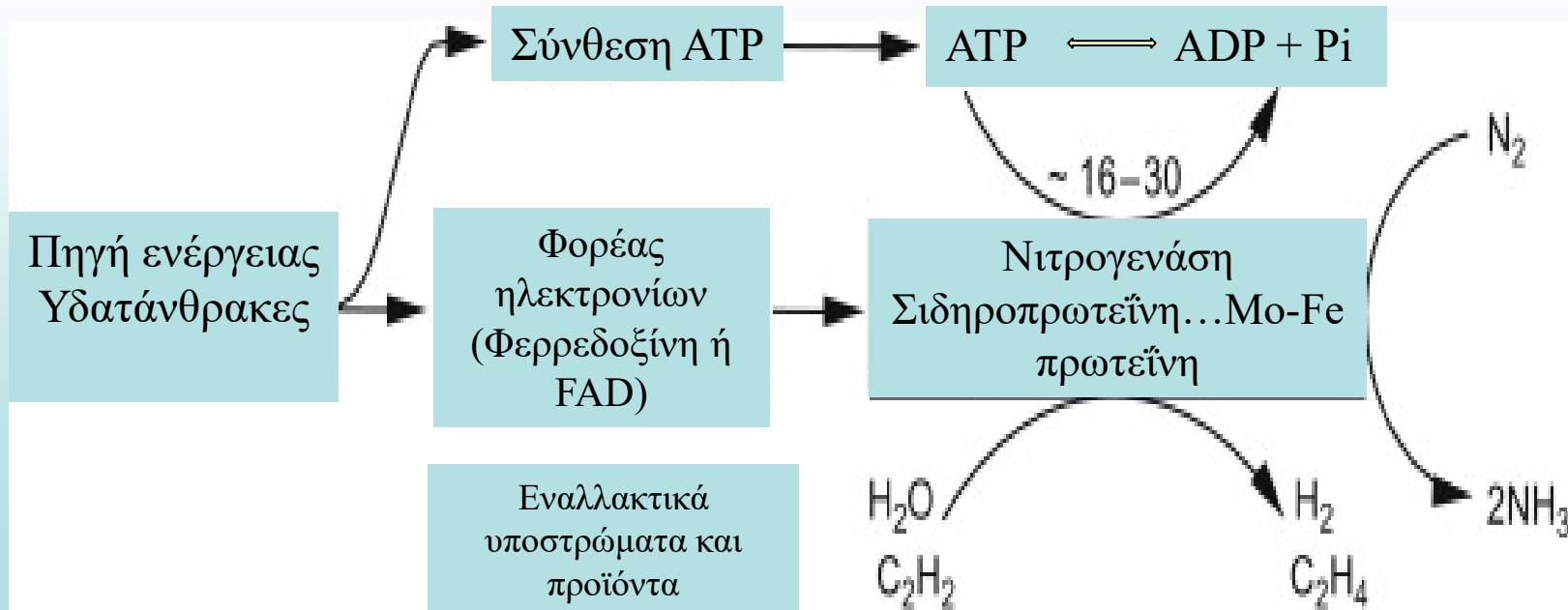
 - ❖ *Bradyrhizobium* και

 - ❖ *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

Η αντίδραση μετατροπής του αζώτου $\text{N}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{NH}_3$



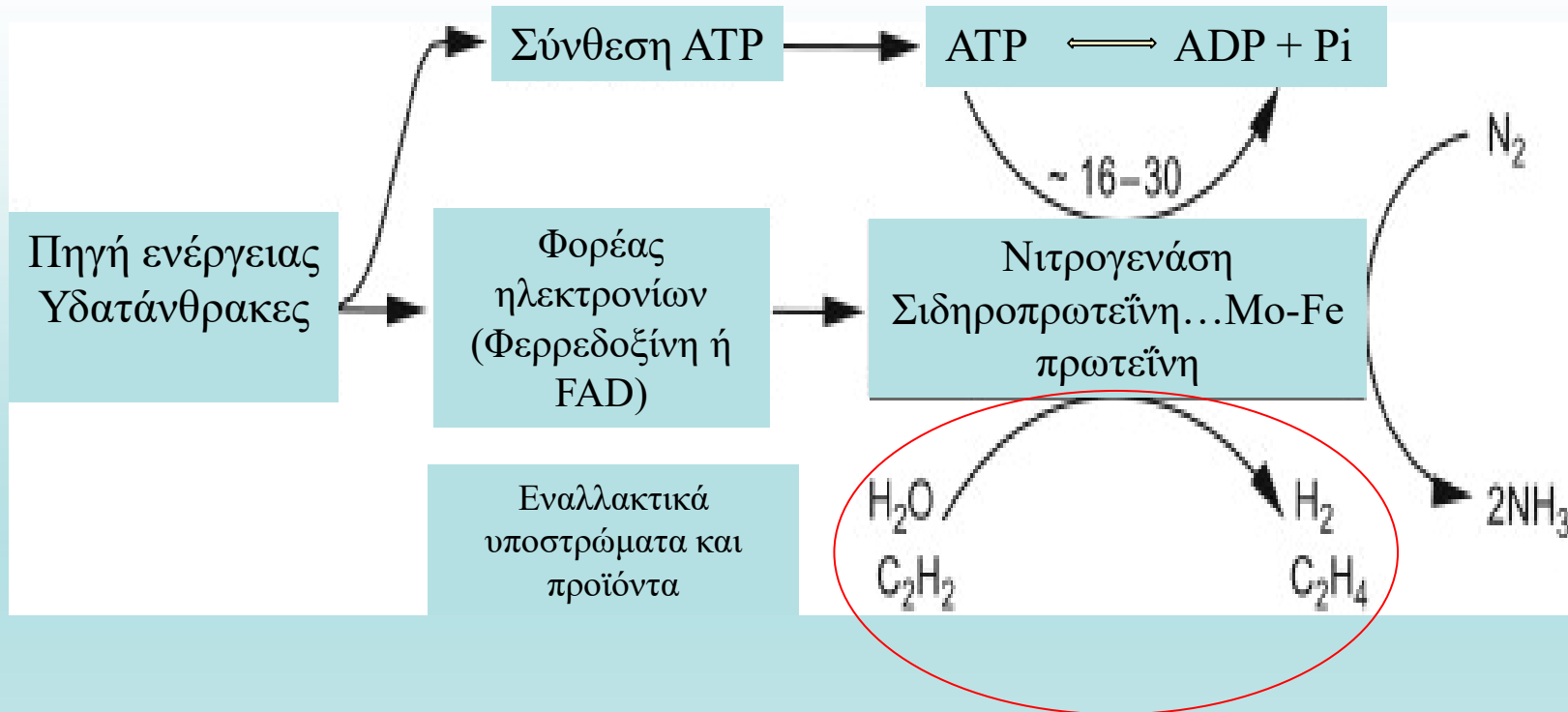
Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

- Οι δύο σιδηροπρωτεΐνες που συνιστούν την νιτρογενάση είναι ευαίσθητες στην παρουσία οξυγόνου, το οποίο τις οξειδώνει και τις αδρανοποιεί.
- Σε σχετικά μεγάλες μάλιστα συγκεντρώσεις O_2 , οι σιδηροπρωτεΐνες της νιτρογενάσης αποδιοργανώνονται μη αντιστρεπτά και καταστρέφονται.
- Για να αποφύγουν την αδρανοποίηση της νιτρογενάσης, τα διάφορα είδη των μικροοργανισμών που δεσμεύουν N_2 έχουν αναπτύξει διάφορους μηχανισμούς προστασίας.

Ανακύκλωση Θρεπτικών Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Η αντίδραση μετατροπής του αζώτου $\text{N}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{NH}_3$



Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

- (α') Μετατροπή του ατμοσφαιρικού αζώτου σε νιτρικά άλατα.
Πραγματοποιείται με δύο τρόπους:
 - Αζωτοδεσμευτικά βακτήρια (διαδικασία συμβίωσης)
 - Μέσω της δράσης ηλεκτρικών εκκενώσεων
- (β') Η διέλευση των νιτρικών μέσα από τις τροφικές αλυσίδες.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

- (γ') Η μετατροπή των πρωτεϊνών σε νιτρικά μέσα στο έδαφος.
 - Το άζωτο βρίσκεται εντός των ζωντανών οργανισμών δεσμευμένο
 - Οι πρωτεΐνες μετατρέπονται σε αμινοξέα
 - Τα αμινοξέα αποδομούνται περαιτέρω
 - Τα νιτρώδη σε μεγάλες ποσότητες μπορεί να είναι τοξικά για τα φυτά

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Ammonium oxidizing bacteria (AOB)	Nitrite oxidizing bacteria (NOB)
Nitrosomonas spp.	Nitrobacter spp.
Nitrosococcus spp.	Nitrococcus spp.
Nitrospira spp.	Nitrospira spp.
Nitrosolobus spp.	Nitrospina spp.
Nitrosovibrio spp.	

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

- (δ') Η μετατροπή των νιτρικών αλάτων σε ατμοσφαιρικό άζωτο.
- (ε') Η απομάκρυνση των νιτρικών του εδάφους μέσω της απόπλυσης.

Κεφάλαιο 2: 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.

Βιολογική αφαίρεση Φωσφόρου

EBPR

- Στα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, ένα ποσοστό του περιεχόμενου, στο επεξεργαζόμενο απόβλητο, φωσφόρου, αξιοποιείται για την ανάπτυξη των μικροβιακών κυττάρων.
- Το ποσοστό αφαίρεσης του φωσφόρου που επιτυγχάνεται κατ' αυτόν τον τρόπο είναι σχετικά χαμηλό και συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 15 και 30%.
- Τι συμβαίνει κατά τη βιολογική αφαίρεση φωσφόρου και ποιοι οργανισμοί την επιτελούν....

Βιολογική αφαίρεση Φωσφόρου

EBPR

- Τα βακτήρια αυτά υπό αναερόβιες συνθήκες και παρουσία επαρκών ποσοτήτων ευκόλως βιοαποδομήσιμων οργανικών ενώσεων (π.χ. πτητικά λιπαρά οξέα), σχηματίζουν πολυ-υδροξυαλκανοϊκά οξέα (PHAs), διασπώντας παράλληλα πολυφωσφορικό (απελευθερώνοντας φωσφορικά) και γλυκογόνο.
- Υπό αερόβιες ή ανοξικές συνθήκες (παρουσία οξυγόνου ή νιτρικών ως ηλεκτρονιακό δέκτη αντίστοιχα) αποθηκεύουν, ως ενδοκυτταρικό πολυφωσφορικό, περισσότερο φώσφορο από αυτό που χρειάζονται για την ανάπτυξη και τη συντήρησή τους.

Βιολογική αφαίρεση Φωσφόρου

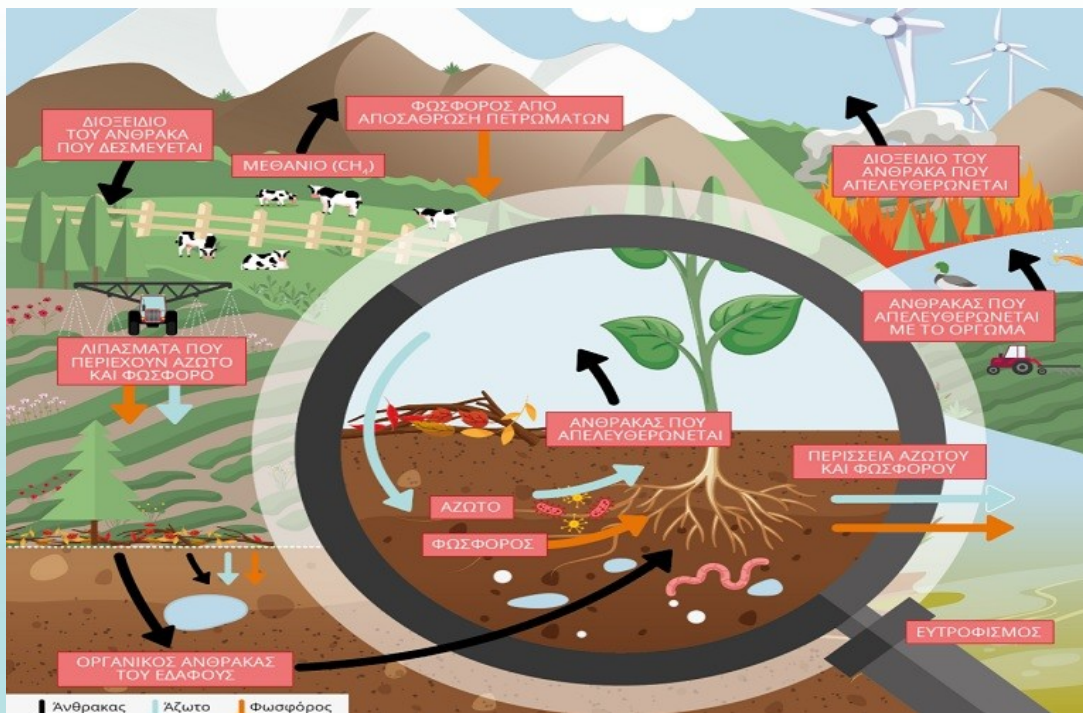
EBPR

- Οι κατά προσέγγιση συνεισφορές των φωσφορικών αλάτων από σημαντικές πηγές στα αστικά υγρά απόβλητα υπολογίζονται σε kg φωσφόρου/κάτοικο/χρόνο (kg P/capita/yr) ως 0,70 από τα ανθρώπινα απόβλητα, 0,40 από απορρυπαντικά πλυντηρίων και 0,15 από τα οικιακά απορρυπαντικά και άλλα καθαριστικά.
- Χωρίς σημαντικά εμπορικά ή βιομηχανικά φορτία, η εισρέουσα συγκέντρωση του συνολικού φωσφόρου μπορεί να κυμανθεί από 6 –8 mg/L P.

Βιολογική αφαίρεση Φωσφόρου

- Αν και αρχικά θεωρήθηκε ότι στελέχη του γένους *Acinetobacter* επιτελούν την εκτεταμένη Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου, εντούτοις διαπιστώθηκε μέσω μοριακών τεχνικών ότι τα πολύ-P βακτήρια ανήκουν στην κλάση β-Proteobacteria.
- Έχει δοθεί στα πολύ-P βακτήρια η ονομασία *Candidatus Accumulibacter phosphatis*.
- Σε πλήρους κλίμακας συστήματα σημαντική συνεισφορά στην εκτεταμένη Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου φαίνεται να έχουν και στελέχη του γένους *Tetrasphaera* (φύλο Actinomycetota - Actinobacteria).
- Ανταγωνιστές των PAOs

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών



Σχ. 9. Ο κύκλος του φωσφόρου.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

- (α') Η διέλευση των φωσφορικών αλάτων του εδάφους μέσα από τις τροφικές αλυσίδες.
 - ❖ Η οργανική φάση του κύκλου είναι απλή
 - ❖ Τα φωσφορικά χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση πρωτεϊνών
 - ❖ Φωσφορικά άλατα ακινητοποιούνται στα σώματα των μ.ο.
- (β') Η απόπλυση των φωσφορικών από το έδαφος.
 - ❖ Τα περισσότερα φωσφορικά του εδάφους απορροφώνται από τα φυτά
 - ❖ Αποθέσεις γκουανό

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ



Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

- Αποθέσεις Guano
 - Γκουανό ή γουανό, (από την ισπανική λέξη guano → huano = κοπριά) ονομάζεται διεθνώς το μείγμα αποσυντεθειμένων περιττωμάτων (κοπράνων και ούρων) και πτωμάτων προερχόμενο από
 - θαλασσοπούλια,
 - νυχτερίδες των σπηλαίων
 - και φώκιες
- Το γκουανό από θαλασσοπούλια παρατηρείται ως συσσώρευση απορριμμάτων κυρίως σε απομονωμένες ακτές και νησιά των ξερών κλιμάτων.



Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

- Αποθέσεις Guano



Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

- (γ') Η απελευθέρωση των φωσφορικών από τα πετρώματα.
- ❖ Η μείωση του φωσφόρου αντισταθμίζεται αρκετά αργά
- ❖ Τα φωσφορικά πετρώματα εξορύσσονται για την παρασκευή φωσφορικών λιπασμάτων (τα οποία και χάνονται εξαιτίας της απόπλυσης)

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ

- Το θείο είναι ένα αμέταλλο χημικό στοιχείο, το 16^ο του περιοδικού πίνακα και εμφανίζεται με διαφορετικούς αριθμούς οξείδωσης μεταξύ -2 και +6.
- Γενικά οι ενώσεις του θείου είναι οσμηρές και δυσάρεστες, με χαρακτηριστικά παραδείγματα τις ενώσεις SO_3 , SO_2 , H_2S .
- Το θείο αποτελεί απαραίτητο χημικό στοιχείο και χρησιμοποιείται ευρύτατα σε πολλές βιοχημικές διεργασίες, ενώ στην οργανική του μορφή το θείο βρίσκεται σε βιταμίνες και σε ένζυμα.

Κεφάλαιο 2: 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

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ

- Ο κύκλος του θείου περιγράφει την κίνηση του μέσα στη γέωσφαιρα και τη βιόσφαιρα. Το θείο απελευθερώνεται από τα πετρώματα μέσω της διάβρωσης και στη συνέχεια αφομοιώνεται από τα μικρόβια και τα φυτά. Στη συνέχεια μεταφέρεται στην τροφική αλυσίδα και αφομοιώνεται από τα φυτά και τα ζώα και απελευθερώνεται όταν αυτά αποσυντίθενται.
- Πολλά βακτήρια μπορούν να αναγάγουν το θείο σε μικρές ποσότητες, αλλά ορισμένα εξειδικευμένα βακτήρια μπορούν να εκτελέσουν αναπνοή εξ ολοκλήρου χρησιμοποιώντας θείο.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ

- Το θείο απελευθερώνεται από γεωλογικές πηγές μέσω της διάβρωσης των πετρωμάτων.
- Μόλις εκτεθεί στον αέρα, συνδυάζεται με το οξυγόνο και μετατρέπεται σε θειικό άλας SO_4^{2-} .
- Τα φυτά και τα μικρόβια αφομοιώνουν τα θειικά άλατα και τα μετατρέπουν σε οργανικές μορφές.
- Καθώς τα ζώα καταναλώνουν φυτά, το θείο μετακινείται μέσω της τροφικής αλυσίδας και απελευθερώνεται όταν οι οργανισμοί πεθαίνουν και αποσυντίθενται.
- Γένος *Desulfuromonas*

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

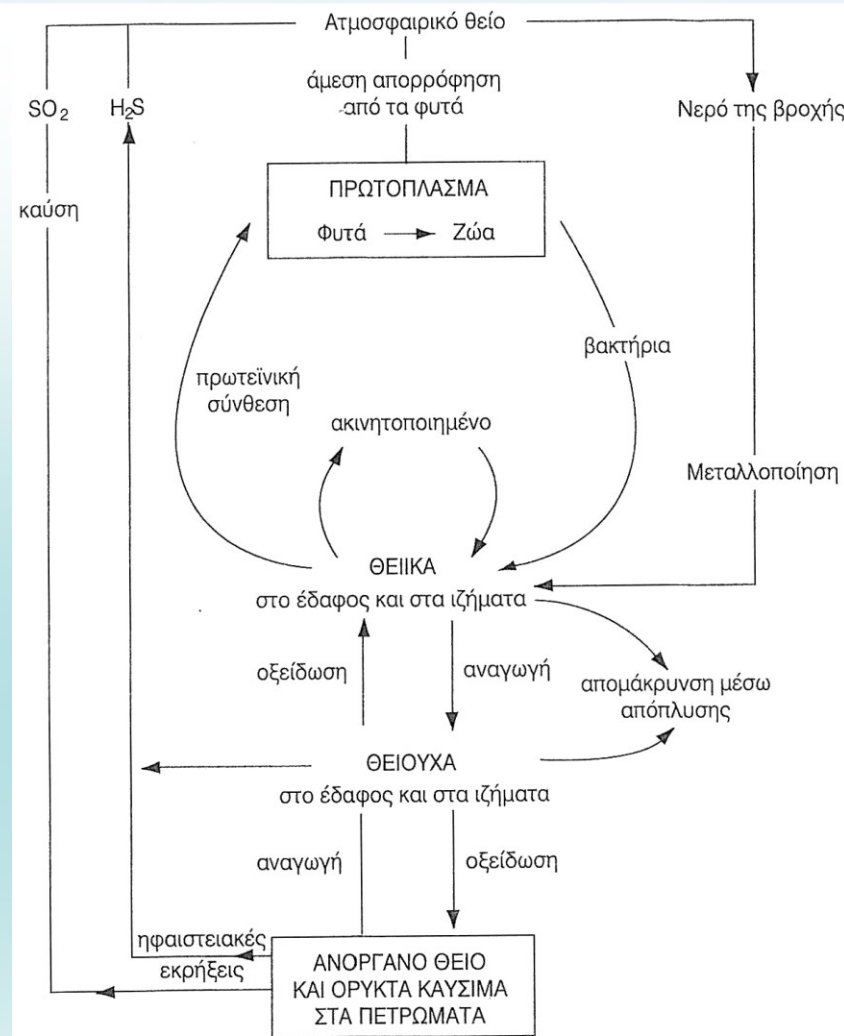
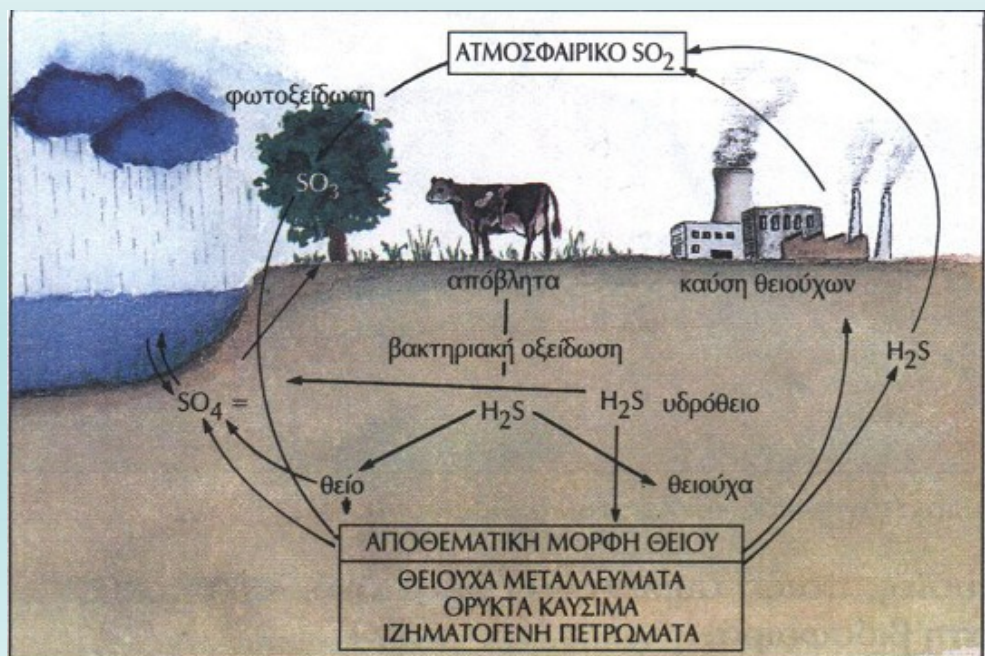
Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ

- Τα πιο γνωστά αναγωγικά βακτήρια του θείου είναι εκείνα του τομέα Archea, τα οποία είναι μερικές από τις αρχαιότερες μορφές ζωής στη Γη.
- Συχνά είναι ακραιόφιλα, ζώντας σε θερμές πηγές και θερμικά ανοίγματα, όπου άλλοι οργανισμοί δεν μπορούν να ζήσουν.
- Πολλά βακτήρια μειώνουν μικρές ποσότητες θεικών αλάτων για να συνθέσουν κυτταρικά συστατικά που περιέχουν θείο- αυτό είναι γνωστό ως αφομοιωτική αναγωγή θεικών αλάτων.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

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

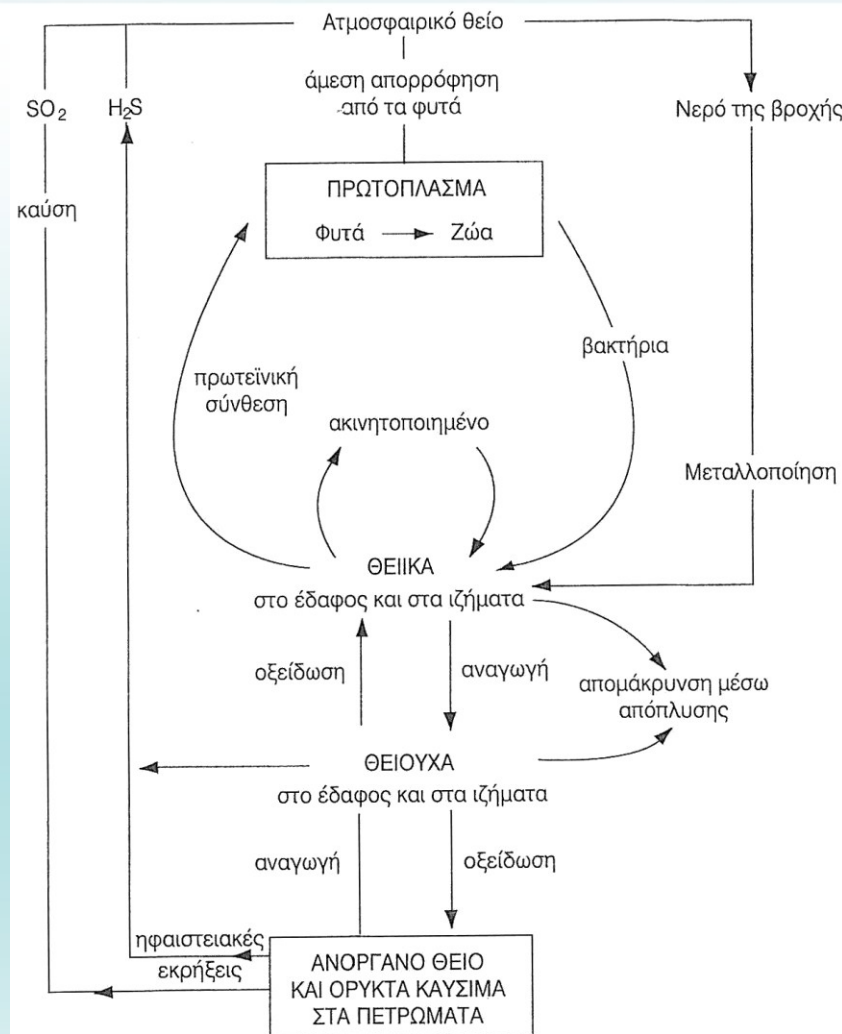
Για ποιο λόγο το θείο είναι απαραίτητο για τους οργανισμούς....



Σχ. 10. Ο κύκλος του θείου.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

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

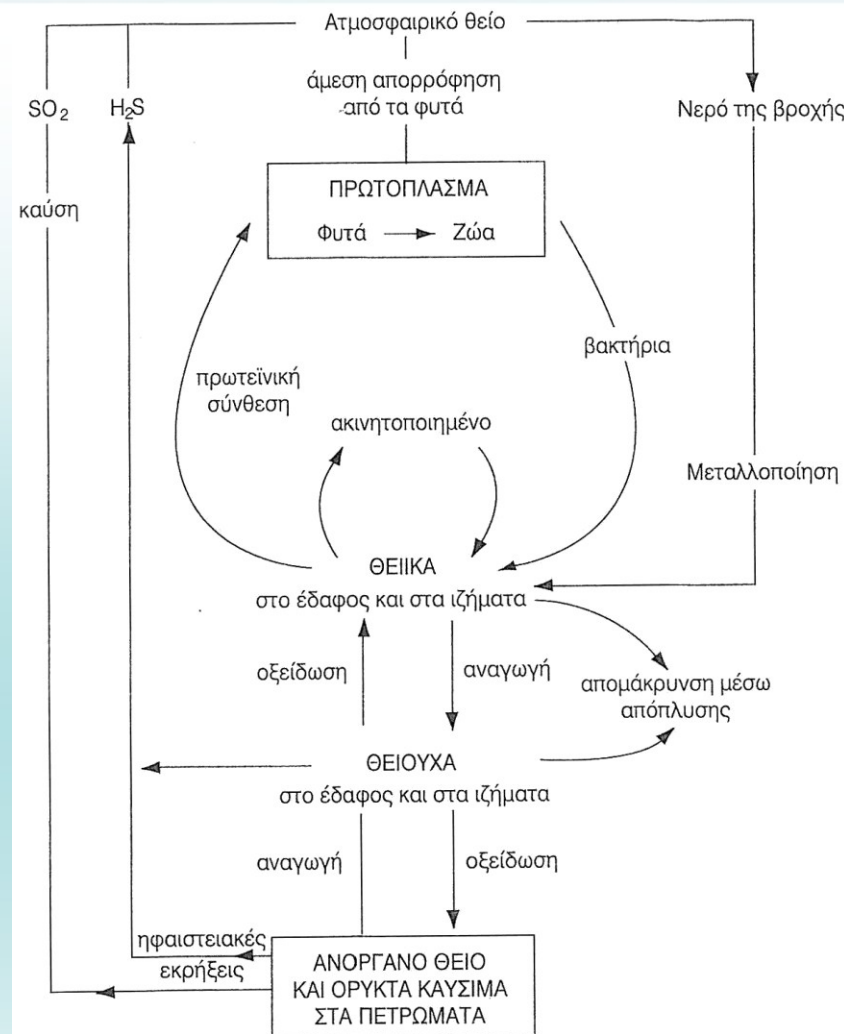


Σχ. 10. Ο κύκλος του θείου.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

- (γ') Το απόθεμα θειικών στα πετρώματα.

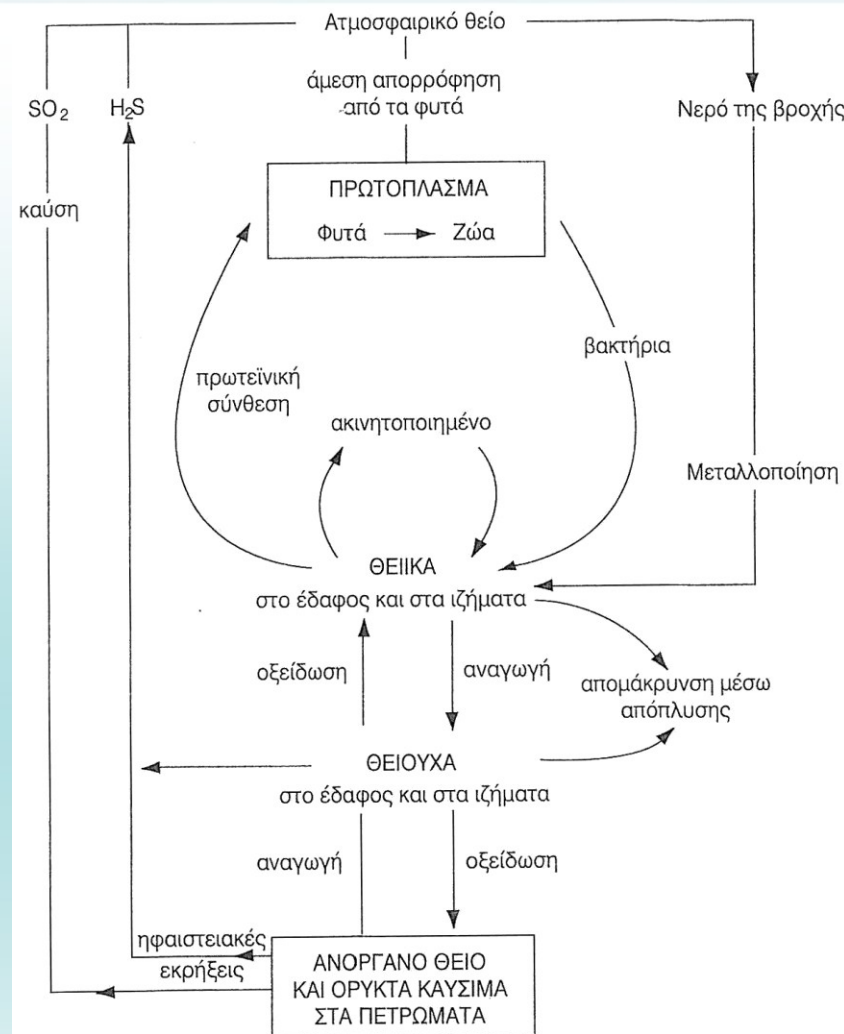
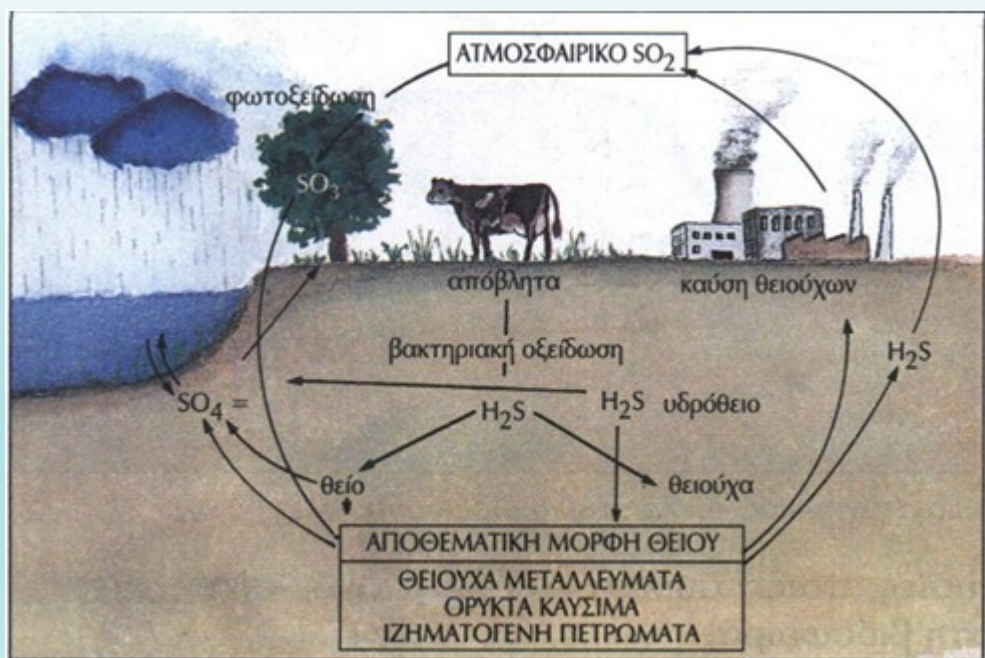
Οι θειούχες ενώσεις που βρίσκονται στα ιζήματα και στο έδαφος, περικλείουν χημική ενέργεια. Τα χημειοσυνθετικά βακτήρια, τα οποία μπορούν να απελευθερώσουν αυτή την ενέργεια και να τη χρησιμοποιήσουν, μετατρέπουν τις θειούχες ενώσεις σε θειικά οξειδώνοντάς τες (προσθέτοντας οξυγόνο).



Σχ. 10. Ο κύκλος του θείου.

Κεφάλαιο 2: Ανακύκλωση Θρεπτικών

- (δ') Η ατμοσφαιρική φάση



Σχ. 10. Ο κύκλος του θείου.