



Γενική Οικολογία

Ενότητα 2: Οικοσυστήματα

Βώκου Δέσποινα
Τμήμα Βιολογίας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

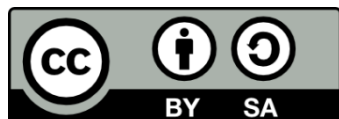
- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





Οικοσυστήματα

Δομή και δυναμική



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Περιεχόμενα ενότητας

1. Δομή οικοσυστήματος
2. Ροή ενέργειας
 - i. Αλυσίδα καταναλωτών διαφορετικών τροφικών επιπέδων
 - ii. Παραγωγικότητα
 - iii. Σαπροβιοτική τροφική αλυσίδα
3. Έδαφος
4. Βιογεωχημικοί κύκλοι
5. Υδρολογικός κύκλος





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Δομή οικοσυστήματος

Οικοσύστημα

Αυτορρυθμιζόμενη οντότητα, αποτελούμενη από αβιοτικά και βιοτικά στοιχεία που συνυπάρχουν και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους ανταλλάσσοντας υλικά και πληροφορίες με κινητήρια δύναμη την ενέργεια

- Οριοθέτηση

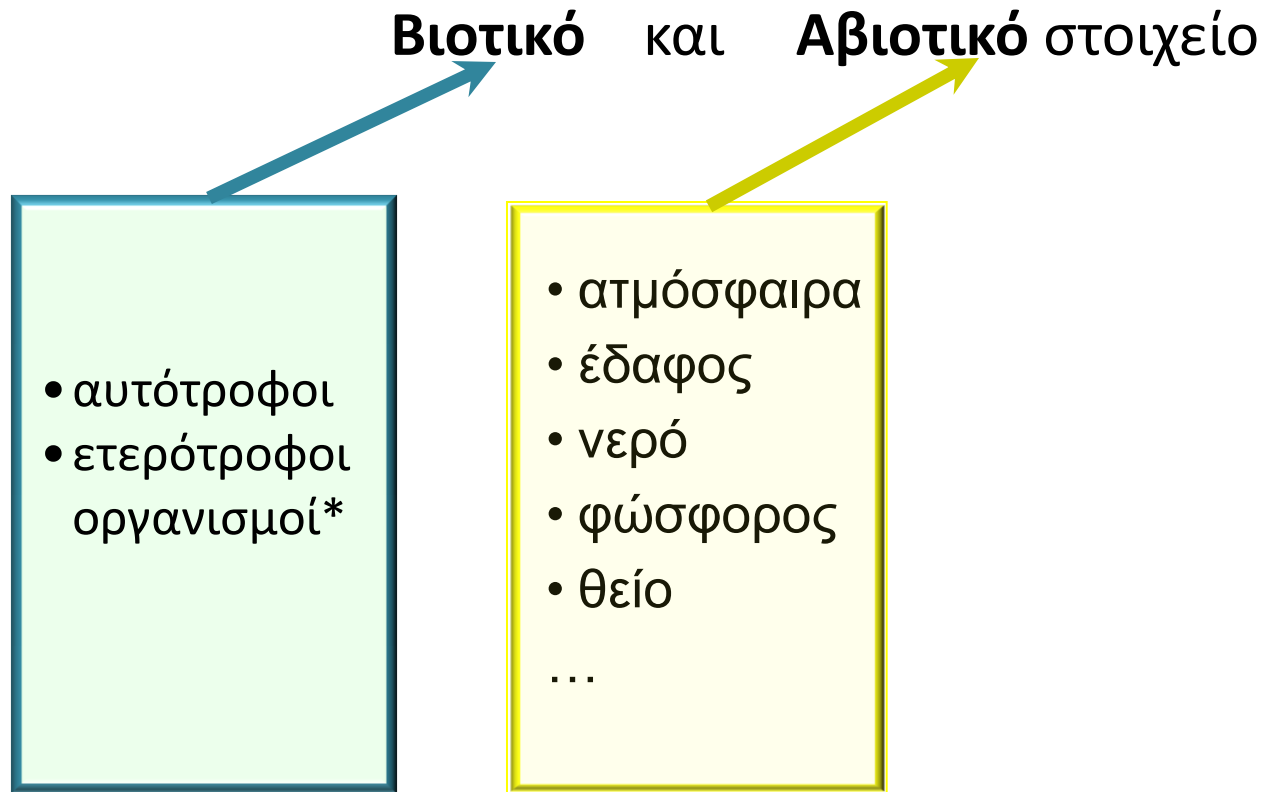
 - Αυθαίρετη - εξαίρεση, η βιόσφαιρα

- Συστατικά στοιχεία

 - Ούτε τυχαία ούτε ανεξάρτητα το ένα του άλλου



Συστατικά στοιχεία του οικοσυστήματος



δηλαδή, η βιοκοινότητα και το φυσικό της περιβάλλον

* μπορούν/δεν μπορούν να δεσμεύσουν ανόργανο άνθρακα



Βιοτικό στοιχείο

Αυτότροφοι



Παραγωγοί
(φωτο- και χημειο-συνθετικοί οργανισμοί)



Ετερότροφοι



Καταναλωτές
(όλα τα ζώα)

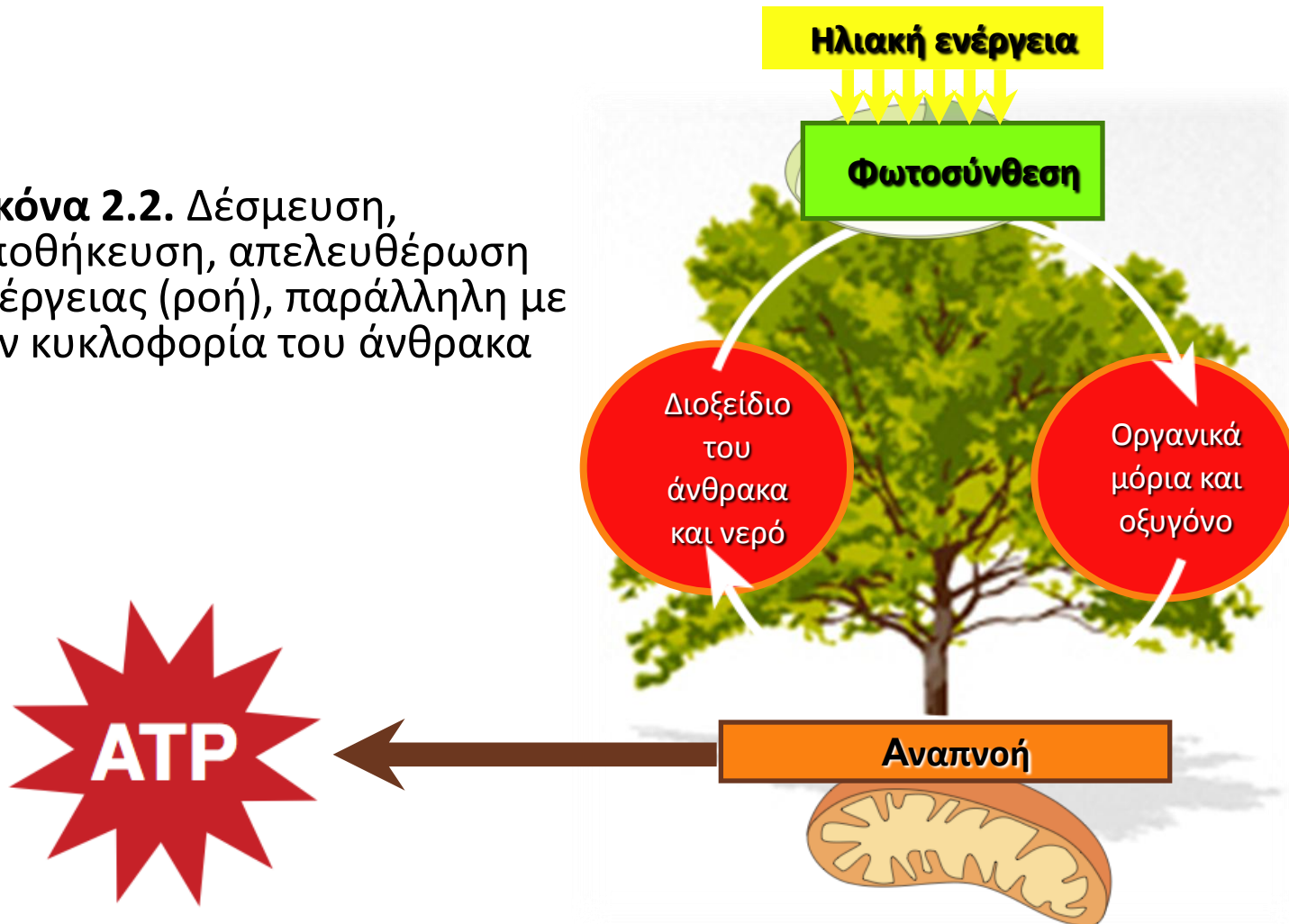


Αποικοδομητές
(υπεύθυνοι για το μετασχηματισμό της νεκρής οργανικής ύλης σε ανόργανη)

Εικόνα 2.1. Ομαδοποίηση οργανισμών σε σχέση με τον τρόπο απόκτησης της απαιτούμενης ενέργειας και το ρόλο τους στους κύκλους της ύλης

Η ενέργεια στα οικοσυστήματα

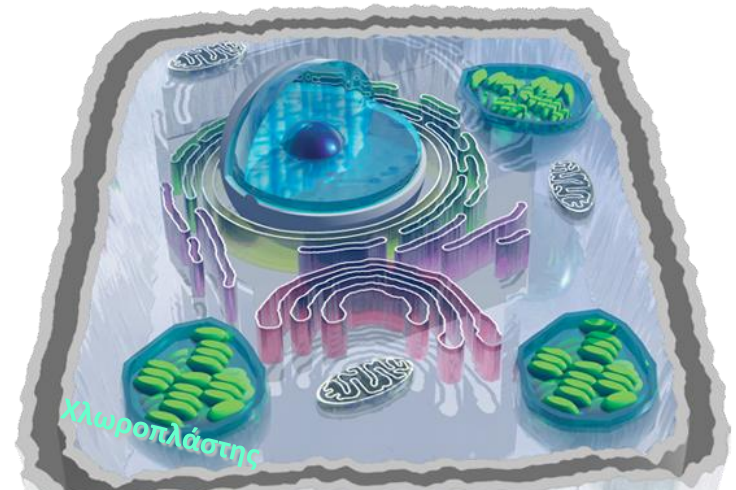
Εικόνα 2.2. Δέσμευση, αποθήκευση, απελευθέρωση ενέργειας (ροή), παράλληλη με την κυκλοφορία του άνθρακα



Φωτοσύνθεση

Σύνθεση με φως

- Διαδικασία μέσω της οποίας ανόργανες ουσίες μετατρέπονται σε **βιομάζα** (οργανική ύλη που αποθηκεύεται στους ιστούς)
- Φωτοσύνθεση μπορούν να κάνουν μόνον αυτοί που έχουν τη δυνατότητα μετασχηματισμού της ηλιακής ενέργειας σε χημική



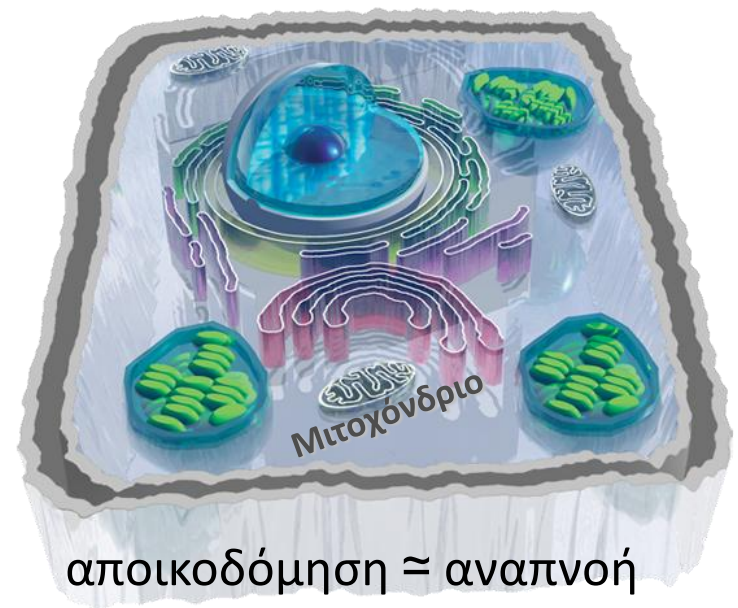
Εικόνα 2.3. Σχηματική απεικόνιση ενός φυτικού κυττάρου



Αναπνοή

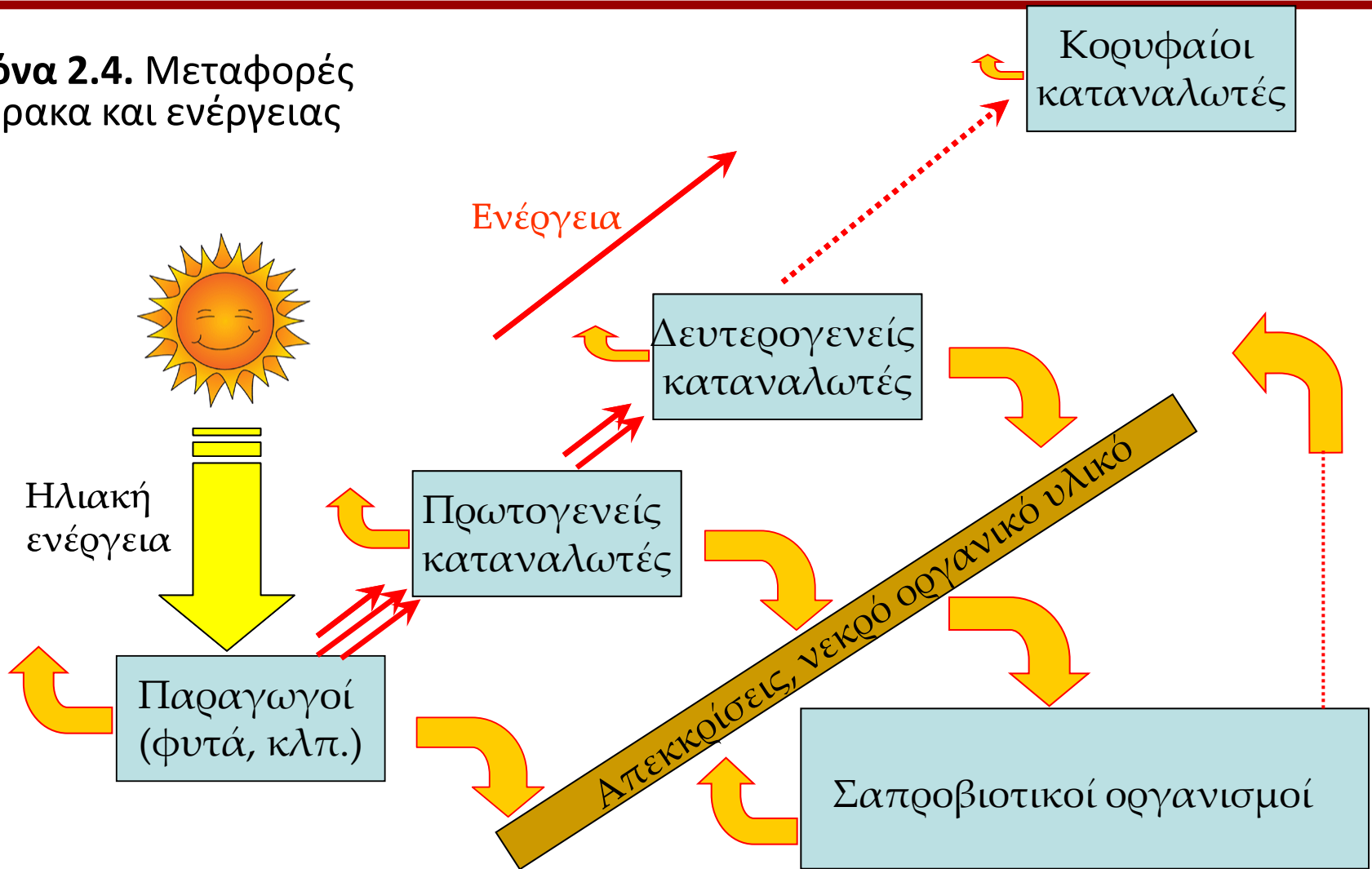
Διαδικασία με την οποία αποδομούνται οι οργανικές ενώσεις απελευθερώνοντας την ενέργεια που περικλείεται στους χημικούς δεσμούς τους

- Μέρος της βιομάζας των οργανισμών χρησιμοποιείται από τους ίδιους για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών - των ατομικών και αυτών για την αναπαραγωγή τους



Ενέργεια και οργανισμοί

Εικόνα 2.4. Μεταφορές άνθρακα και ενέργειας



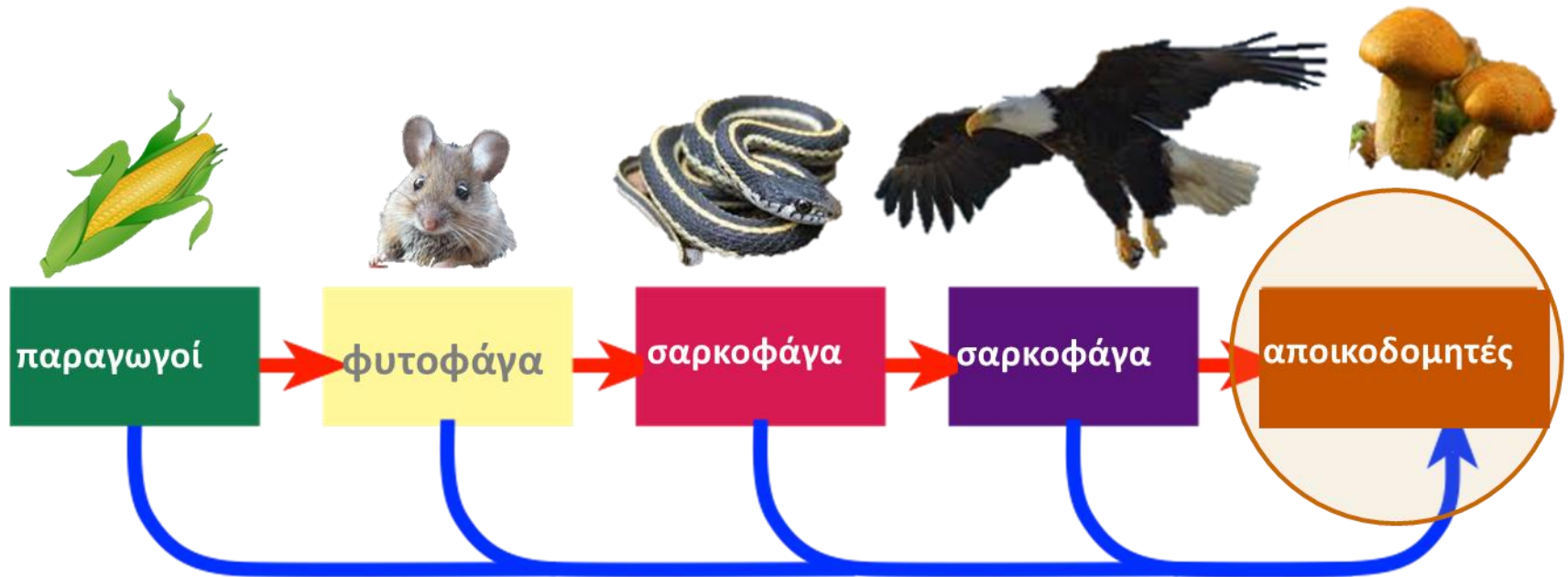


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Ροή ενέργειας

Ροή ενέργειας διαμέσου της τροφής

Εικόνα 2.5. Με τη βιομάζα-τροφή τους, οι ετερότροφοι οργανισμοί παίρνουν εκτός από υλικά και την ενέργεια που είναι ενσωματωμένη στους δεσμούς των οργανικών ενώσεων



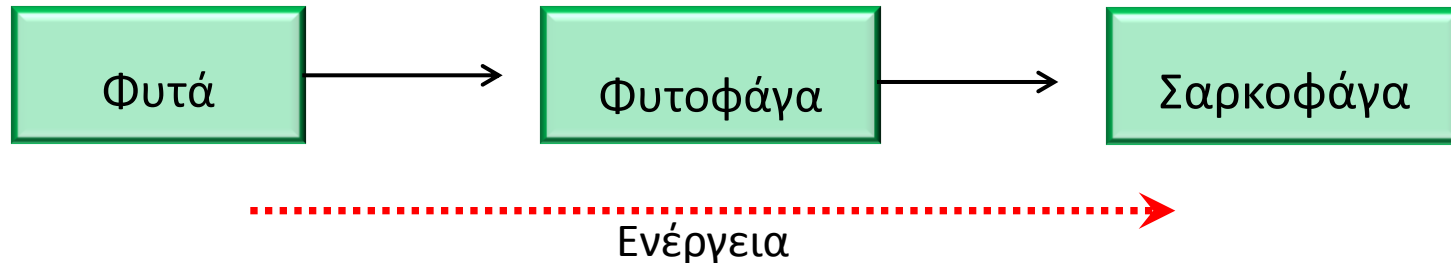
Ροή ενέργειας τροφικές αλυσίδες

Η μεταφορά της ενέργειας που περικλείεται στην τροφή πραγματοποιείται με διακίνηση ζωντανής ή νεκρής βιομάζας

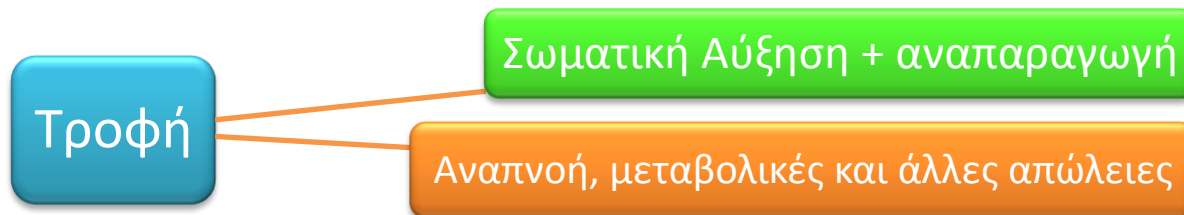
- Ενσωματωμένη σε ζωντανή βιομάζα, μέσα από την *τροφική αλυσίδα των καταναλωτών διαφορετικών επιπέδων*, δηλαδή με το πέρασμά της από σειρά οργανισμών διαφορετικών τροφικών επιπέδων, με καθένα να τρώει αυτούς του κατώτερου και να τρώγεται από αυτούς του ανώτερου
- Ενσωματωμένη σε νεκρή βιομάζα, μέσα από την *σαπροβιοτική τροφική αλυσίδα*, όπου οι καταναλωτές δεν διακρίνονται σε επίπεδα και η οποία οδηγεί στην ανοργανοποίηση του οργανικού υλικού



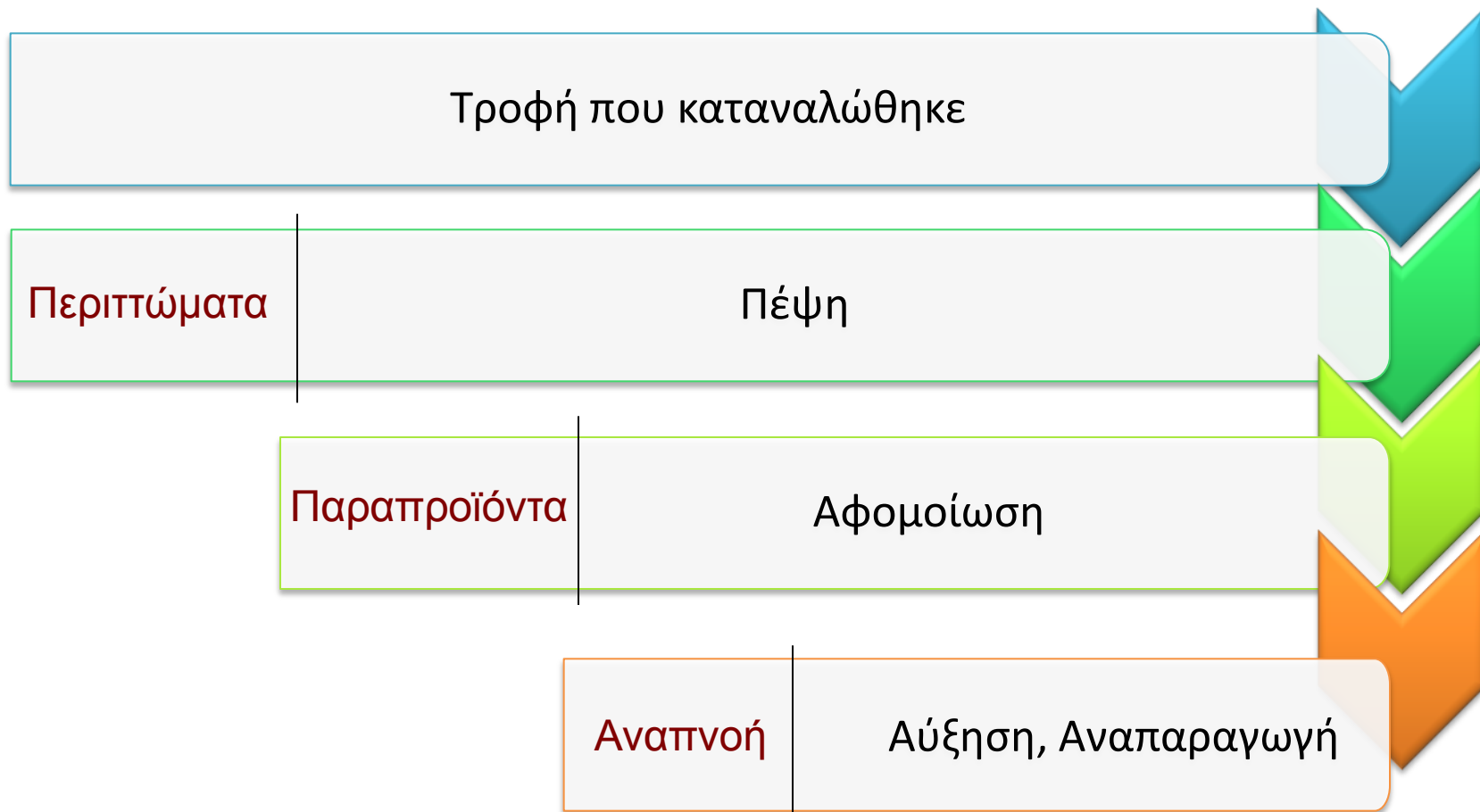
Αλυσίδα καταναλωτών διαφορετικών επιπέδων



Μέρος της τροφής που παίρνει ένας οργανισμός μετατρέπεται σε βιομάζα (του ίδιου ή των απογόνων του), μέρος χρησιμοποιείται για τη διατήρησή του (αναπνοή) και μέρος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί και απεκκρίνεται



Από την τροφή στην αύξηση και στην αναπαραγωγή



Εικόνα 2.6. Απώλειες που συνεπάγονται λιγότερη διαθέσιμη τροφή όσο υψηλότερα στα τροφικά επίπεδα



Ζωντανή βιομάζα

Αφότου η ηλιακή ενέργεια ενσωματωθεί σε φυτική βιομάζα, μπορεί να συμβούν τα ακόλουθα:

- μεταφορά ως ζωντανή ύλη μέσω της αλυσίδας καταναλωτών διαφορετικών επιπέδων
- μεταφορά ως νεκρή ύλη μέσω της σαπροβιοτικής τροφικής αλυσίδας
- διατήρηση για αρκετό διάστημα ως φυτική βιομάζα πριν περάσει στα (α) ή (β)



Τροφική δομή

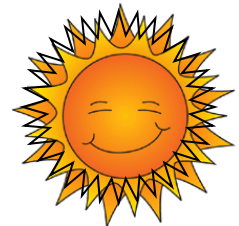
Στην αλυσίδα των καταναλωτών:

- Οι οργανισμοί διακρίνονται σε τροφικά επίπεδα
- Κάθε επίπεδο αποτελεί τροφή για το ανώτερο και καταναλωτή για το κατώτερο

Κάθε οικοσύστημα έχει μια τροφική δομή

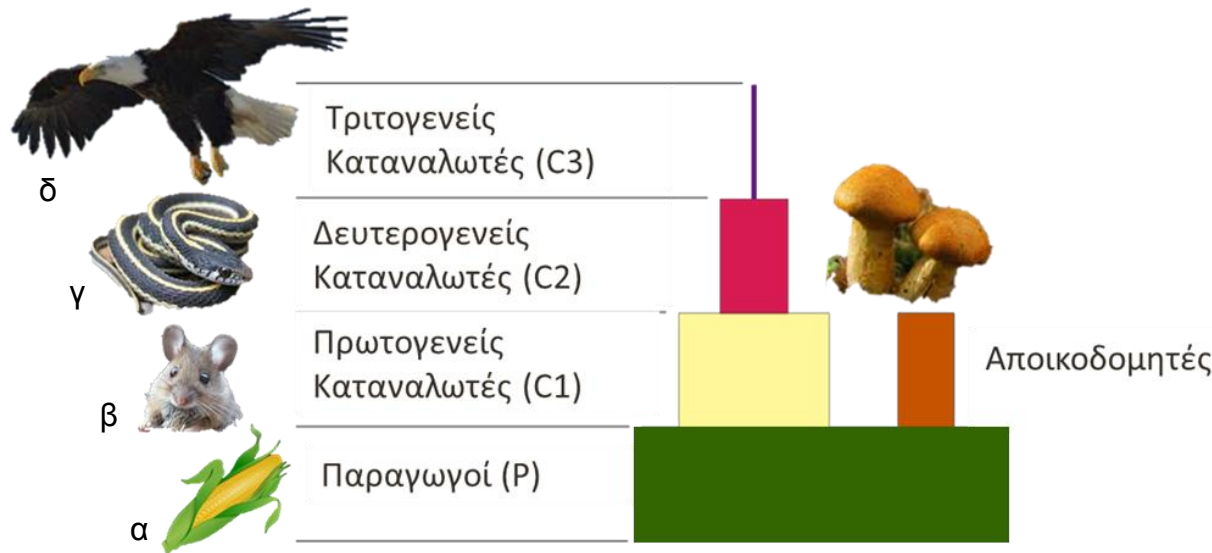
Μπορεί να περιγραφεί με βάση τον αριθμό τροφικών επιπέδων

Υπάρχουν μικρότερα ποσά βιομάζας όπως και ενσωματωμένης/διαθέσιμης ενέργειας όσο πιο ψηλά στα τροφικά επίπεδα



Τροφικά επίπεδα - Τροφικές πυραμίδες

- Οι τροφικές πυραμίδες μπορεί να αφορούν αριθμό, βιομάζα ή ενεργειακό περιεχόμενο των οργανισμών που τις συγκροτούν
- Ο αριθμός των τροφικών επιπέδων μιας τροφικής πυραμίδας ποικίλλει ανάλογα με το σύστημα υπό μελέτη



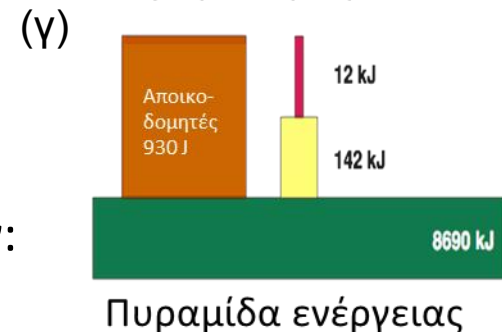
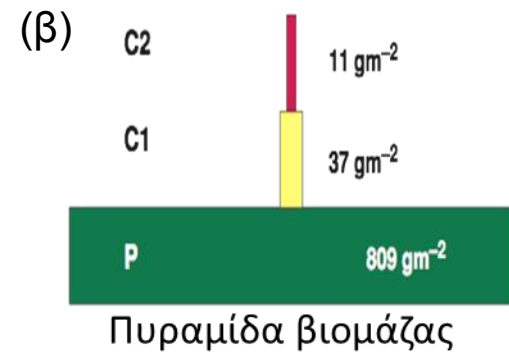
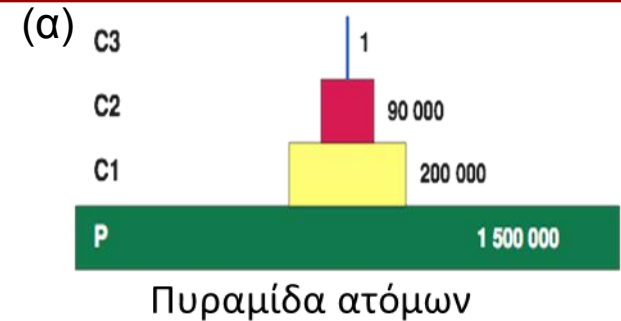
Εικόνα 2.7. Κλασική τροφική πυραμίδα τεσσάρων επιπέδων (οι αποικοδομητές δεν αποτελούν τυπικό μέρος της πυραμίδας)



Τροφικές πυραμίδες

- *Πυραμίδες ατόμων/αριθμών*
Κάθε ράβδος αντιστοιχεί στον αριθμό ατόμων που συγκροτούν κάθε τροφικό επίπεδο (ανά μονάδα επιφάνειας, συνήθως 0,1 ha)
- *Πυραμίδες βιομάζας*
Κάθε ράβδος αντιστοιχεί στο ξηρό βάρος των οργανισμών κάθε τροφικού επιπέδου (ανά μονάδα επιφάνειας)
- *Πυραμίδες ενέργειας*
Το μέγεθος κάθε ράβδου είναι ανάλογο της ενέργειας (π.χ. kJ) που είναι αποθηκευμένη σε κάθε τροφικό επίπεδο (ανά μονάδα επιφάνειας/χρόνου)

Εικόνα 2.8. Παραδείγματα τροφικών πυραμίδων: (α) αριθμών, (γ) βιομάζας, (δ) ενέργειας



Πυραμίδες ενέργειας

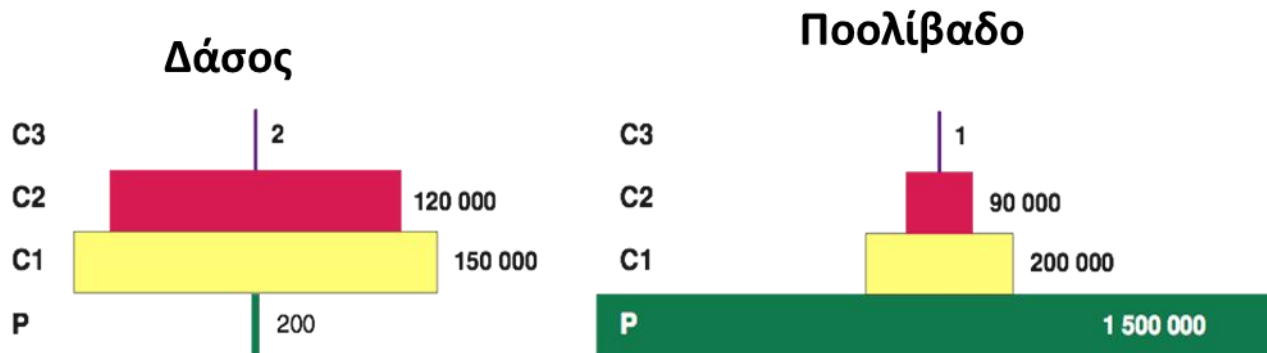
- Το ενεργειακό περιεχόμενο κάθε τροφικού επιπέδου είναι ανάλογο της βιομάζας του

Παρόμοια ποσά ξηρής βιομάζας έχουν περίπου το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο, ανεξαρτήτως τροφικού επιπέδου
- Έτσι, οι πυραμίδες ενέργειας είναι παρόμοιες με τις πυραμίδες βιομάζας



Ανεστραμμένες πυραμίδες 1

- Στην τυπική πυραμίδα, παρατηρείται προοδευτικά μείωση όσο προχωράμε από το κατώτερο προς ανώτερα τροφικά επίπεδα
- Υπάρχουν και εξαιρέσεις, οπότε προκύπτουν *ανεστραμμένες πυραμίδες*, π.χ. σε δάση, όπου μικρός αριθμός παραγωγών (μεγάλου μεγέθους) μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο αριθμό καταναλωτών



Εικόνα 2.9. Ανεστραμμένη πυραμίδα αριθμών σε δάσος, σε αντιδιαστολή με τυπική πυραμίδα σε ποολίβαδο



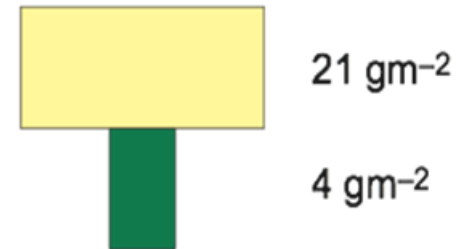
Ανεστραμμένες πυραμίδες 2

- Οι πυραμίδες βιομάζας μπορούν να αναστραφούν και στα *υδάτινα συστήματα*, όπου οι παραγωγοί (φυτοπλαγκτόν) είναι οργανισμοί μικρού μεγέθους, με πολύ γρήγορους ρυθμούς αύξησης και αναπαραγωγής
- Για την κατασκευή των πυραμίδων βιομάζας χρησιμοποιείται το ξηρό βάρος

Εικόνα 2.10.
Ανεστραμμένη
πυραμίδα βιομάζας σε
υδάτινο περιβάλλον

Ζωοπλαγκτό
και πανίδα
στον πυθμένα

Φύκη



Ομαδοποίηση καταναλωτών

Διάκριση σε πρωτογενείς, δευτερογενείς..., συμβατική
(με βάση το ανώτερο επίπεδο
απ' όπου προμηθεύονται την τροφή τους)



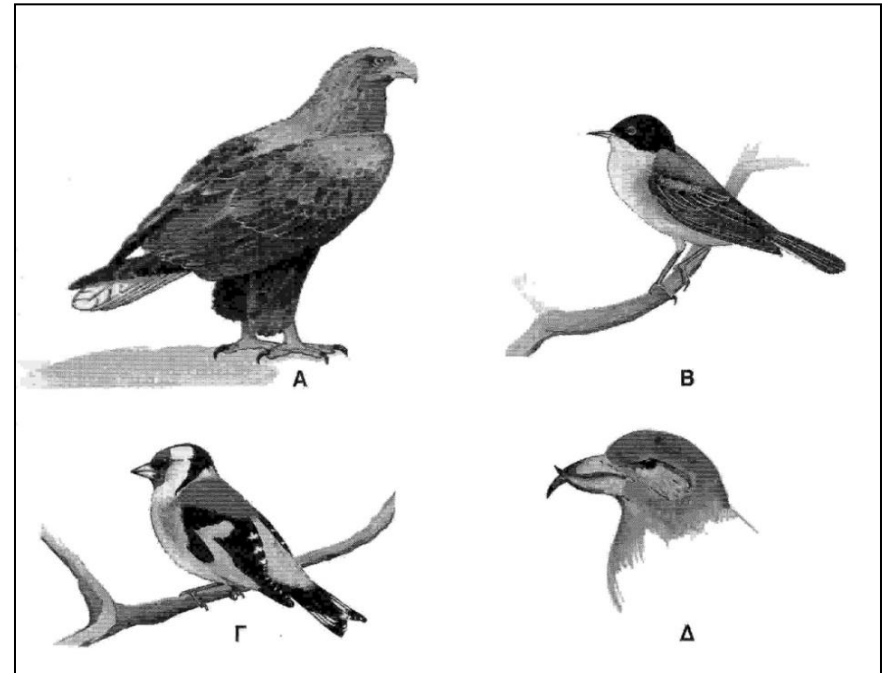
Διάκριση με βάση τροφικές προτιμήσεις:
γενικοί, ειδικοί



Χαρακτηριστικά καταναλωτών σε σχέση με την τροφή τους



Εικόνα 2.11. Η διαίτα της κόκκινης αλεπούς στις διαφορετικές εποχές του έτους
Η διαθεσιμότητα των τροφικών πηγών είναι ο κυριότερος παράγοντας που τη μεταβάλλει



Εικόνα 2.12. Η μορφή προδίδει τη συμπεριφορά: (α) ο θαλασσαετός (*Haliaeetus albicilla*) με ισχυρό και γαμψό ράμφος (όπως όλα τα αρπακτικά), (β) ο εντομοφάγος μαυροτσιροβάκος (*Sylvia melanocephala*) με ράμφος λεπτό, μακρύ, μυτερό, (γ) η καρδερίνα (*Carduelis carduelis*) με ράμφος μήκους ίσου με το πάχος, τυπικό για σποροφάγο πουλί, (δ) ο ελατοσταυρομούτης (*Loxia curvirostra*) με ειδικό ράμφος, κατάλληλο να ανοίγει τους κώνους των κωνοφόρων και να αφαιρεί τους σπόρους που αποτελούν την τροφή του



Παραγωγικότητα

Ιστάμενη Βιομάζα (standing biomass)

Ζωντανή οργανική ύλη, σε επίπεδο οργανισμών ή συστήματος, που υπάρχει στη δεδομένη χρονική στιγμή που γίνεται μια εκτίμηση (σχετική με αυτήν)



Παραγωγικότητα

[Βιομάζα + χρόνος + επιφάνεια]

Βιομάζα που παράγεται στη μονάδα της επιφάνειας και στη μονάδα του χρόνου

Εικόνα 2.13. Η παραγωγικότητα περιορίζεται από διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες και κατά συνέπεια ποικίλλει μεταξύ συστημάτων



Διάκριση παραγωγικότητας

Παραγωγικότητα (αλλιώς): η ποσότητα οργανικής ουσίας που προστίθεται σε ένα σύστημα στη μονάδα του χρόνου και στη μονάδα της επιφάνειας (π.χ. τόνοι/έτος/km²)



Διαφορά στη χρήση από γεωργία, όπου αφορά μόνο το χρήσιμο στον άνθρωπο τμήμα

Διακρίνεται σε

- Πρωτογενή (primary productivity) που αφορά τα φυτά
- Δευτερογενή (secondary productivity) που αφορά τα ζώα

Και οι δύο περαιτέρω διακρίνονται σε

- Μικτή (gross productivity) που αναφέρεται στο ποσό ενέργειας που δεσμεύεται
- Καθαρή (net productivity) που αναφέρεται στο ποσό που αποθηκεύεται

Η καθαρή προκύπτει από τη μικτή όταν αφαιρεθούν οι αναπνευστικές απώλειες

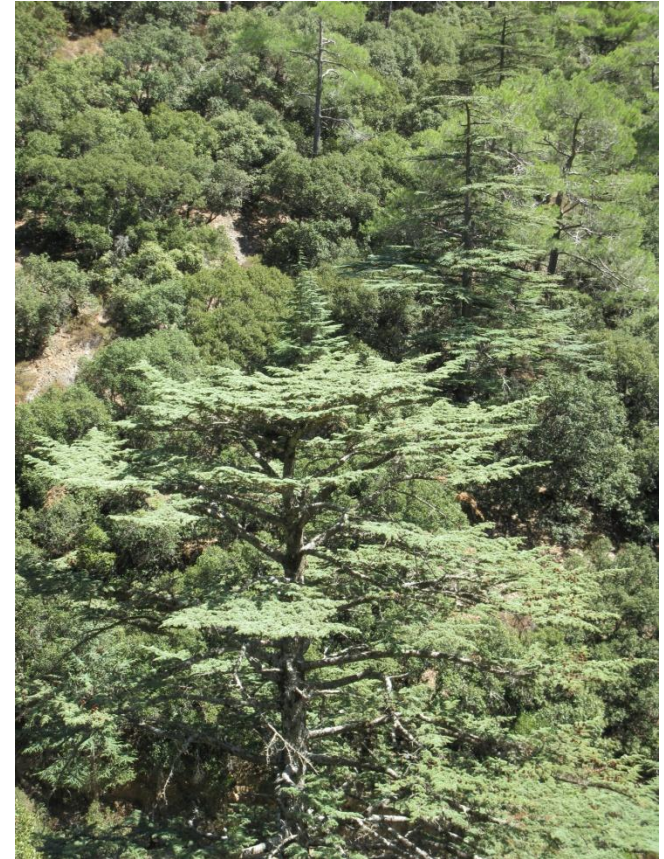


Οικολογική αποτελεσματικότητα

= Ο λόγος της μικτής παραγωγικότητας σε οποιοδήποτε τροφικό επίπεδο προς τη μικτή παραγωγικότητα στο τροφικό επίπεδο που προηγείται:

Οικολογική αποτελεσματικότητα = A_n/A_{n-1}

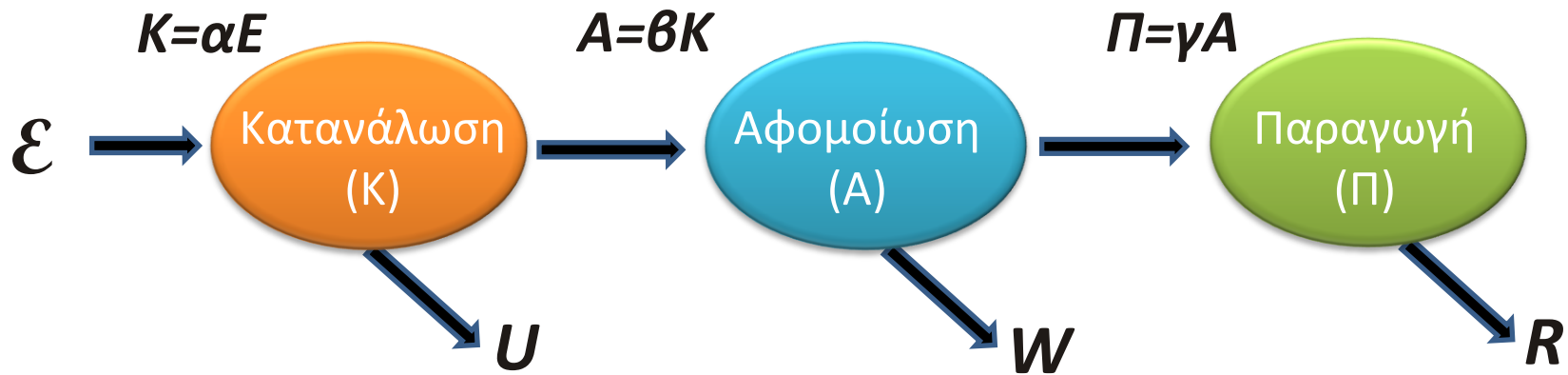
- Κατά μέσο όρο, 10%
- Κυμαίνεται από 2%-24%, για επίπεδο φυτοφάγων και πάνω
- Φυτά, μόνον 1%



Εικόνα 2.14. Παραγωγοί στο δάσος κέδρων της Κύπρου



Ειδικές αποτελεσματικότητες 1



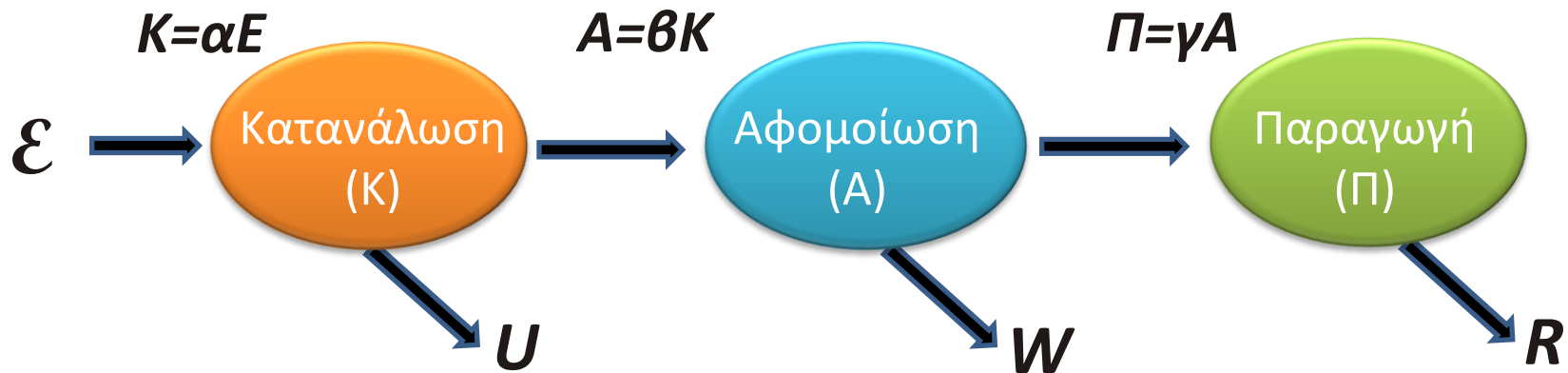
Εικόνα 2.15. Στη διαδικασία μετατροπής 'βιομάζα \rightarrow βιομάζα', υπάρχουν 3 βήματα

Για κάθε βήμα, μπορούμε να εκτιμήσουμε την αποτελεσματικότητα της αντίστοιχης διαδικασίας

- Αποτελεσματικότητα πρόσληψης/κατανάλωσης
- Αποτελεσματικότητα αφομοίωσης
- Αποτελεσματικότητα παραγωγής βιομάζας

E = διαθέσιμη ποσότητα βιομάζας, K = μέγεθος πρόσληψης/κατανάλωσης, A = μέγεθος αφομοίωσης, Π = μέγεθος ενσωμάτωσης/παραγωγής νέας βιομάζας, α, β, γ = συντελεστές ειδικής αποτελεσματικότητας, U, W, R = απώλειες διαδικασίας

Ειδικές αποτελεσματικότητες 2



- Αποτελεσματικότητα **κατανάλωσης** (exploitation efficiency) (α) = ποσοστό της διαθέσιμης ενέργειας υπό μορφή βιομάζας (E) σε ένα τροφικό επίπεδο που προσλαμβάνεται (καταναλώνεται) από το ανώτερο
- Αποτελεσματικότητα **αφομοίωσης** (assimilation efficiency) (β) = ποσοστό που αφομοιώνεται σε σχέση με το μέγεθος που προσλαμβάνεται
- Αποτελεσματικότητα **παραγωγής βιομάζας** (production efficiency) (γ) = ποσοστό που ενσωματώνεται σε καινούρια βιομάζα σε σχέση με το μέγεθος που αφομοιώνεται

E = διαθέσιμη ποσότητα βιομάζας, K = μέγεθος πρόσληψης, A = μέγεθος αφομοίωσης, Π = μέγεθος ενσωμάτωσης, U , W , R = απώλειες

Αποτελεσματικότητες για ομάδες ειδών

Αποτελεσματικότητα κατανάλωσης ($\alpha = K/\epsilon$)

- Μικρή για φυτοφάγα ζώα (τροφική ακαταλληλότητα)
- ~ 5% σε δάση, 25% σε ποολίβαδα
- Μεγάλη (~ 50%) σε βιοκοινότητες που στηρίζονται στο φυτοπλαγκτό



Αποτελεσματικότητα αφομοίωσης ($\beta = A/K$)

- Υψηλή (ακόμα και 80%) για σαρκοφάγα ζώα
- Χαμηλή (20-50%) για φυτοφάγα (εξαρτάται από συνεργασία με βακτήρια)



Αποτελεσματικότητα παραγωγής ($\gamma = \Pi/A$)

- Ποικίλλει έντονα μεταξύ ταξινομικών μονάδων
- Στα ασπόνδυλα ζώα, μεγαλύτερη (25-40%) απ' ό,τι στα σπονδυλωτά
- Στα σπονδυλωτά, μεγαλύτερη στα εξώθερμα (10% / ενδόθερμα, 1%-2%)



Αποτελεσματικότητα παραγωγής βιομάζας από ζώα

Ζωικές ομάδες	Αποτελεσματικότητα (%)
Εντομοφάγα ζώα	0,9
Πουλιά	1,3
Μικρά θηλαστικά	1,5
Άλλα θηλαστικά	3,1
Ψάρια και κοινωνικά έντομα	9,8
Ασπόνδυλα (εκτός από έντομα)	25,0
Μη κοινωνικά έντομα	40,7

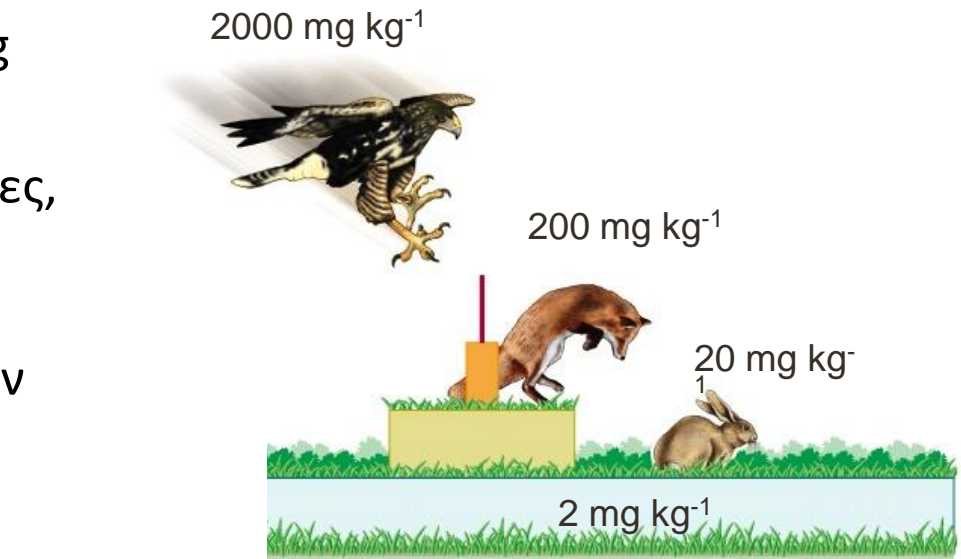


Ροή ενέργειας και βιοσυσώρευση

Κατανοώντας τον τρόπο με τον οποίο ρέει η ενέργεια, μπορούμε να καταλάβουμε το φαινόμενο της βιοσυσώρευσης

Εάν η αποτελεσματικότητα = 10%, οι οργανισμοί θα καταναλώσουν 10 kg για να ενσωματώσουν 1 kg (κατά προσέγγιση)

Εάν στη βιομάζα υπάρχουν ουσίες, για τις οποίες οι οργανισμοί δεν διαθέτουν μηχανισμούς απέκκρισης, αυτές θα αποτεθούν στους ιστούς τους κατά 100%

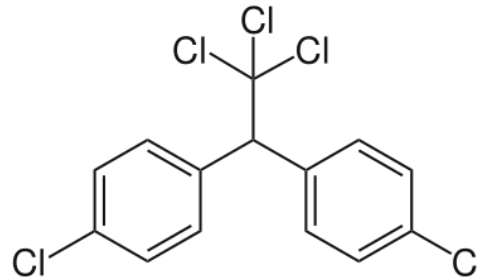


Εικόνα 2.16. Από συγκέντρωση 2 mg kg⁻¹ στα φυτά, μια ουσία που δεν μπορεί να απεκκριθεί μπορεί να καταλήξει σε συγκέντρωση κατά τρεις τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη σε ένα αρπακτικό



Ροή ενέργειας και βιοσυσσώρευση κλασικό παράδειγμα

Εντομοκτόνο DDT



Από τα έντομα στα πουλιά: λέπτυνση του κελύφους των αυγών, αύξηση θνησιμότητας, μείωση πληθυσμών

αλλά και στον άνθρωπο: βρέθηκε στο ανθρώπινο γάλα

Μετά την απαγόρευσή του, άρχισαν να ανακάμπτουν οι πληθυσμοί των ειδών που είχαν επιβαρυνθεί



Πρωτογενής παραγωγικότητα

Χέρσος: $\sim 110-120 \times 10^9$ τόνοι ξ.β.

Θάλασσα: $\sim 50-60 \times 10^9$ τόνοι ξ.β.

Ωκεανοί

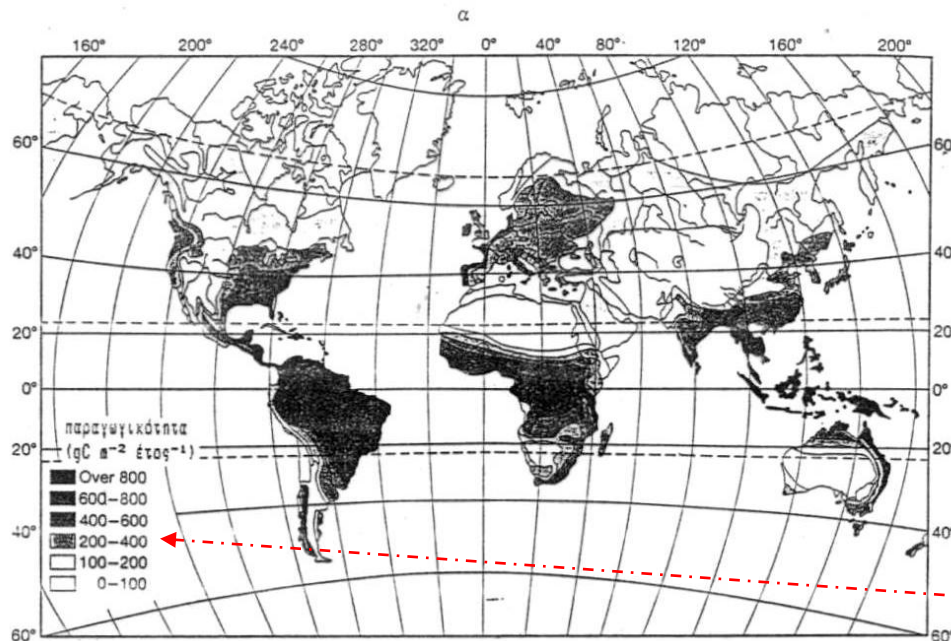
- 2/3 επιφάνειας Γης
- Στη μεγαλύτερη έκτασή τους, θαλάσσιες έρημοι

‘Έρημοι’

- Παραγωγικότητα $< 400 \text{ g m}^{-2} \text{ έτος}^{-1}$
- Τέτοια παραγωγικότητα αντιστοιχεί σε 90% θάλασσας και 30% χέρσου



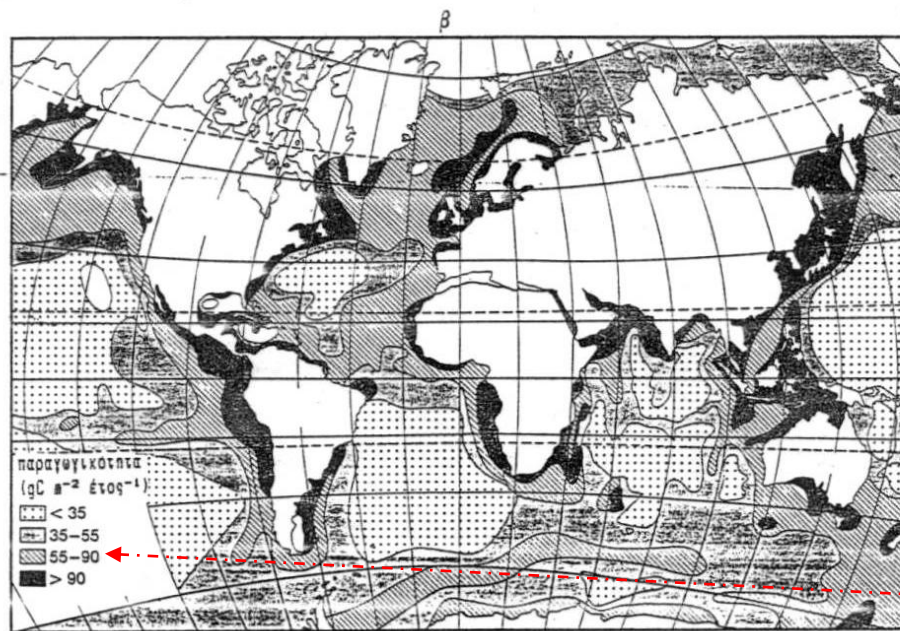
Χερσαίο
περιβάλλον



$g C m^{-2} \acute{\epsilon}τος^{-1}$

<0-100
100-200
200-400
400-600
600-800
>800

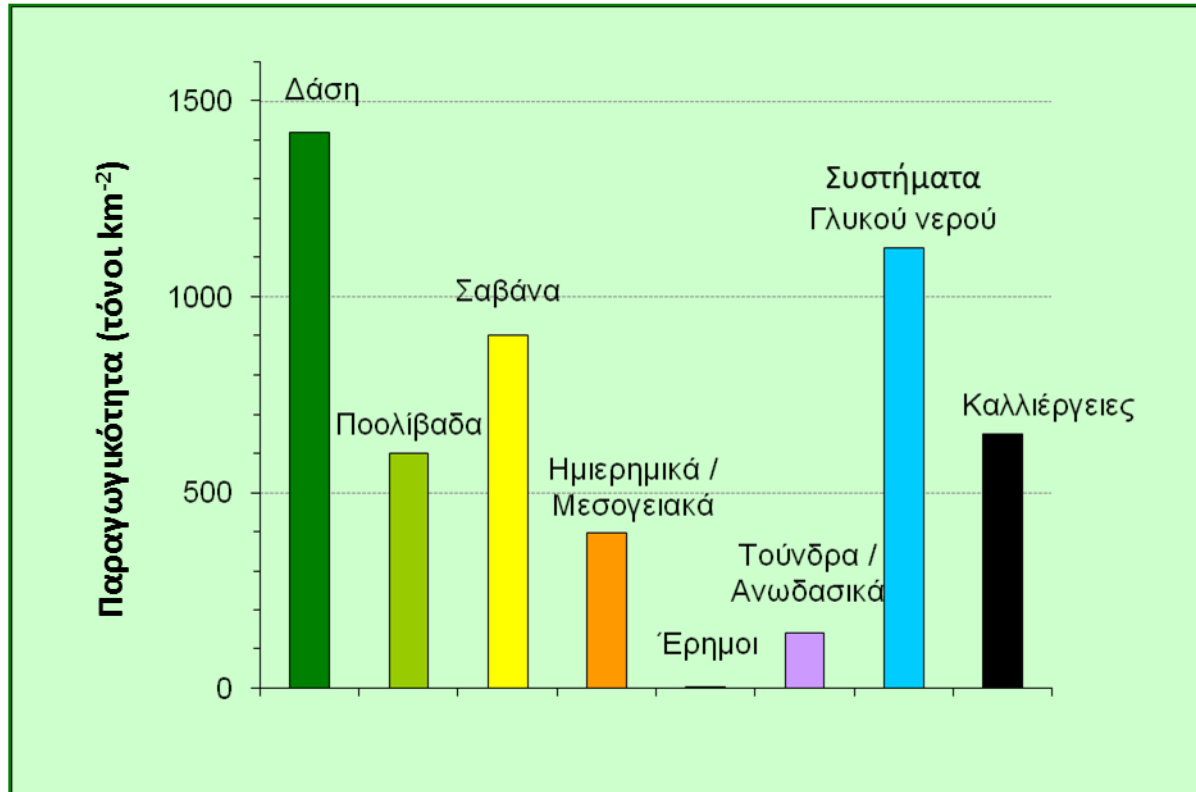
Θαλάσσιο
περιβάλλον



<35
35-55
55-90
>90

Εικόνα 2.17. Παράσταση της καθαρής πρωτογενούς παραγωγικότητας (α) στη χέρσο, (β) στους ωκεανούς - σε παγκόσμια κλίμακα

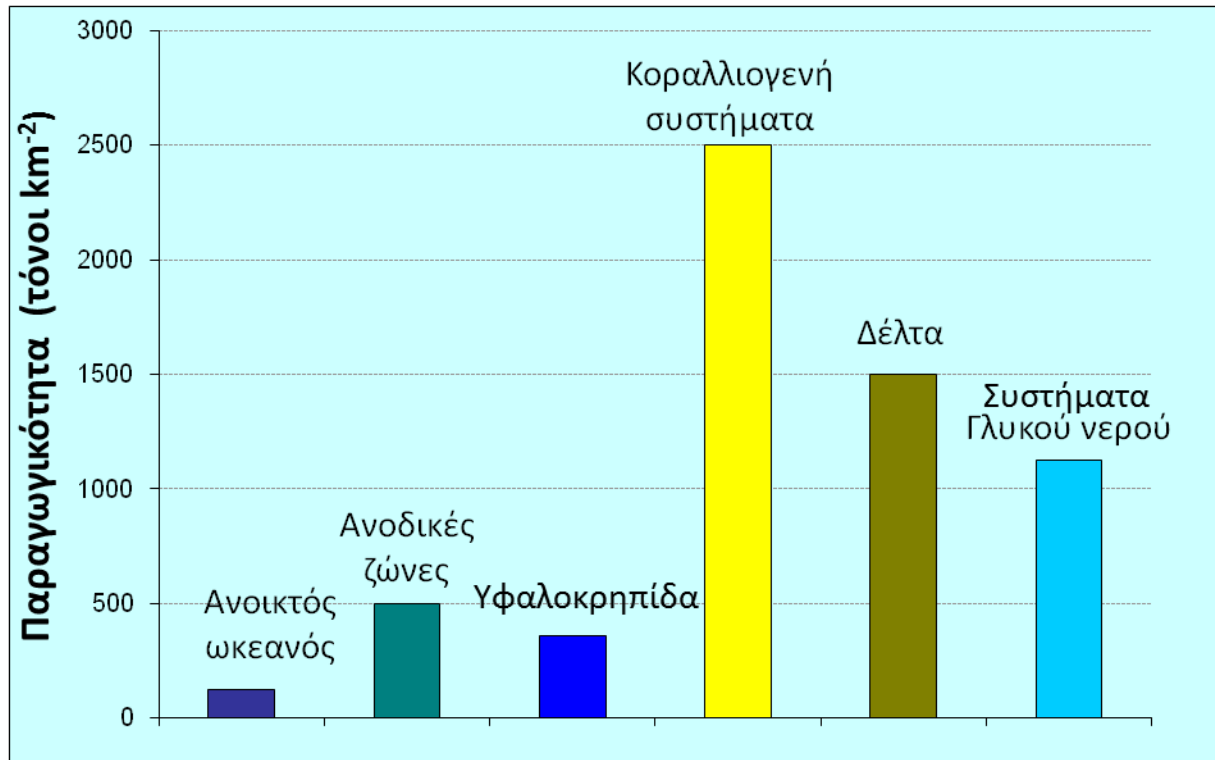
Παραγωγικότητα χερσαίων συστημάτων



Εικόνα 2.18. Συγκριτική παράθεση της μέσης ετήσιας πρωτογενούς παραγωγικότητας σε συστήματα του χερσαίου περιβάλλοντος



Υδάτινα συστήματα



Εικόνα 2.19. Συγκριτική παράθεση της μέσης ετήσιας πρωτογενούς παραγωγικότητας σε συστήματα του υδάτινου περιβάλλοντος

Βιομάζα και παραγωγικότητα 1

Τύπος οικοσυστήματος	Έκταση (10 ⁶ km ²)	Καθαρή πρωτογενής παραγωγή (g m ⁻² ή t km ⁻²)		Παγκόσμια καθαρή παραγωγή (10 ⁹ t)	Βιομάζα στη μονάδα της επιφάνειας (kg m ⁻²)		Συνολική βιομάζα (10 ⁹ t)
		Εύρος	Μέσος όρος		Εύρος	Μέσος όρος	
Βροχερό τροπικό δάσος	17,0	1000-35000	2200	37,4	6-80	45	765
Εποχιακό τροπικό δάσος	7,5	1000-2500	1600	12,0	6-60	35	260
Εύκρατο αείφυλλο δάσος	5,0	600-2500	1300	6,5	6-200	35	175
Εύκρατο δάσος φυλλοβόλων	7,0	600-2500	1200	8,4	6-60	30	210
Βόρειο δάσος κωνοφόρων	12,0	400-2000	800	9,6	6-40	20	240
Συστήματα αγκαθωτών θάμνων	8,5	250-1200	700	6,0	2-20	6	50
Σαβάνα	15,0	200-2000	900	13,5	0,2-15	4	60
Ποολίβαδα (grasslands)	9,0	200-1500	600	5,4	0,2-5	1,6	14
Τούνδρα/αλπικά συστήματα	8,0	10-400	140	1,1	0,1-3	0,6	5
Ημιορημικά συστήματα (semi- desert)	18,0	10-250	90	1,6	0,1-4	0,7	13
Έρημοι (θερμές/ψυχρές)	24,0	0-10	3	0,07	0-0,2	0,02	0,5
Καλλιέργειες	14,0	100-3500	650	9,1	0,4-12	1	14
Έλη (marshlands)	2,0	800-3500	2000	4,0	3-50	15	30
Λίμνες και ποτάμια	2,0	100-1500	250	0,5	0-0,1	0,02	0,05
Σύνολο Χέρσου	149		773	115		12,3	1837
Ανοικτός ωκεανός	332,0	2-400	125	41,5	0-0,005	0,003	1,0
Ανοδικές ζώνες (upwelling)	0,4	400-1000	500	0,2	0,005-0,1	0,02	0,008
Υφαλοκρηπίδα (shelf systems)	26,6	200-600	360	9,6	0,001-0,04	0,01	0,27
Κοραλλιογενή συστήματα (reef)	0,6	500-4000	2500	1,6	0,04-4	2	1,2
Δέλτα	1,4	200-3500	1500	2,1	0,01-6	1	1,4
Σύνολο Θάλασσας	361		152	55,0		0,01	3,9
Γενικό Σύνολο	510		333	170		3,6	1841

Βιομάζα και παραγωγικότητα 2

Τύπος οικοσυστήματος	Έκταση (10^6 km^2)	Καθαρή πρωτογενής παραγωγή (g m^{-2} ή t km^{-2})		Παγκόσμια καθαρή παραγωγή (10^9 t)	Βιομάζα στη μονάδα της επιφάνειας (kg m^{-2})		Συνολική βιομάζα (10^9 t)
		Εύρος	Μέσος όρος		Εύρος	Μέσος όρος	
Βροχερό τροπικό δάσος	17,0	1000-35000	2200	37,4	6-80	45	765
Εποχιακό τροπικό δάσος	7,5	1000-2500	1600	12,0	6-60	35	260
Εύκρατο αείφυλλο δάσος	5,0	600-2500	1300	6,5	6-200	35	175
Εύκρατο δάσος φυλλοβόλων	7,0	600-2500	1200	8,4	6-60	30	210
Βόρειο δάσος κωνοφόρων	12,0	400-2000	800	9,6	6-40	20	240
Συστήματα αγκαθωτών θάμνων	8,5	250-1200	700	6,0	2-20	6	50
Σαβάνα	15,0	200-2000	900	13,5	0,2-15	4	60
Ποολίβαδα (grasslands)	9,0	200-1500	600	5,4	0,2-5	1,6	14
Τούνδρα/αλπικά συστήματα	8,0	10-400	140	1,1	0,1-3	0,6	5
Ημιορημικά συστήματα (semi- desert)	18,0	10-250	90	1,6	0,1-4	0,7	13
Έρημοι (θερμές/ψυχρές)	24,0	0-10	3	0,07	0-0,2	0,02	0,5
Καλλιέργειες	14,0	100-3500	650	9,1	0,4-12	1	14
Έλη (marshlands)	2,0	800-3500	2000	4,0	3-50	15	30
Λίμνες και ποτάμια	2,0	100-1500	250	0,5	0-0,1	0,02	0,05
Σύνολο Χέρσου	149		773	115		12,3	1837
Ανοικτός ωκεανός	332,0	2-400	125	41,5	0-0,005	0,003	1,0
Ανοδικές ζώνες (upwelling)	0,4	400-1000	500	0,2	0,005-0,1	0,02	0,008
Υφαλοκρηπίδα (shelf systems)	26,6	200-600	360	9,6	0,001-0,04	0,01	0,27
Κοραλλιογενή συστήματα (reef)	0,6	500-4000	2500	1,6	0,004-4	2	1,2
Δέλτα	1,4	200-3500	1500	2,1	0,01-6	1	1,4
Σύνολο Θάλασσας	361		152	55,0		0,01	3,9
Γενικό Σύνολο	510		333	170		3,6	1841

Παράγοντες που περιορίζουν την πρωτογενή παραγωγικότητα

(οι χαμηλές τιμές τους)

- Νερό (χερσαία συστήματα)
- Φως (υδάτινα συστήματα)
- Θρεπτικά συστατικά (**υδάτινα**, χερσαία συστήματα)
- Θερμοκρασία

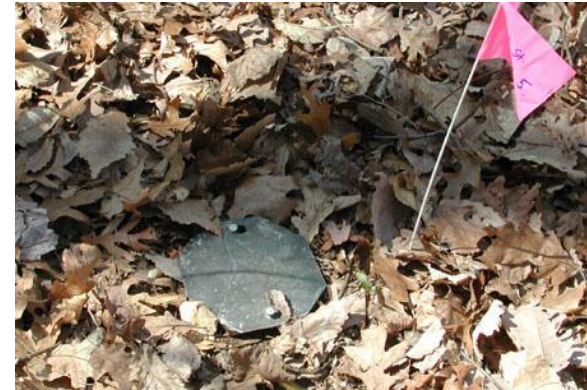
...

Χερσαίο περιβάλλον

Μέγεθος πρωτογενούς παραγωγικότητας μειώνεται με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους



Σαπροβιοτική τροφική αλυσίδα



Εικόνα 2.20. Αφτηρία της σαπροβιοτικής τροφικής αλυσίδας το μη ζωντανό οργανικό υλικό (νεκρή βιομάζα απεκκρίσεις, οργανικά υπολείμματα)

- Δεν μπορούν να διακριθούν οι καταναλωτές σε τροφικά επίπεδα
- Διακινούνται ποσά ενέργειας σημαντικά μεγαλύτερα απ' ό,τι μέσω της αλυσίδας των καταναλωτών διαφορετικών επιπέδων



Σαπροβιοτική τροφική αλυσίδα οι οργανισμοί

Πολυάριθμοι και ποικίλοι

Σπονδυλωτά ζώα (π.χ. γύπες), πρωτόζωα, έντομα, μαλάκια, τσιμπούρια, καρκινοειδή, εκατοντάποδα, μυριάποδα, τροχόζωα, δακτυλιοσκώληκες, ακτινομύκητες, μύκητες, βακτήρια ...



Εικόνα 2.21. Οργανισμοί της σαπροβιοτικής τροφικής αλυσίδας



Σαπροβιοτική τροφική αλυσίδα

οι διαδικασίες

- Ορισμένες ομάδες καταναλώνουν αδιακρίτως οτιδήποτε βρεθεί μπροστά τους

π.χ. κολέμβολα τρέφονται με φυτικά υλικά, υφές μυκήτων, σπόρια, λάρβες εντόμων, άλλα κολέμβολα, αλλά και με τα ίδια τους τα απορρίμματα

- Αφομοιώνουν τμήμα οργανικού υλικού και αποβάλλουν το υπόλοιπο με μορφή απλούστερων οργανικών μορίων
- Οι απεκκρίσεις του ενός μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τροφή από έναν άλλο
- Τα σύνθετα οργανικά μόρια σπάνε σε απλούστερα μέχρι να ανοργανοποιηθούν

Χούμος = οργανικό υλικό προερχόμενο κυρίως από φυτά που δεν έχει πλήρως αποικοδομηθεί



Αποτελεσματικότητα σαπροβιοτικής τροφικής αλυσίδας

Ελέγχεται από τη διαθεσιμότητα O_2

- Σημαντική για τον αερισμό η δράση των γεωσκωλήκων
 - Στα αναερόβια περιβάλλοντα η αποσύνθεση του οργανικού υλικού είναι εξαιρετικά βραδεία και δεν ολοκληρώνεται
 - Σε υδατοσυλλογές, όπου υπάρχει μεγάλο οργανικό φορτίο, η αποδόμηση του οργανικού υλικού γίνεται με αναερόβιες διαδικασίες και ο πυθμένας καλύπτεται με οργανική λάσπη



Εικόνα 2.22.
Γεωσκώληκες σε σύζευξη

Τότε, απελευθερώνονται διαλυτές αλκοόλες, αμίνες και άλλες πτητικές ενώσεις, όπως μεθάνιο και υδρόθειο, με χαρακτηριστική μυρωδιά

- Ορυκτά καύσιμα = ανολοκλήρωτη αποδόμηση οργανικού υλικού στο μακρινό παρελθόν
- Μαύρη Θάλασσα = ανάλογες διαδικασίες έντονες τώρα



Συμμετοχή σαπροβιοτικής τροφικής αλυσίδας στη ροή ενέργειας

Χερσαίο περιβάλλον

- ~10-20% της πρωτογενούς παραγωγής (μέγιστη εκτίμηση) καταναλίσκεται από τους πρωτογενείς καταναλωτές
- Υπόλοιπο διοχετεύεται στη σαπροβιοτική αλυσίδα

Θαλάσσιο περιβάλλον

- ~35% προς αλυσίδα των καταναλωτών διαφορετικών τροφικών επιπέδων
- Υπόλοιπο προς σαπροβιοτική αλυσίδα





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Έδαφος

Χαρακτηριστικά εδάφους

- Αποτέλεσμα φυσικών και βιολογικών διεργασιών πάνω στο γεωλογικό υπόβαθρο
(το σύνολο των διαφορετικών πετρωμάτων που αποτελούν την κρούστα της Γης)
- Μέσο στήριξης χερσαίων συστημάτων
- Εξαιρετικά πολύπλοκο σύστημα
 - Διακρίνεται σε φυσικό και βιολογικό υποσύστημα



Φυσικό υποσύστημα

συστατικά 1

- Εδαφικά σωματίδια
- Οργανικό υλικό
- Νερό
- Αέρας



Εικόνα 2.23. Ραγισμένο έδαφος κοντά σε υγρότοπο κατά την καλοκαιρινή ξηρασία



Φυσικό υποσύστημα

συστατικά 2

Εδαφικά σωματίδια

- Άργιλος - διάμετρος $<0,002$ mm
- Πηλός - διάμετρος μεταξύ $0,002$ και $0,05$ mm
- Άμμος - διάμετρος μεγαλύτερη από $>0,05$ mm και μικρότερη από <2 mm

σωματίδια με μεγαλύτερη διάμετρο =
χονδρόκοκκα υλικά

Προσφέρουν στήριξη στους υπερκείμενους οργανισμούς, διάκενα για τη συγκράτηση νερού και αέρα, ανόργανα στοιχεία



Εικόνα 2.24.

Απολιθώματα από κοχύλια και άλλους θαλάσσιους οργανισμούς διαμορφώνουν το εδαφικό σύστημα στο νησί Χρυσή, στο Λιβυκό πέλαγος



Φυσικό υποσύστημα

συστατικά 3

Οργανικό υλικό

Βελτιώνει δομή εδάφους, αυξάνει τη συγκράτηση νερού, προωθεί τη διαδικασία ανακύκλωσης των ανόργανων στοιχείων

Νερό

Μέσο διάλυσης θρεπτικών, συμμετοχή σε διαπνοή και φωτοσύνθεση

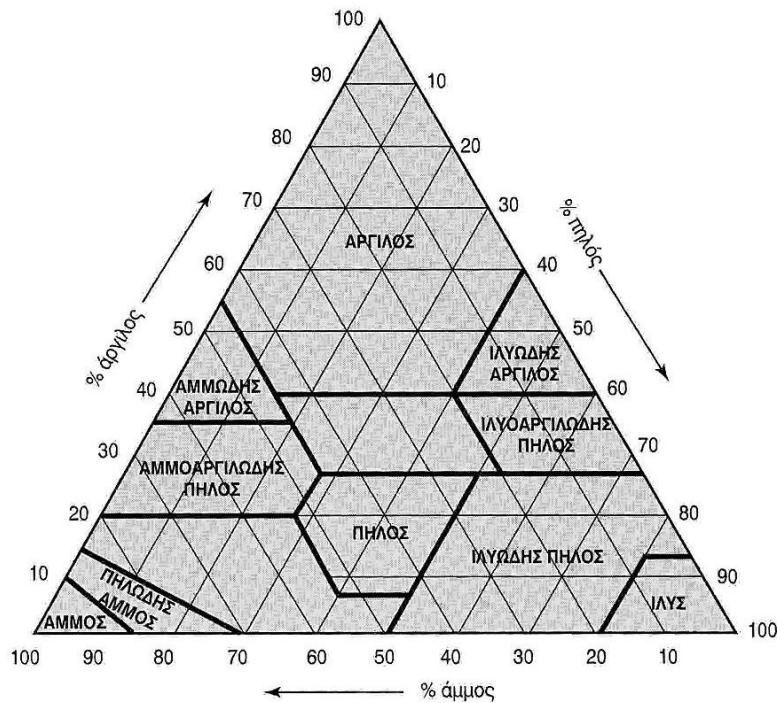
Αέρας

Συμμετοχή σε αναπνοή και αζωτοδέσμευση



Φυσικό υποσύστημα εδάφους

μηχανική σύσταση



Εικόνα 2.25. Κατάταξη εδαφών με βάση την περιεκτικότητά τους σε άμμο, πηλό και άργιλο. Για να βρούμε πού εντάσσεται ένα έδαφος, του οποίου γνωρίζουμε το ποσοστό συμμετοχής των τριών επιμέρους κλάσμάτων, ακολουθούμε την ακόλουθη διαδικασία: Έστω ότι η μηχανική σύσταση ενός εδάφους είναι 30% πηλός, 60% άργιλος και 10% άμμος. Από το σημείο 30 στην πλευρά του τριγώνου που αντιστοιχεί στον πηλό, φέρνουμε παράλληλη γραμμή προς την πλευρά της άργιλου. Από το σημείο 60 της πλευράς που αντιστοιχεί στην άργιλο, φέρνουμε παράλληλη γραμμή προς την πλευρά της άμμου. Οι δύο αυτές ευθείες τέμνονται σ' ένα σημείο, το οποίο και αντιστοιχεί στο 10 της άμμου. Το σημείο τομής βρίσκεται μέσα σ' ένα χώρο με το χαρακτηρισμό 'άργιλος'. Στην κατηγορία του αργιλώδους ανήκει το έδαφος που εξετάσαμε.

Μηχανική σύσταση = η εκατοστιαία αναλογία των σωματιδίων του εδάφους

- άργιλος συγκράτηση νερού: 50-70% βάρους της
- άμμος συγκράτηση νερού: 10-15% βάρους της
- πηλός ενδιάμεσα χαρακτηριστικά



Βιολογικό υποσύστημα εδάφους και εδαφογένεση

Βιολογικό υποσύστημα

Βακτήρια, αρχαία, μύκητες, πρωτόζωα, ακάρεια, έντομα, κολέμβολα, νηματώδεις, γεωσκώληκες, σπονδυλωτά ζώα, φυτά...

Εδαφογένεση

Συνεχής διαδικασία, δυναμική σχέση ανάμεσα σε κλίμα, μητρικό πέτρωμα, τοπογραφία, οργανισμούς και χρόνο

Δυνάμεις

- *μηχανικές*: συστολή-διαστολή πετρωμάτων, διάβρωση
- *χημικές*: οξειδώσεις, υδρολύσεις
- *βιοτικές*: δράση εδαφικών οργανισμών, βλάστησης



Εικόνα 2.26. Εδαφογένεση σε μη κλασικό υπόστρωμα

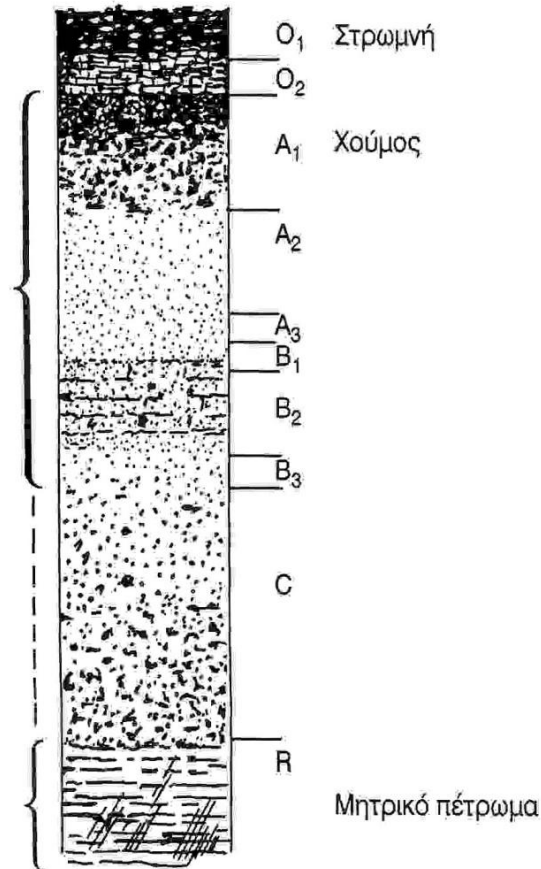


Εδαφική τομή

Διάκριση σε εδαφικούς ορίζοντες



Εικόνα 2.27.
Ορίζοντα Ο, στρωμνή



Εικόνα 2.28. Γενικός τύπος εδαφικής τομής με τους κυριότερους ορίζοντες (στιβάδες). Ο ανώτερος που συμβολίζεται με Ο αντιστοιχεί στη στρωμνή, δηλαδή το νεκρό, αναποικοδόμητο ακόμη οργανικό υλικό. Ακολουθεί ο ορίζοντας Α, όπου υπάρχει ο χούμος, δηλαδή το μερικώς αποικοδομημένο οργανικό υλικό, ο οποίος διακρίνεται σε υποστιβάδες Α₁, Α₂, Α₃, ανάλογα με το βαθμό αποσύνθεσης του χούμου. Ο ορίζοντας Α₁ είναι σκουρόχρωμος, ενώ όσο προχωράμε προς τα κάτω οι ορίζοντες γίνονται περισσότερο ανοιχτόχρωμοι λόγω απόπλυσης. Ακολουθεί ο ορίζοντας Β που κι αυτός διακρίνεται σε υποστιβάδες. Δεν περιέχει οργανική ουσία, ενώ τα περισσότερα συστατικά του προέρχονται από τους ανώτερους ορίζοντες μεταφερόμενα με την αποστράγγιση του νερού. Κάτω από αυτόν βρίσκεται ο ορίζοντας C που ουσιαστικά αποτελεί την περιοχή αποσάθρωσης του υποκείμενου μητρικού πετρώματος (R).



Ιδιότητες εδάφους

- pH
- Πορώδες (ο χώρος που δεν καλύπτεται από εδαφικά σωματίδια)
- Διαπερατότητα νερού
 - Μικρή σε λεπτόκοκκα, μεγάλη σε αδρόκοκκα εδάφη
 - Εδάφη με αυξημένη συμμετοχή αργίλου δεν προσφέρονται για καλλιέργειες (χαμηλή διαπερατότητα, κακός αερισμός)
- Δομή
 - Εκτός από τη μηχανική σύσταση, καθορίζεται και από το βαθμό σχηματισμού συσσωματωμάτων
 - Κοκκώδη εδάφη, καλής ποιότητας ως προς διαπερατότητα και αερισμό

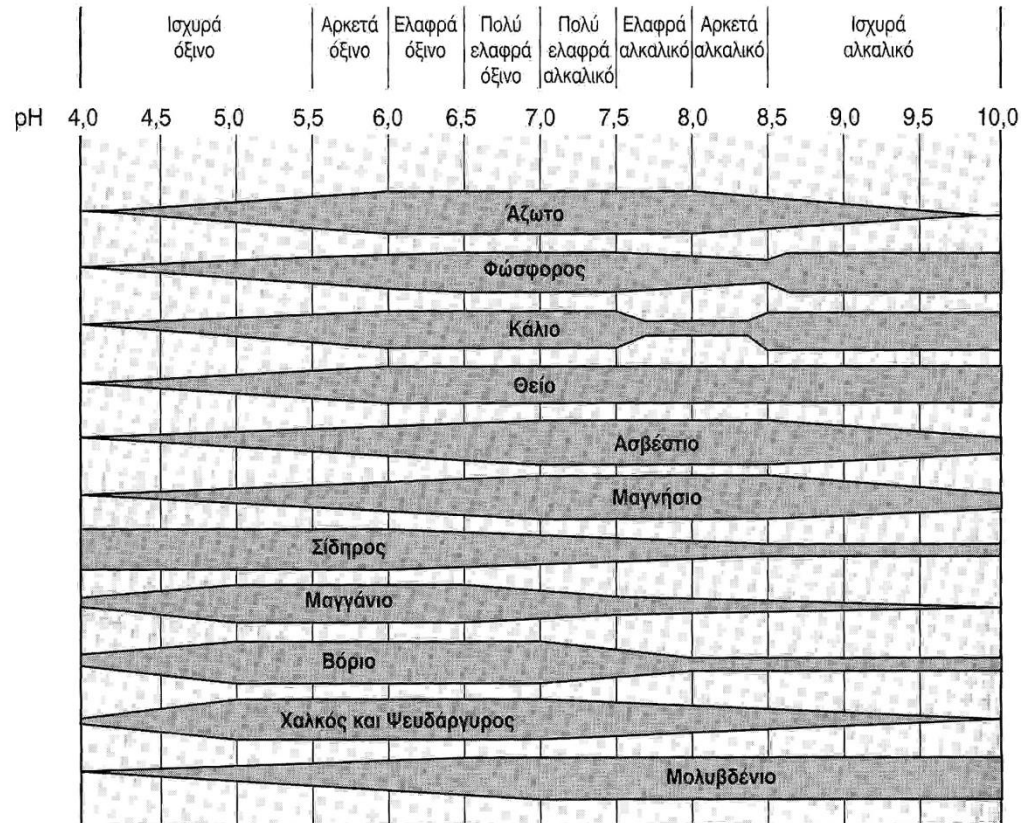


Έδαφος και θρεπτικά στοιχεία

Υψηλή συγκέντρωση θρεπτικών στο έδαφος δεν σημαίνει αυτομάτως μεγάλη διαθεσιμότητά τους

Το pH ρυθμίζει τη διαθεσιμότητα

Τα περισσότερα στοιχεία διαθέσιμα σε pH 6,5 – 7,5



Εικόνα 2.29. Μεταβολή της διάθεσιμότητας διαφόρων στοιχείων σε σχέση με το pH. Για κάθε στοιχείο, όσο παχύτερη είναι η γκριζα λωρίδα, τόσο μεγαλύτερη είναι και η διαθεσιμότητα του στην τιμή pH που εκεί αντιστοιχεί.



Οργανισμοί και pH εδάφους

- Αγρωστώδη - αλκαλικά εδάφη
- Κωνοφόρα – όξινα εδάφη
- Εδάφη καλλιεργειών: μετατροπή σε όξινα
(λόγω λίπανσης με άζωτο, θείο ...)
- Γεωσκώληκες - σε όξινο pH
- Σαλιγκάρια - σε αλκαλικό pH

Οργανισμοί-δείκτες





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Βιογεωχημικοί κύκλοι

Βιογεωχημικοί κύκλοι ή κύκλοι ύλης

Βιογεωχημικοί, επειδή η κυκλοφορία των υλικών δεν γίνεται αποκλειστικά διαμέσου των τροφικών αλυσίδων αλλά περιέχει στάδια χημικών αντιδράσεων στο αβιοτικό περιβάλλον

- Δέσμευση-Αποδέσμευση-Επαναδέσμευση

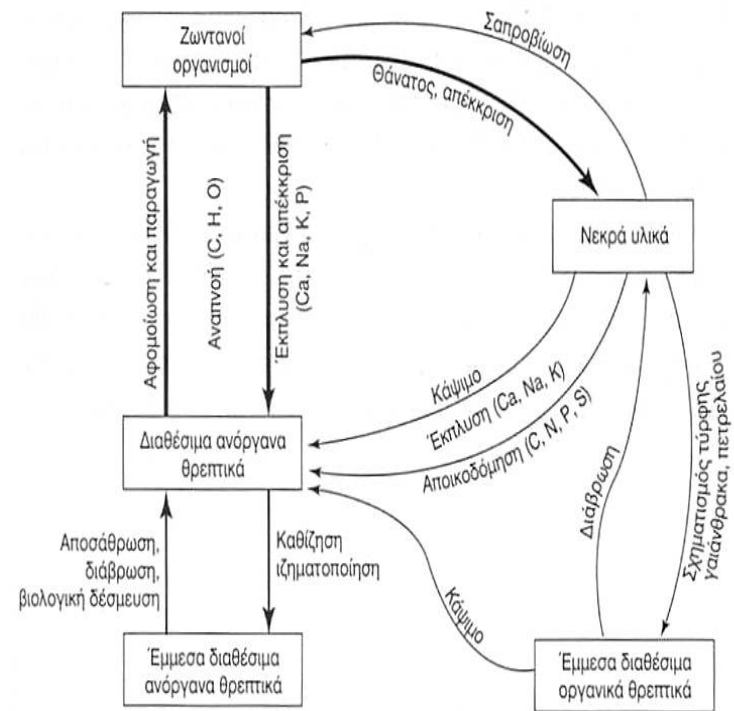


Βιογεωχημικοί κύκλοι

δεξαμενές

Κάθε κύκλος αποτελείται από δυο κύρια μέρη:

- Τις 'δεξαμενές' αποθήκευσης - όπου η κίνηση είναι αργή και μπορεί να είναι αβιοτικού (συνηθέστερα) ή βιοτικού χαρακτήρα
- Τις 'δεξαμενές' ανταλλαγής - όπου η κίνηση είναι γρήγορη, με τα θρεπτικά να ανταλλάσσονται μεταξύ βιοτικού και αβιοτικού στοιχείου



Βιογεωχημικοί κύκλοι

μορφές πρόσληψης θρεπτικών

- Τα θρεπτικά στοιχεία μπορούν να προσληφθούν από τους οργανισμούς μόνο υπό συγκεκριμένη μορφή
 - Η υψηλή συγκέντρωση δεν ισοδυναμεί με μεγάλη διαθεσιμότητα
- Τα περισσότερα στοιχεία προσλαμβάνονται από τα φυτά υπό τη μορφή ιόντων (νιτρικών, φωσφορικών, θειικών...)



Διαταραχές κύκλων ύλης

- Παγκόσμια θέρμανση - Κλιματική αλλαγή
- Μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος (τρύπα όζοντος)
- Ευτροφισμός
- Όξινη βροχή

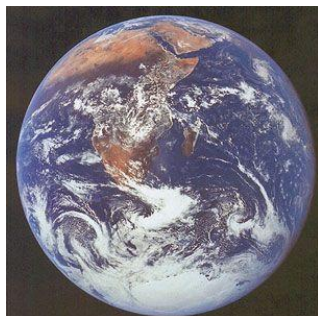


Θρεπτικά στοιχεία

Κατηγορία	Στοιχείο	Παρουσία – δράση
Κύρια θρεπτικά συστατικά	Άνθρακας (C)	Οργανικές ενώσεις όλων ανεξαιρέτως των οργανισμών
	Υδρογόνο (H)	
	Οξυγόνο (O)	
	Άζωτο (N)	Δομικό συστατικό πρωτεϊνών, νουκλεϊκών οξέων, κλπ.
	Φώσφορος (P)	Μεταφορά ενέργειας, δομικό στοιχείο νουκλεϊκών οξέων
Μακροθρεπτικά συστατικά	Ασβέστιο (Ca)	Συμπαράγοντας σε ένζυμα, ρύθμιση δραστηριότητας μεμβρανών, οστά
	Θείο (S)	Πρωτεΐνες
	Μαγνήσιο (Mg)	Συμπαράγοντας σε ένζυμα, χλωροφύλλη
	Κάλιο (K)	Μεταφορά νευρικού ερεθίσματος, συστολή μυών
	Νάτριο (Na)	Ηλεκτρικό δυναμικό νευρικού ερεθίσματος
	Χλώριο (Cl)	Κύριο ανιόν
Μικροθρεπτικά συστατικά (Ιχνοστοιχεία)	Βόριο (B)	Συμπαράγοντας σε ένζυμα
	Πυρίτιο (Si)	Κυρίως σε κατώτερες μορφές ζωής, π.χ. διάτομα
	Βανάδιο (V)	Σε χρωστικές του αναπνευστικού συστήματος κατώτερων ζώων
	Μαγγάνιο (Mn)	Συμπαράγοντας σε πολλά ένζυμα
	Σίδηρος (Fe)	Συμπαράγοντας σε οξειδωτικά ένζυμα, αιμοσφαιρίνη
	Κοβάλτιο (Co)	Βιταμίνη B ₁₂ , αζωτοδέσμευση
	Ψευδάργυρος (Zn)	Συμπαράγοντας σε ένζυμα, ινσουλίνη
	Μολυβδαίνιο (Mo)	Συμπαράγοντας σε ένζυμα, κυρίως αζωτοδέσμευσης
	Ιώδιο (I)	Ορμόνες θυρεοειδούς αδένα

Η ατμόσφαιρα της Γης παράγωγο της ζωής 1

Συστατικό	Γη τώρα
CO ₂	0,03%
N ₂	79%
O ₂	21%
CH ₄	1,7 ppm

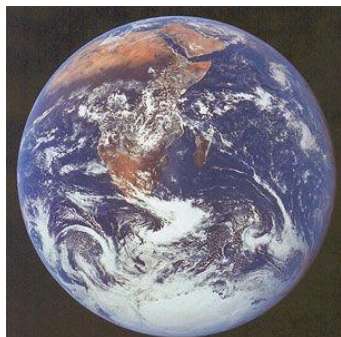


Εικόνα 2.30. Σύνθεση της ατμόσφαιρας της Γης



Η ατμόσφαιρα της Γης παράγωγο της ζωής 2

Συστατικό	Γη τώρα	Γη (<2500 ΜΥ)	Γη χωρίς ζωή	Αφροδίτη
CO ₂	0,03%	<1%	98%	96,5%
N ₂	78%	99%	2%	3,5%
O ₂	21%	1 ppm	0	0
CH ₄	1,7 ppm	100 ppm	0	0



Εικόνα 2.30. Σύθεση της ατμόσφαιρας της Γης και της Αφροδίτης



Βιοτική και αβιοτική φάση κύκλων ύλης

- Κύκλος άνθρακα
 - Σχεδόν ταυτισμένος με κύκλους O_2 και H_2
- Κύκλος αζώτου
 - Εξαιρετικά πολύπλοκη η βιοτική φάση
 - Διαθέτει και ατμοσφαιρική φάση
- Κύκλος φωσφόρου
 - Εξαιρετικά πολύπλοκη η αβιοτική φάση
 - Χωρίς ατμοσφαιρική φάση

C

N

P



Κύκλος του άνθρακα υδρογόνου και οξυγόνου

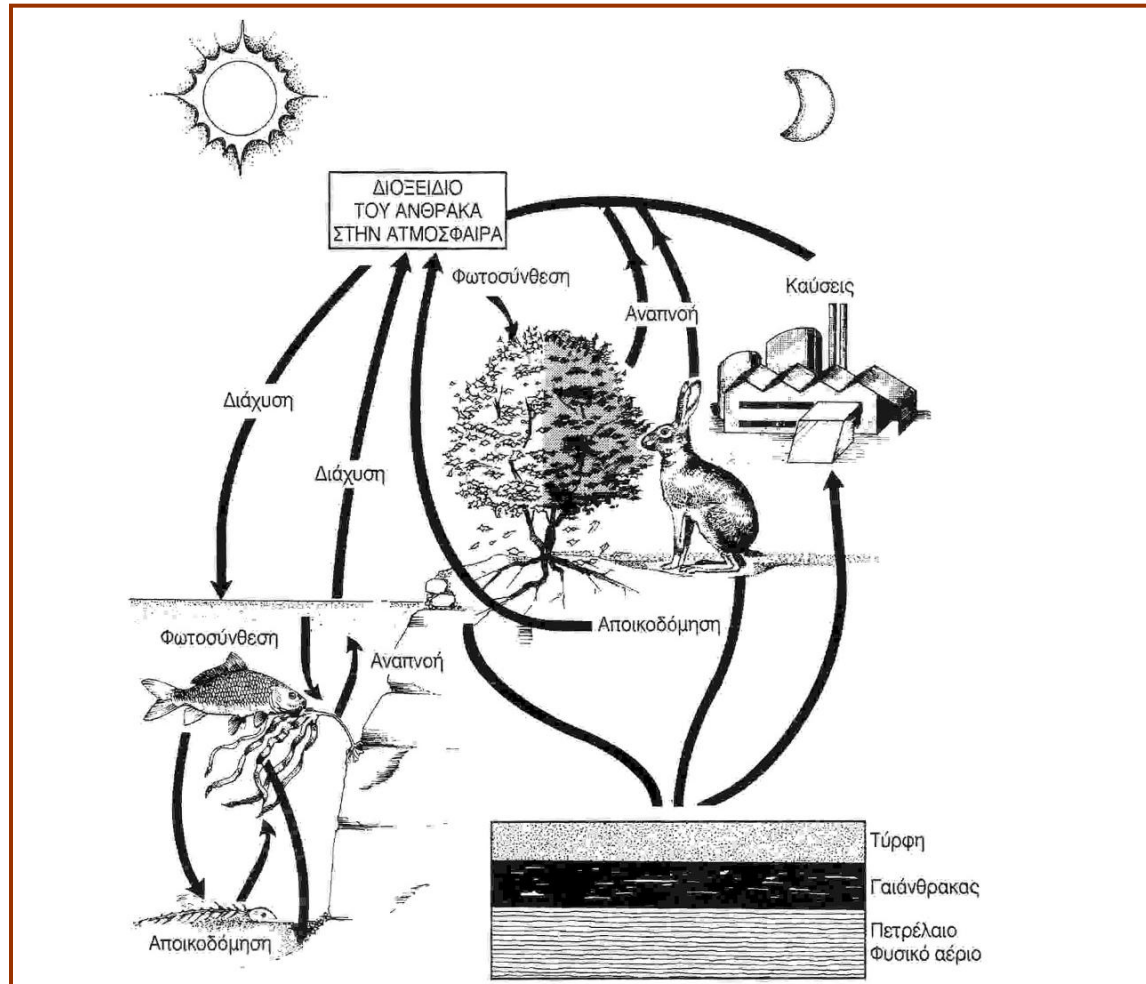
- Και τα τρία στοιχεία διακινούνται μέσα από τις συμπληρωματικές λειτουργίες της φωτοσύνθεσης και αναπνοής

[Δέσμευση ενέργειας-δέσμευση CO₂-σύνθεση οργανικής ύλης /
Απελευθέρωση ενέργειας-απελευθέρωση CO₂-αποσύνθεση
οργανικής ύλης]

- Οξυγόνο και υδρογόνο διακινούνται και ως νερό
- Ο άνθρακας εισέρχεται στο βιοτικό στοιχείο κυρίως ως CO₂, ενώ το οξυγόνο και υπό μοριακή μορφή
- Το υδρογόνο εισέρχεται αποκλειστικά μέσω του νερού



Ο κύκλος του άνθρακα



Εικόνα 2.32. Σχηματική απεικόνιση του κύκλου του άνθρακα



Δεξαμενές άνθρακα

- Η εξαιρετικά μεγάλη συμμετοχή του άνθρακα στη βιόσφαιρα αντιστοιχεί μόνο σε ~1% της συνολικής ποσότητάς του στον πλανήτη
- 99% του συνολικού άνθρακα βρίσκεται δεσμευμένο σε ιζήματα
- 0,2% του άνθρακα της βιόσφαιρας βρίσκεται στο υγρό περιβάλλον και 0,8% στο χερσαίο
- Στο υγρό περιβάλλον, ο διαθέσιμος άνθρακας υπάρχει είτε με τη μορφή διαλυμένου CO_2 ή ιόντων που προκύπτουν από τις ακόλουθες αντιδράσεις



οι ωκεανοί κατακρατούν την περίσσεια CO_2

Όμως, αυτός ο ομοιοστατικός μηχανισμός δεν λειτουργεί αποτελεσματικά πια ('οξίνιση' των ωκεανών)



Ο κύκλος του άνθρακα απομάκρυνση από την κυκλοφορία

- Μεγάλη ποσότητα οργανικού άνθρακα έχει απομακρυνθεί από την κυκλοφορία, δεσμευμένος σε ορυκτά καύσιμα, όπως γαιάνθρακας, λιγνίτης, πετρέλαιο ...
- Οι άνθρωποι έχουν διαταράξει τον κύκλο του άνθρακα, κυρίως μέσα από τη χρήση ορυκτών καυσίμων και την αποδάσωση
- Η κινητοποίηση αποθηκευμένου άνθρακα συνέβαλε έντονα στην αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ της ατμόσφαιρας

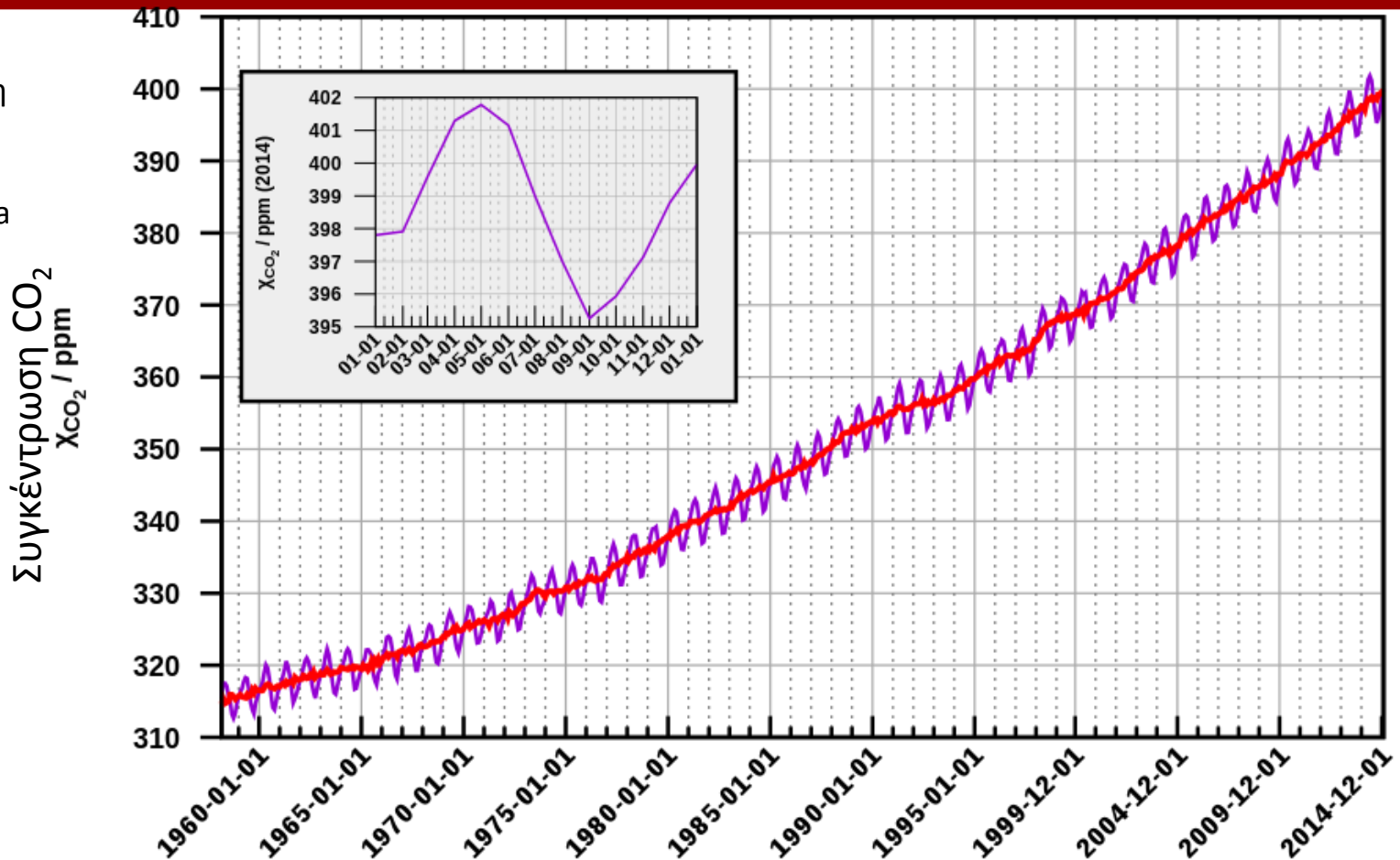


Εικόνα 2.33. Ορατές επιπτώσεις της έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας και της χρήσης ορυκτών καυσίμων



Συγκέντρωση CO₂ 1

9 Μαΐου 2013
Πρώτη φορά, μέση
ημερήσια τιμή
>400 ppm, στο
σταθμό Mauna Loa



Μάρτιος 2015
Πρώτη φορά,
μέση μηνιαία
τιμή >400 ppm
στο σταθμό
Mauna Loa

Εικόνα 2.34. Η συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα, όπως καταγράφεται στο σταθμό Mauna Loa (Χαβάη) από το 1960



Συγκέντρωση CO₂ 2

Διαφορές σε ημερήσια και ετήσια κλίμακα

- Ακόμα και 30% διαφορά μεταξύ ημέρας και νύχτας σε δασική συστάδα
- Βόρειο ημισφαίριο: μεγαλύτερη συγκέντρωση το χειμώνα



Άζωτο και αζωτοδέσμευση

- Βασικό συστατικό πρωτεϊνών και νουκλεϊκών οξέων
- Παρότι το αφθονότερο στοιχείο στην ατμόσφαιρα (78%), δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από φυτά και ζώα
- Λίγοι μικροοργανισμοί μπορούν να το δεσμεύσουν από την ατμόσφαιρα - *βιολογική αζωτοδέσμευση*
- Πέραν της βιολογικής υπάρχει και η *ατμοσφαιρική αζωτοδέσμευση*
- Η αζωτοδέσμευση είναι εξαιρετικά ενεργοβόρα διαδικασία



Φυσική αζωτοδέσμευση

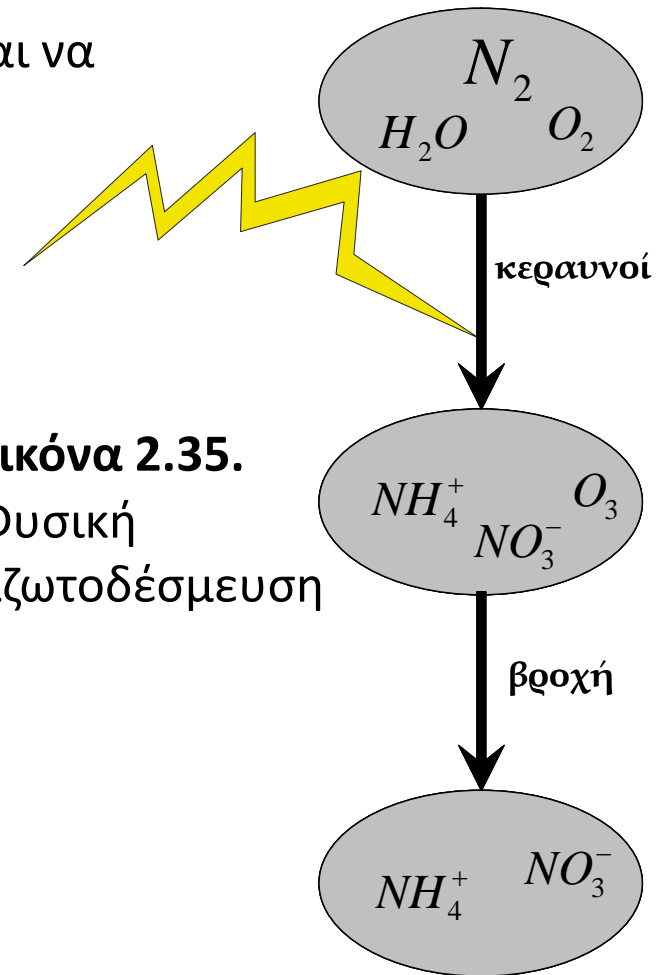
Για να γίνει διαθέσιμο το άζωτο στα φυτά, χρειάζεται να είναι στη μορφή:



Η καθήλωση του μοριακού αζώτου απαιτεί ενέργεια που προσφέρεται με τις ηλεκτρικές εκκενώσεις (κεραυνοί)

Η αμμωνία και τα νιτρικά ιόντα, υδατοδιαλυτά καθώς είναι,

- μεταφέρονται στη γη με τη βροχή
- μπορούν να προσληφθούν από τα φυτά



Εικόνα 2.35.
Φυσική
αζωτοδέσμευση



Αζωτοδέσμευση

Εξαιρετικά ενεργοβόρα διαδικασία

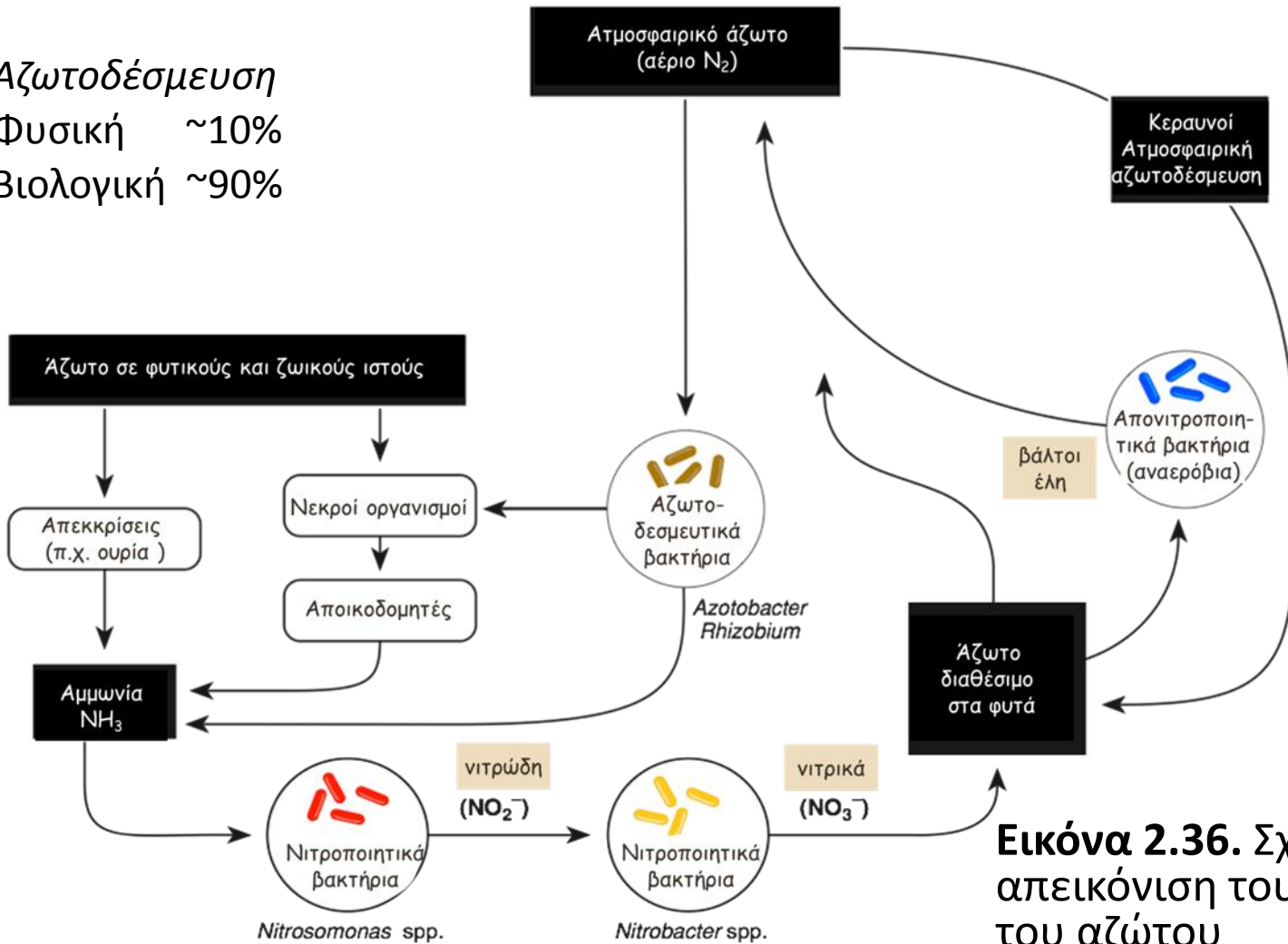
- Στη φυσική αζωτοδέσμευση, η ενέργεια παρέχεται από τις ηλεκτρικές εκκενώσεις
- Στη βιολογική αζωτοδέσμευση, η απαραίτητη ενέργεια παρέχεται από την αναπνοή (=κατανάλωση φωτοσυνθετικών προϊόντων)

[Στην παρασκευή λιπασμάτων, από ορυκτά καύσιμα]



Ο κύκλος του αζώτου

Αζωτοδέσμευση
Φυσική ~10%
Βιολογική ~90%



Εικόνα 2.36. Σχηματική απεικόνιση του κύκλου του αζώτου



Συμμετέχοντες μικροοργανισμοί

- Αζωτοδεσμευτικοί
 - Ικανοί να δεσμεύουν άζωτο στην ατμοσφαιρική μορφή
- Νιτροποιητικοί
 - Μετατρέπουν τα αμμωνιακά ιόντα (που προκύπτουν από διάσπαση πρωτεϊνών) αρχικά σε νιτρώδη και ακολούθως σε νιτρικά
- Απονιτροποιητικοί
 - Επιστρέφουν το άζωτο σε μοριακή μορφή πίσω στην ατμόσφαιρα



Αζωτοδεσμευτικοί μικροοργανισμοί

Ελεύθερα ζώντες και συμβιωτικοί

- *Nostoc, Anabaena, Calothrix, Geotrichia, Mastigocladus* (κυανοβακτήρια)
- *Azotobacter* (αερόβιο βακτήριο)
- *Clostridium, Bacillus, Enterobacter* (προαιρετικά ή υποχρεωτικά αναερόβια βακτήρια)
- *Rhizobium* (βακτήριο) κ.α. συμβιώνουν στις ρίζες των ψυχανθών (τριφύλλια, μπιζέλια, φασόλια)
 - Γι' αυτό τα ψυχανθή χρησιμοποιούνται σε συστήματα αμειψισποράς (εμπλουτισμός του εδάφους με άζωτο)



Εικόνα 2.37. Συμβίωση αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων και ριζών



Νιτροποιητικοί και απονιτροποιητικοί μικροοργανισμοί

Η φάση της νιτροποίησης καθορίζει το ρυθμό με τον οποίο τα νιτρικά ιόντα γίνονται διαθέσιμα στα φυτά επηρεάζοντας έτσι την παραγωγικότητα

Αρνητική η επίδραση συνθηκών που παρεμποδίζουν τη βακτηριακή δραστηριότητα

Νιτροποιητικά βακτήρια

Κυκλοφορία αζώτου



Nitrosomonas Nitrobacter

Απονιτροποιητικά βακτήρια

Απελευθέρωση αζώτου



Pseudomonas spp., Thiobacillus denitrificans



Ενεργειακό κόστος αζωτοδέσμευσης

- Απαίτηση για **50 g** γλυκόζης ανά g αζώτου που δεσμεύεται από *αερόβιους*, ελεύθερα ζώντες μικροοργανισμούς
 - Απαίτηση για **170 g** γλυκόζης ανά g αζώτου που δεσμεύεται από *αναερόβιους* ελεύθερα ζώντες μικροοργανισμούς
 - Υπό φυσικές συνθήκες, η δέσμευση αζώτου ελέγχεται από διαθεσιμότητα ενεργειακών πόρων
- Συμφέρει η συμβίωση με φυτά*



Αζωτούχα λιπάσματα

- Μέχρι την ανεύρεση τρόπου παραγωγής αζωτούχων λιπασμάτων, η κύρια πηγή αζώτου ήταν το γκουάνο (= περιττώματα ψαροφάγων κυρίως πουλιών) – τοπικά, περιττώματα και άλλων πουλιών
- Με τη χρήση των λιπασμάτων διαταράσσεται ο κύκλος του αζώτου
- Μόνο 1/3 περίπου προσλαμβάνεται από φυτά
- Το υπόλοιπο καταλήγει σε υδάτινους αποδέκτες προκαλώντας φαινόμενα ευτροφισμού



Ο κύκλος του φωσφόρου 1

- Κύριο συστατικό νουκλεϊκών οξέων, συστημάτων μεταφοράς ενέργειας, μεμβρανών...
- Οι ανάγκες για φώσφορο των φυτών λιγότερες (μόνο 10%) αυτών για άζωτο, αλλά είναι ο κύριος περιοριστικός παράγοντας της παραγωγικότητας
 - Οφείλεται στην πολύ χαμηλή διαθεσιμότητά του, καθώς βρίσκεται συνηθέστερα σε μορφές που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν
- Μεγάλες ποσότητες βρίσκονται στο γκούανο (περιττώματα κυρίως ψαροφάγων πουλιών)



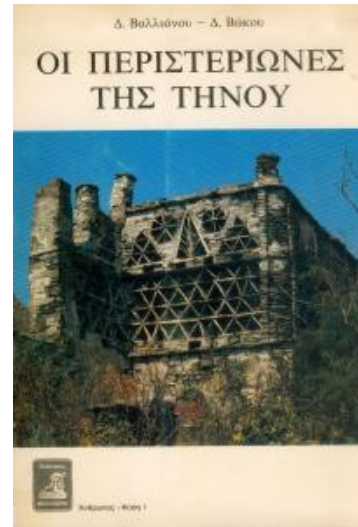
Εικόνα 2.38. Rockall, απομονωμένη βραχονησίδα στον Β. Ατλαντικό, πλημμυρισμένη από γκούανο

P



Ο κύκλος του φωσφόρου 2

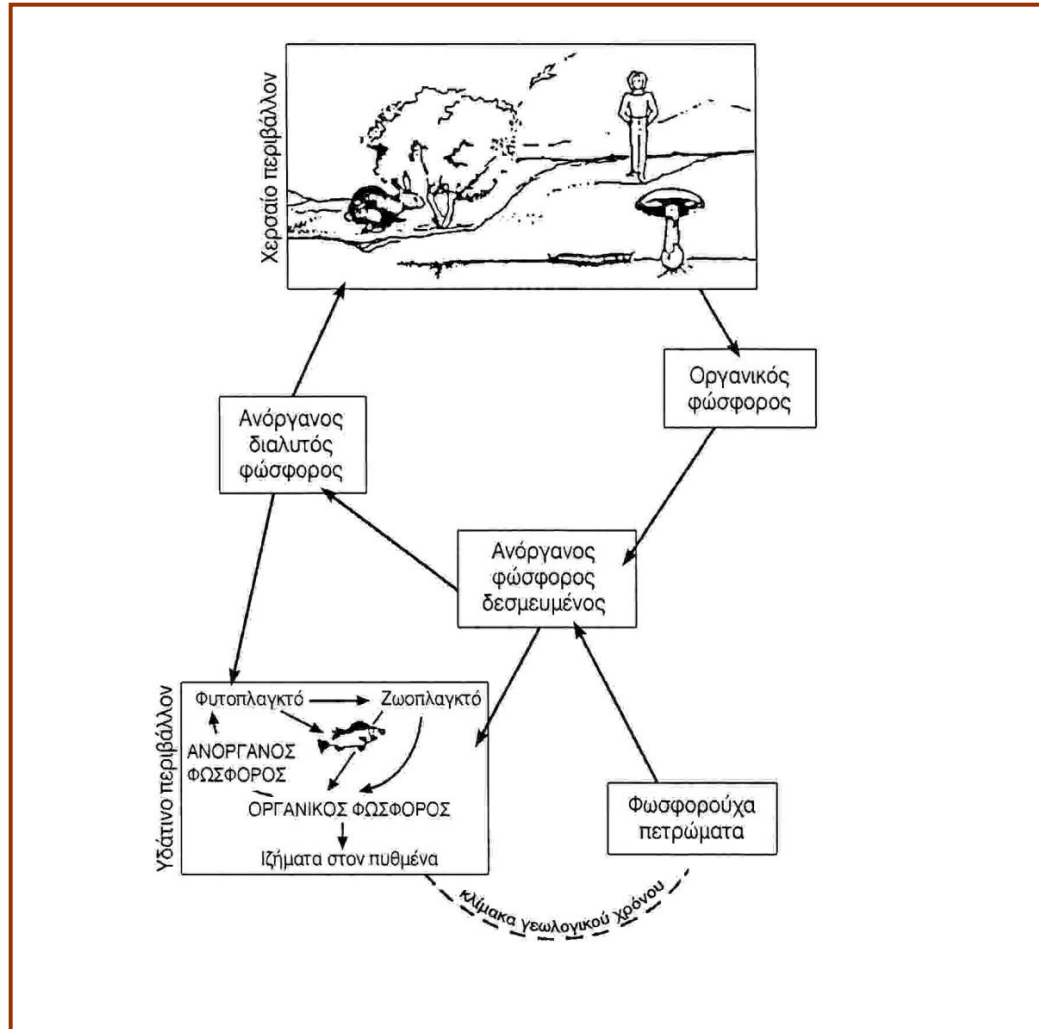
- Προσλαμβάνεται από τα φυτά ως PO_4^{3-} και απελευθερώνεται με τη διαδικασία της αποικοδόμησης
- Η βιοτική φάση είναι πολύ απλή, η αβιοτική ιδιαίτερα πολύπλοκη
- Σειρά διαδικασιών απομακρύνουν το στοιχείο από την κυκλοφορία (ιζηματογενής φάση)
- ~70-80% της παγκόσμιας παραγωγής (από την εξόρυξη φωσφορούχων πετρωμάτων) χρησιμοποιείται για λίπανση των εδαφών
- Το υπόλοιπο σε απορρυπαντικά, παρασιτοκτόνα, φάρμακα ...



Η κύρια χρησιμότητα των φημισμένων περιστερώνων της Τήνου ήταν το 'γκουάνο' των εκεί εκτρεφόμενων περιστεριών



Ο κύκλος του φωσφόρου 3



Εικόνα 2.39.
Απλουστευμένη
απεικόνιση του
κύκλου του
φωσφόρου



Διαταραχές του κύκλου του φωσφόρου

Κινητοποίηση φωσφόρου αδρανοποιημένου σε φωσφορούχα πετρώματα

- Προκαλεί ευτροφισμό των υδάτων και αποτίθεται ως ίζημα στον πυθμένα
- Δηλαδή, ακινητοποιείται εκ νέου - με άλλη μορφή, σε άλλο τόπο
- Επαναφορά φωσφόρου από υδρόσφαιρα σε λιθόσφαιρα: ελάχιστη (1% αυτού αντίστροφα)



Εικόνα 2.40. Ευτροφισμός σε διαφορετικές κλίμακες – σε ρέμα, στην Κασπία θάλασσα



Ο κύκλος του θείου

όξινη βροχή

- Το θείο είναι εξαιρετικά δραστικό στοιχείο
- Η αβιοτική φάση διακρίνεται σε ατμοσφαιρική και ιζηματογενή
- Γίνεται διαθέσιμο από αποσάθρωση θειούχων πετρωμάτων
- Προσλαμβάνεται κυρίως υπό μορφή SO_4^{2-}
- Αποσύρεται από την κυκλοφορία υπό τη μορφή ιζημάτων
- Το υδρόθειο από εκρήξεις ηφαιστείων και καύσεις μετατρέπεται στην ατμόσφαιρα σε διοξείδιο του θείου
- Όλα τα ορυκτά καύσιμα έχουν προσμίξεις θείου
- Μεγάλες συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα προκαλούν οξίνιση της βροχής
 - Συνέπειες για τα φυσικά συστήματα αλλά κυρίως τα μνημεία (γυψοποίηση μαρμάρων: $\text{CaCO}_3 + \text{SO}_2 + 1/2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$)



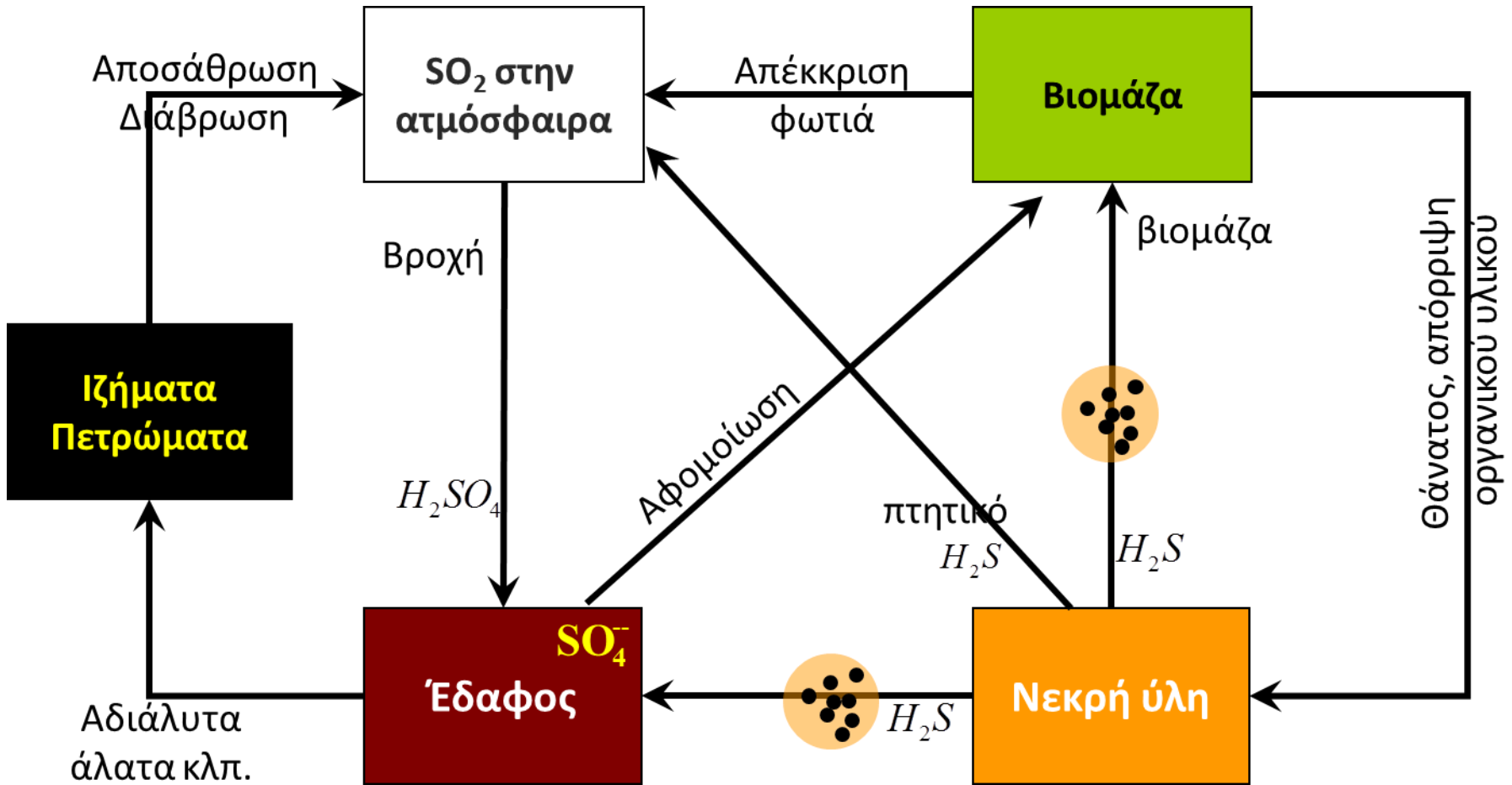
Εικόνα 2.41

S

Σήμερα, η όξινη βροχή μικρής σημασίας πρόβλημα



Ο κύκλος του θείου



Εικόνα 2.42. Σχηματική απεικόνιση του κύκλου του θείου



Παγκόσμια Θέρμανση 1

Φαινόμενο θερμοκηπίου

- Απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας, επανεκπομπή (μεγαλύτερα μήκη κύματος), επαναπορρόφηση από ατμοσφαιρικά αέρια
 - κυρίως CO₂, CH₄, υδρατμοί, N₂O, χλωροφθοράνθρακες
 - κονιορτός και άλλα σωματίδια: αντίστροφη δράση
- Παγίδευση ενέργειας, ανεκτές θερμοκρασίες για ύπαρξη και εξέλιξη ζωής

Αύξηση κατά 3 βαθμούς, πολύ πιθανή τα επόμενα 100 χρόνια



Παγκόσμια Θέρμανση 2

ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ

- Μείωση μόνιμων πάγων
- Αύξηση στάθμης θάλασσας
- Αλλαγές
 - στη διανομή ειδών και μεγαδιαπλάσεων
 - στην πρωτογενή παραγωγή
 - στους κύκλους των θρεπτικών και τον υδρολογικό κύκλο
 - στο ρυθμό αποικοδόμησης
 - στη φαινολογία

[Αύξηση κατά 3°C: Λονδίνο

- ως Θεσσαλονίκη, με ελιές, αμπέλια, αείφυλλα-σκληρόφυλλα
- + πιο ομοιόμορφη βροχόπτωση = υποτροπικό κλίμα
- + λιγότερη βροχόπτωση = ερημικό κλίμα]



Παγκόσμια Θέρμανση 3

Παρίσι, 12 Δεκεμβρίου 2015

Ιστορική συμφωνία

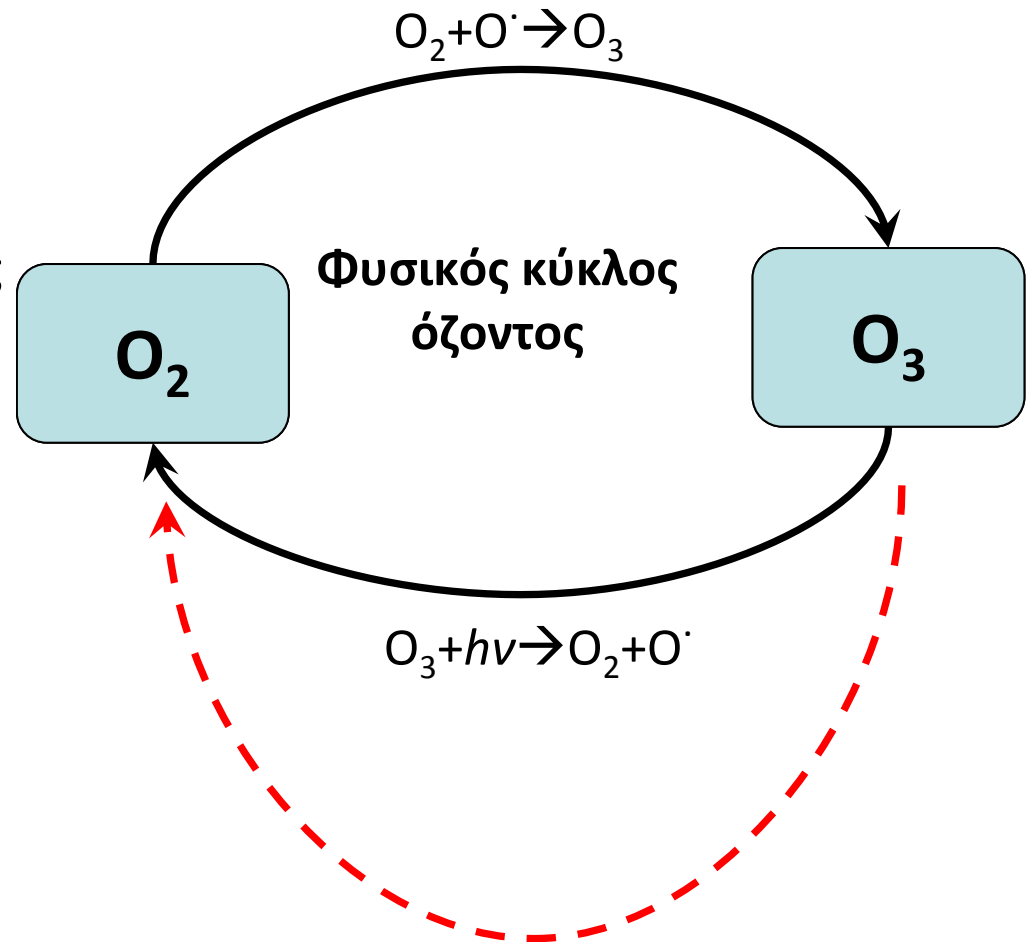
- **Δέσμευση για συγκράτηση της αύξησης της θερμοκρασίας σε $< 2^{\circ}$**
- Όλες οι χώρες θα εγγραφούν σε κοινό σύστημα αναφοράς, παρακολούθησης και επιβεβαίωσης των εκπομπών
- Από το 2020 οι ανεπτυγμένες χώρες θα προσφέρουν βοήθεια 100 δισ. δολαρίων το χρόνο προκειμένου να βοηθήσουν τις αναπτυσσόμενες να στραφούν σε καθαρές πηγές ενέργειας



Λέπτυνση στιβάδας στρατοσφαιρικού όζοντος

Αλλιώς, τρύπα όζοντος

- Το O_3 σχηματίζεται από τη διάσπαση του οξυγόνου σε ελεύθερες ρίζες που ανασυνδυάζονται μεταξύ τους
- Απορροφά έντονα στην περιοχή του υπεριώδους ($\sim 400-4$ nm)
- Λειτουργώντας ως φίλτρο του υπεριώδους, η στιβάδα όζοντος εξασφαλίζει βιώσιμες συνθήκες στη Γη



Η στιβάδα όζοντος άρχισε να
σχηματίζεται 1-1,5 δις χρόνια πριν



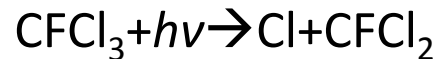
Χλωροφθοράνθρακες και όζον



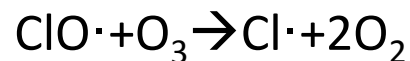
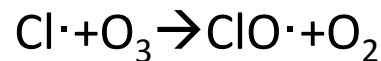
(χλωροφθοράνθρακες - σε ψυγεία και σπρέι)

Με την απελευθέρωσή τους ανεβαίνουν στην ατμόσφαιρα (έχουν μεγάλη διάρκεια στη στρατόσφαιρα)

Δημιουργία ελεύθερων ριζών



Επιτάχυνση απώλειας όζοντος

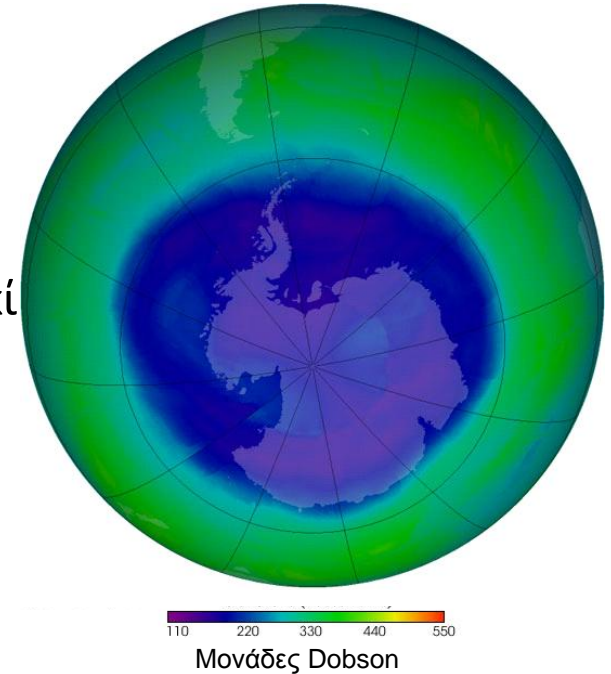


1 άτομο χλωρίου μπορεί να αντιδράσει με 100.000 μόρια όζοντος



Ιστορικό αναγνώρισης του προβλήματος στη στιβάδα όζοντος

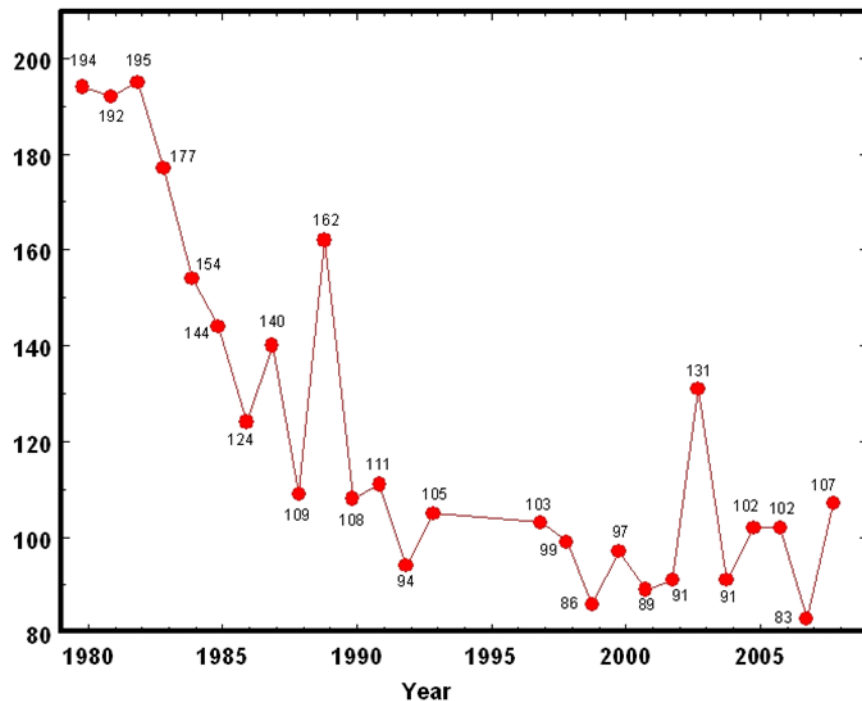
- 1974, Υπόθεση 'Rowland-Molina': Οργανικά αλογονούχα μόρια με μεγάλη διάρκεια ζωής (πχ. CFCs) μπορούν να οδηγήσουν σε απώλεια όζοντος στην ατμόσφαιρα
- 1975, «Παραμύθι επιστημονικής φαντασίας, ένα σακί σκουπίδια ...σκέτη ανοησία» Πρόεδρος της DuPont (έφτιαξε το freon)
- 1976, Επίσημη έκθεση (USA): υπάρχουν αξιόπιστες ενδείξεις για την 'υπόθεση απώλειας όζοντος'
- 1978-81, Απαγόρευση των CFC στα σπρέι στις ΗΠΑ
- Η απόφαση ανατρέπεται από τον πρόεδρο Reagan
- 1985, **βρίσκεται η τρύπα όζοντος** στην Ανταρκτική: μείωση κατά 40%, πάνω από τον κόλπο Halley



Εικόνα 2.43. Η εικόνα της στιβάδας του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική στις 12 Σεπτεμβρίου 2008 (220 DU, η ιστορική τιμή)



Απώλεια όζοντος



Εικόνα 2.44. Ελάχιστες τιμές όζοντος, σε μονάδες Dobson, πάνω από την Ανταρκτική (δεν είχαν καταγραφεί τιμές χαμηλότερες των 220 DU πριν το 1979)

Χημικής φύσης το πρόβλημα

- Οι χλωροφθοράνθρακες αλλά και άλλες ουσίες, κυρίως N_2O , διασπούν το όζον
- Ο ρυθμός απώλειας δεν είναι όμοιος παντού
- Μεγαλύτερες απώλειες στην Ανταρκτική
- Περισσότερες την άνοιξη
- Αύξηση UVB

αύξηση καρκίνου δέρματος



Πρωτόκολλο του Montreal

- 1987, Αντιπρόσωποι από 43 χώρες υπογράφουν το Πρωτόκολλο του Montreal: επιβάλλει υποχρέωση δραστικού περιορισμού χρήσης των CFC
- 1994, Κορυφώνεται η συγκέντρωση των CFC στην ατμόσφαιρα
- 2008, ο πιο σημαντικός δείκτης (Effective Equivalent Chlorine, EECI) μόνο 10% πιο χαμηλός από το 1994
 - 2024 (πρόβλεψη): Τα επίπεδα όζοντος αυξάνονται με στατιστική σημαντικότητα
 - 2068 (πρόβλεψη): Ανάκαμψη του όζοντος στα επίπεδα του 1980



Ευτροφισμός

ολιγοτροφικά - ευτροφικά περιβάλλοντα

Ευτροφισμός: χαρακτηριστικό συστήματος (υδάτινου κυρίως, αλλά όχι μόνο) με υψηλή περιεκτικότητα θρεπτικών σε διαθέσιμη μορφή - κυρίως φωσφόρου



- *Ολιγοτροφικά περιβάλλοντα* (φυσικά και ανθρωπογενή)
 - Διαυγή νερά, φτωχά σε θρεπτικά
 - Πρωτογενής παραγωγικότητα: $7-25 \text{ g C m}^{-2} \text{ έτος}^{-1}$ σε ολιγοτροφικές λίμνες
- *Ευτροφικά περιβάλλοντα* (φυσικά και ανθρωπογενή)
 - Λίμνες, ποτάμια, κλειστοί κόλποι, θάλασσες
 - Θολά νερά, πλούσια σε θρεπτικά
 - Πρωτογενής παραγωγικότητα: $75-250 \text{ g C m}^{-2} \text{ έτος}^{-1}$ σε φυσικά ευτροφικές λίμνες, $350-700 \text{ g C m}^{-2} \text{ έτος}^{-1}$ σε επιβαρυμένες με αγροτικά ή αστικά απόβλητα



Ευτροφισμός

- Τα ευτροφικά περιβάλλοντα μπορεί να είναι εξαιρετικοί ψαρότοποι

- Φυσικά ευτροφικά συστήματα: ισορροπημένα

- Τεχνητή προσθήκη θρεπτικών: δραματικές ανισορροπίες

- Ανθός νερού: απότομη αύξηση παραγωγικότητας φυκών
περιορισμός ευφωτικής ζώνης, συνθήκες ανοξίας, πιθανή
συμμετοχή τοξικών κυανοβακτηρίων



- Αναστρεψιμότητα - εφόσον πάψουν οι εισροές

- Λίμνες

- Στην αρχή, βαθιές και διαυγείς



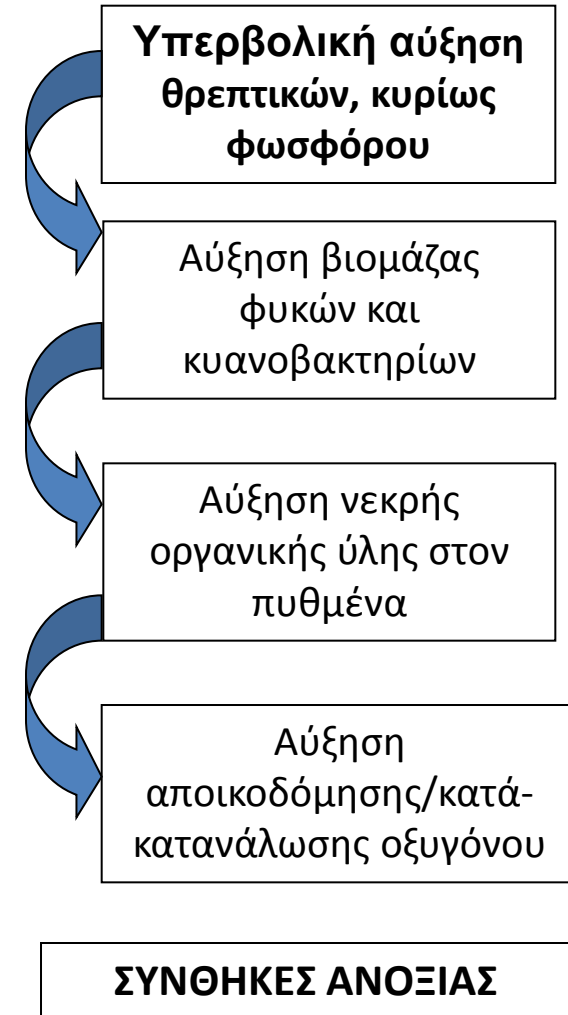
- Ακολούθως, εμπλουτίζονται με θρεπτικά και γεμίζουν με φερτές ύλες



Ευτροφισμός νεκρές ζώνες



Εικόνα 2.45. Νεκρή ζώνη στη La Jolla, San Diego, Καλιφόρνια (από την αποικοδόμηση των νεκρών φυκών – ερυθρά παλίρροια)



Ευτροφισμός αντιμετώπιση

- Διαχείριση αγροτικών και οικιακών αποβλήτων
για να μην υπάρξει
- Απομάκρυνση/μείωση συγκέντρωσης φωσφόρου με
βιολογικά και άλλα μέσα
αφού εγκατασταθεί





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Υδρολογικός κύκλος

Το νερό

- Μέσο εισόδου των θρεπτικών στοιχείων στα φυτά
- Μέσο απομάκρυνσής τους από τα χερσαία συστήματα
- Υπόστρωμα βιοχημικών αντιδράσεων
- Δομική ύλη για παραγωγή οργανικών ουσιών
- Συμμετοχή στη θερμορύθμιση φυτών και ζώων
- Σε μεγάλες συγκεντρώσεις στους ιστούς
κατά μέσο όρο: ~70% του νωπού βάρους των οργανισμών



Πηγές και μορφές νερού

- Σε τεράστια αφθονία στον πλανήτη, αλλά <1% ως γλυκό νερό σε υγρή μορφή (άμεσα αξιοποιήσιμο)

Το μεγαλύτερο τμήμα απομονωμένο σε υπόγειους υδροφορείς: μη ανανεώσιμοι πόροι

- 97,5% αλμυρό, στους ωκεανούς
- 2,5% γλυκό
 - 68,9% παγετώνες, μόνιμο χιόνι
 - 30,8 υπόγεια νερά
 - 0,3% λίμνες, ποτάμια
 - 0,04%, ατμόσφαιρα



Εικόνα 2.46. Πλάσματα του νερού και της φαντασίας – η μικρή γοργόνα, σύμβολο της Κοπεγχάγης



Ο υδρολογικός κύκλος 1

- Εξατμισιοδιαπνοή

Εξάτμιση = απομάκρυνση νερού υπό μορφή υδρατμών

Διαπνοή = εξάτμιση από επιφάνεια φύλλων

- Συμπύκνωση = μετάβαση από αέρια σε υγρή μορφή

- Κατακρημνίσματα = μεταφορά νερού από την ατμόσφαιρα στη λιθόσφαιρα και την υδρόσφαιρα

(βροχή, χιόνι, χαλάζι)

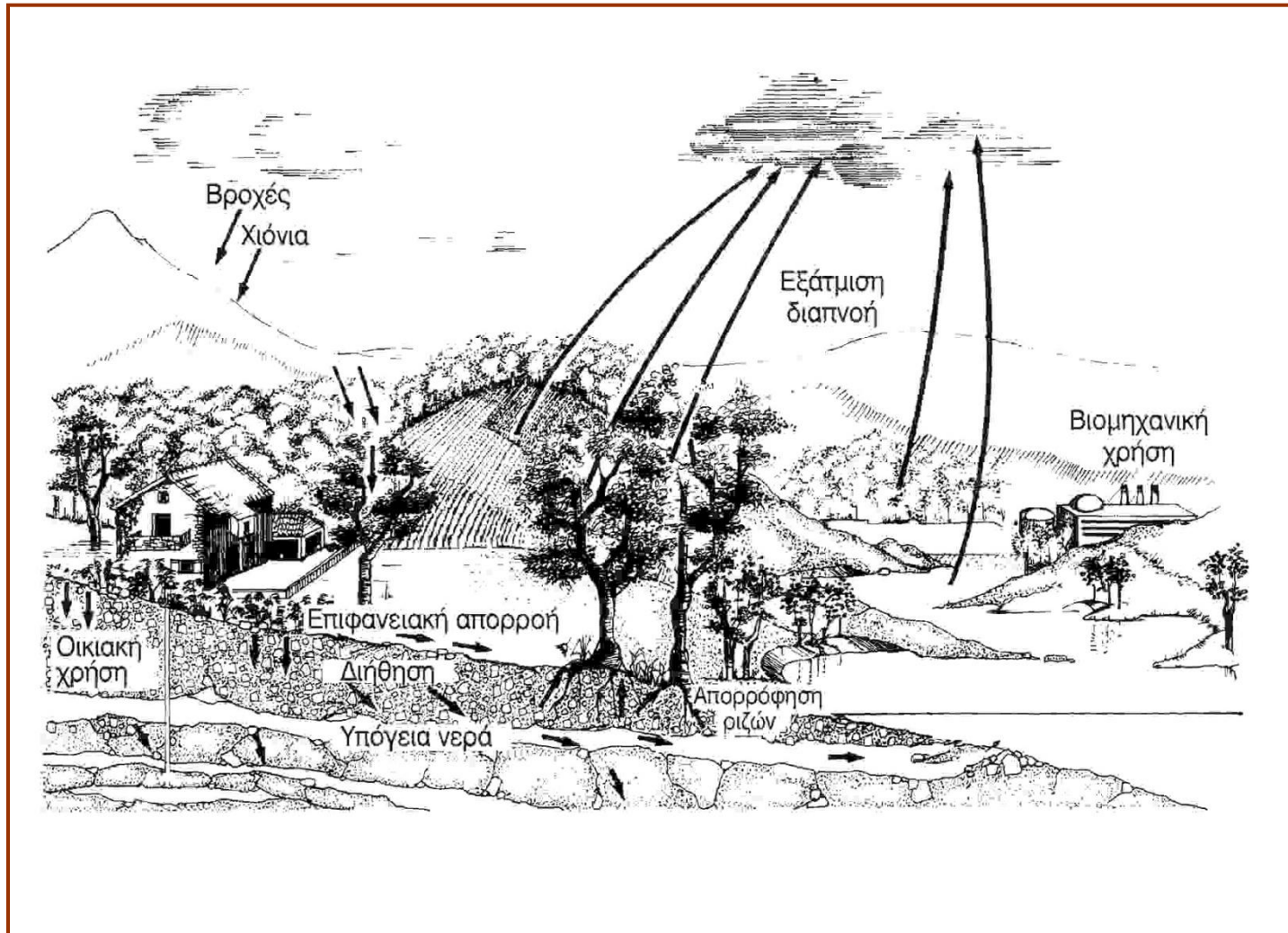
Αντιστοιχία με φωτοσύνθεση – αναπνοή ως προς ενέργεια

- Διήθηση = κατακόρυφη μεταφορά - εισχώρηση στο έδαφος

- Απορροή = επιφανειακή μεταφορά προς υδάτινο αποδέκτη



Ο υδρολογικός κύκλος 2

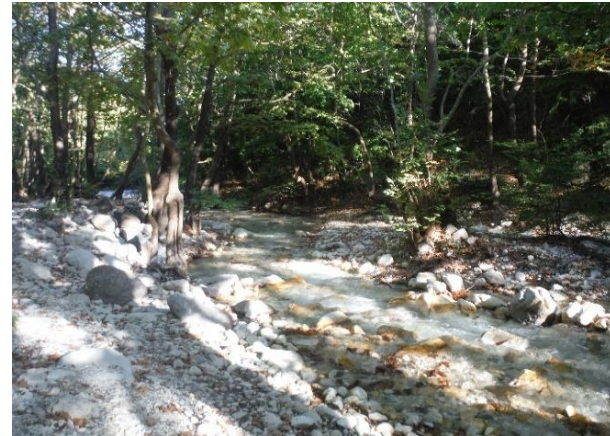


Εικόνα 2.47.
Σχηματική απεικόνιση του κύκλου του νερού



Ταχύτητα κύκλοφορίας νερού

- Κύκλος απλός πάνω από ωκεανούς
- Ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα ισοδύναμη με στιβάδα πάχους 2,5 cm
- Μέση ετήσια βροχόπτωση στη Γη, 65 cm
- Άρα, το νερό πέφτει και εξατμίζεται πάνω από 25 φορές ετησίως, οπότε 15 ημέρες: ο χρόνος επαναφοράς του ατμοσφαιρικού νερού



Ο υδρολογικός κύκλος στην ξηρά

- Κύκλος περίπλοκος στην ξηρά – πολλές οι δυνατότητες
 - Άμεση εξάτμιση, διαπνοή, διήθηση σε βαθύτερα στρώματα εδάφους και είσοδος στο σύστημα των υπόγειων υδάτων, επιφανειακή απορροή
- Βαθμός κατακράτησης νερού στο έδαφος εξαρτώμενος από οργανική ουσία και πορώδες, αλλά πρωτίστως από την παρουσία ή μη υπερκείμενης βλάστησης



Απώλεια γλυκού νερού και εδάφους

- Ο όγκος του επιφανειακά ρέοντος νερού που απομακρύνεται από το οικοσύστημα για να φθάσει τελικά στη θάλασσα αυξάνεται εντυπωσιακά στις λεκάνες απορροής, από τις οποίες απομακρύνθηκε η βλάστηση
- Έτσι, το επιθυμητό γλυκό νερό καταλήγει τάχιστα σε αλμυρό και παύει να είναι άμεσα χρησιμοποιήσιμο από τον άνθρωπο
- Παράλληλα, χάνονται έδαφος και θρεπτικά



Εικόνα 2.48. Με τα φράγματα, το νερό διατηρείται ως γλυκό (στη χρήσιμη μορφή του), αλλά με σημαντικές επιπτώσεις στα φυσικά συστήματα



Ο υδρολογικός κύκλος στους ωκεανούς

- Έλλειμμα βροχόπτωσης στους ωκεανούς συγκριτικά με εξάτμιση
- Μεταφορά και συμπύκνωση νερού στις ορεινές περιοχές
 - Τα κατακρημνίσματα πάνω από τη χέρσο υπερβαίνουν την εξατμισιοδιαπνοή
 - Το έλλειμμα βροχόπτωσης στους ωκεανούς εξισορροπείται από το μεταφερόμενο από την ξηρά με άλλους τρόπους



Εικόνα 2.49. Εστίες συμπύκνωσης των υδρατμών



Ζήτηση νερού

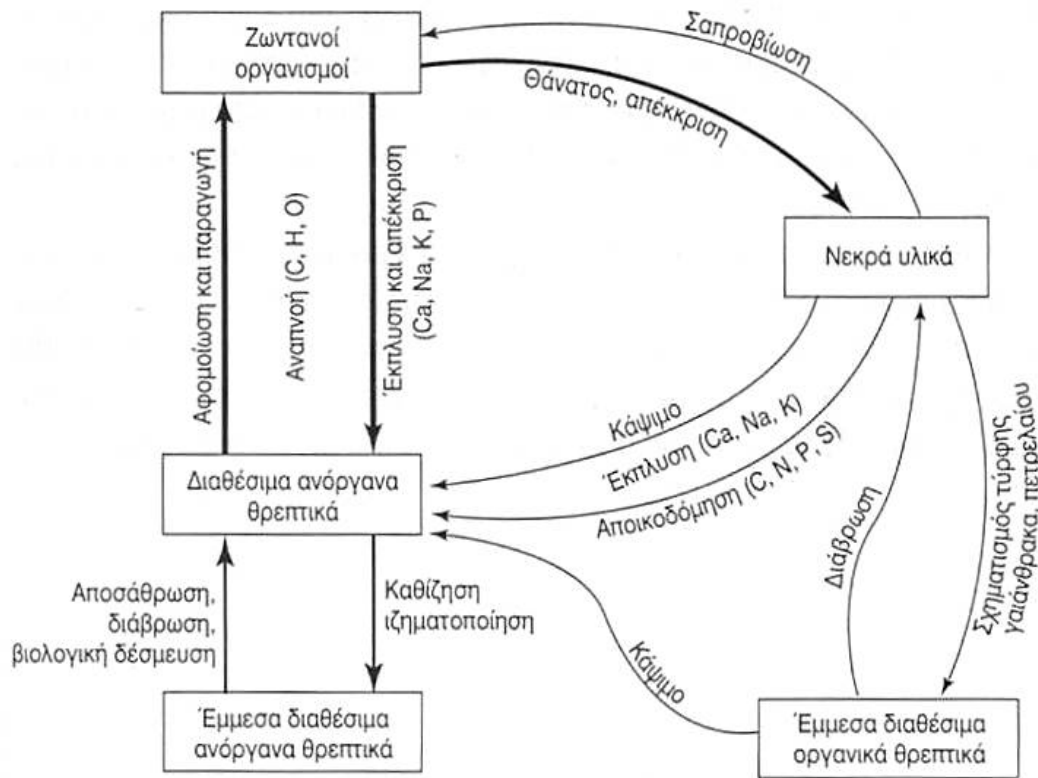
- Οι άνθρωποι παρεμβαίνουν στον κύκλο του νερού για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους
 - Πόσιμο και για οικιακή χρήση, στη γεωργία, στη βιομηχανία, στην παραγωγή ενέργειας
 - Γεωργία: ο μεγαλύτερος χρήστης
 - Η χρήση του συχνά συνδέεται με ρύπανση/μόλυνσή του
- Η παροχή πόσιμου νερού είναι από τα πιο πιεστικά προβλήματα του κόσμου μας



Εικόνα 2.50. Η μέγιστη ποσότητα γλυκού νερού καταναλώνεται στην άρδευση. Θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι τα χρησιμοποιούμενα συστήματα δεν έχουν μεγάλες απώλειες και ότι οι καλλιέργειες δεν αρδεύονται υπό συνθήκες υψηλής εξάτμισης (μεσημέρι)



Διαμερισματοποίηση και κυκλοφορία θρεπτικών στοιχείων



Εικόνα 2.51. Δεξαμενές θρεπτικών στοιχείων στα οικοσυστήματα και διεργασίες μέσω των οποίων διακινούνται

Οι μεταφορές είναι πολύ γρήγορες ανάμεσα στις τρεις κύριες δεξαμενές και πολύ αργές από τις δεξαμενές των έμμεσα διαθέσιμων θρεπτικών (ανόργανων ή οργανικών)



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/2)

Εικόνα 2.3: <http://www.slideshare.net/kingcobra2012/communities-28273090>

Εικόνα 2.5, 2.7: (α) <https://openclipart.org/detail/148705/Corn>

(β) http://en.wikipedia.org/wiki/Wood_mouse#mediaviewer/File:Apodemus_sylvaticus_bosmuis.jpg

(γ) http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Western_terrestrial_garter_snake_juvie.jpg

(δ) http://de.wikipedia.org/wiki/Alaska_Chilkat_Bald_Eagle_Preserve#mediaviewer/File:Bald_Eagle_Alaska_%2810%29.jpg

(ε) http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mushrooms_of_some_sort.jpg

Εικόνα 2.20: <https://shutupdad.files.wordpress.com/2012/06/dbp.jpg>

<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Landfill.jpg>

http://www.umbc.edu/ges/student_projects/Cubhill/Cub%20Hill%20Web%20Page/cubhill_summer2002soilorg.html

Εικόνα 2.22: Υπό την άδεια CC BY-SA 3.0 μέσω Wikimedia Commons -

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earthworm_klitellum_copulation_beentree.jpg#/media/File:Earthworm_klitellum_copulation_beentree.jpg

Εικόνα 2.33: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Benxi_Steel_Industries.jpg

Εικόνα 2.34: "Mauna Loa Carbon Dioxide" by StefanPohl (talk) - selbst geplottet, Daten: ftp://aftp.cmdl.noaa.gov/products/trends/co2/co2_mm_mlo.txt. Licensed under CC0 via Wikimedia Commons

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mauna_Loa_Carbon_Dioxide.svg#/media/File:Mauna_Loa_Carbon_Dioxide.svg



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/2)

Εικόνα 2.37: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lotus_pedunculatus11_ies.jpg

Εικόνα 2.38: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rockall -
the most difficult island in the world to sleep on - geograph.org.uk - 1048828.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rockall-_the_most_difficult_island_in_the_world_to_sleep_on_-_geograph.org.uk_-_1048828.jpg)

Εικόνα 2.40:

http://en.wikipedia.org/wiki/Eutrophication#/media/File:Caspian_Sea_from_orbit.jpg

Εικόνα 2.41: <http://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur#/media/File:Sulfur-sample.jpg>

Εικόνα 2.43: <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/hole.html>

Εικόνα 2.50: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Furrow_irrigated_Sugar.JPG

Εικόνες 2.12, 2.17, 2.25, 2.28, 2.29, 2.32, 2.39, 2.47, 2.51: Σύγγραμμα «Γενική Οικολογία: Μια εισαγωγή», Δέσποινα Βώκου, εκδόσεις University Studio Press

Όλες οι υπόλοιπες φωτογραφίες-εικόνες του παρόντος προέρχονται από το κοινό αρχείο των Δ. Βώκου & J.M. Halley



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Δέσποινα Βώκου. «Γενική Οικολογία: Οικοσυστήματα». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://opencourses.auth.gr/courses/OCRS497/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

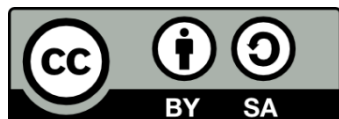
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Β. Αλμπανίδου
Θεσσαλονίκη, 1 Φεβρουαρίου 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

