

ΕΙΔΙΚΑ ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

## ΔΙΑΛΕΞΗ 12

# ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

---

ΕΔΑΦΟΣ, ΑΕΡΑΣ, ΥΔΑΤΙΝΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΔΙΔΑΣΚΟΥΣΑ: ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ

# Περιβάλλοντα και μικροπεριβάλλοντα

---

## ❑ **Μικροοργανισμοί και μικροπεριβάλλον**

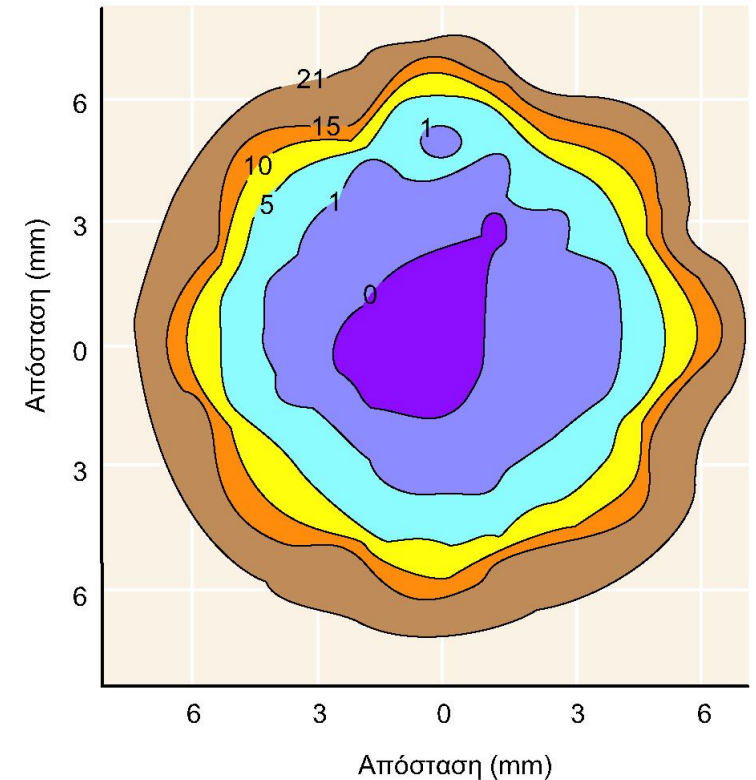
- ❑ Τα φυσικά ενδιαιτήματα των μικροοργανισμών χαρακτηρίζονται από εξαιρετική ποικιλία και αφθονία γεγονός που εξηγεί τη μεγάλη μεταβολική ποικιλία και τη βιοποικιλότητα των μικροοργανισμών
- ❑ Η ανάπτυξη των μικροοργανισμών στη φύση εξαρτάται από τα διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία και τις συνθήκες ανάπτυξης
- ❑ Με βάση την οικολογία κάθε οργανισμός έχει τουλάχιστον ένα **πρωτεύον ενδιαίτημα** όπου και παρουσιάζει το μεγαλύτερο βαθμό προσαρμοστικότητας
- ❑ Το μικρό μέγεθος των μικροοργανισμών αποτελεί καθοριστικό παράγοντα και για το μέγεθος του ενδιαιτήματος → οργάνωση σε **μικροκλίμακα**
- ❑ **Μικροπεριβάλλον:** η ακριβής θέση όπου ζει και μεταβολίζει ένας μικροοργανισμός

# Περιβάλλοντα και μικροπεριβάλλοντα

## ❑ Μικροοργανισμοί και μικροπεριβάλλον – το παράδειγμα ενός κόκκου εδάφους

- ❑ Ακόμα και σε ένα κόκκο εδάφους ακτίνας 3mm είναι δυνατόν να συνυπάρχουν μικροπεριβάλλοντα με μεγάλες διαφορές στις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες
- ❑ Σε ένα τέτοιο σωματίδιο το περιεχόμενο οξυγόνο δεν κατανέμεται ομοιογενώς στις διάφορες ζώνες του κόκκου
  - Εξωτερική ζώνη → πλήρως οξυγονωμένη
  - Κέντρο: Εντελώς ανοξικό

=> Ακόμη και κατά μήκος πολύ μικρών διαστάσεων χώρων υπάρχουν διαφορετικά ενδιαίτηματα και μπορεί να συνυπάρχουν τύποι μικροοργανισμών με διαφορετική φυσιολογία



**Εικόνα 19.2** Ζώνες συγκέντρωσης του  $O_2$  σε έναν εδαφικό κόκκο. Οι άξονες αναπαριστούν τις διαστάσεις του κόκκου. Οι τιμές σε κάθε επιμέρους ζώνη δηλώνουν την ποσοστιαία συγκέντρωση  $O_2$  (ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει 21%  $O_2$ ). Σε ό,τι αφορά τη σχέση των μικροοργανισμών με το οξυγόνο, κάθε ζώνη μπορεί να θεωρηθεί ως διαφορετικό μικροπεριβάλλον.

# Περιβάλλοντα και μικροπεριβάλλοντα

---

## ❑ Μικροοργανισμοί και μικροπεριβάλλον

❑ Τα μικροπεριβάλλοντα είναι ετερογενή

❑ Οι φυσικοχημικές συνθήκες σε ένα μικροπεριβάλλον μπορεί να αλλάζουν με γρήγορους ρυθμούς



**Τα μικροπεριβάλλοντα ευνοούν την εμφάνιση μεγάλης μικροβιακής ποικιλότητας σε σχετικά περιορισμένο φυσικό χώρο**

# Μικροβιακά ενδιαίτηματα

## ❑ Χερσαία περιβάλλοντα - Έδαφος

### ❑ Πρωτογενή σωματίδια και μηχανική σύσταση

- Συνήθως, ένα έδαφος περιέχει 45 έως 50% στερεά κ/ο εκ των οποίων το 95 έως 99,9% αποτελούν το ορυκτό κλάσμα
- Το πυρίτιο (47%) και το οξυγόνο (27%) είναι τα δύο πιο άφθονα στοιχεία του ορυκτού κλάσματος του φλοιού της Γης, που μαζί με μικρότερες ποσότητες άλλων στοιχείων, συνδυάζονται για να σχηματίσουν μια μεγάλη ποικιλία ορυκτών
- Η διάβρωση οδηγεί στην παραγωγή ορυκτών σωματιδίων που ταξινομούνται σε: άμμο, ιλύ και άργιλο
- Το ποσοστό(επί τοις εκατό κατά βάρος) άμμου, ιλύς και αργίλου μέσα σε ένα πορώδες μέσο καθορίζει τη μηχανική του σύσταση

**Βασικός διαχωρισμός εδαφών με βάση το μέγεθος των ορυκτών**

Άμμος: 0.05 έως 2 mm

Ιλύς: 0.002 έως 0.05 mm

Άργιλλος: < 0.002 mm (2 μm)

# Μικροβιακά ενδιαίτηματα

---

## ❑ Χερσαία περιβάλλοντα - Έδαφος

### ❑ Οργανική ύλη

❑ Η οργανική ύλη στο έδαφος ορίζεται ως συνδυασμός:

- Της ζωντανής βιομάζας, συμπεριλαμβανομένων ζώων, μικροβίων και των ριζών των φυτών
- Νεκρών και αποσυντιθέμενων υλικών βιολογικής προέλευσης
- Χουμικών ουσιών = ετερογενή πολυμερή που σχηματίστηκαν κατά τη διαδικασία της αποσύνθεσης της φυτικής, ζωικής και μικροβιακής βιομάζας

❑ Στο έδαφος η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη κυμαίνεται από λιγότερο από 1% σε ζεστά ξηρά κλίματα που έχουν χαμηλή εισροή υπολειμμάτων φυτών, έως 5% σε πιο δροσερές πιο υγρές περιοχές με μεγάλες εισροές φυτών

❑ Σε αντίθεση, τα υπόγεια περιβάλλοντα συνήθως περιέχουν μόνο πολύ μικρές ποσότητες οργανικής ύλης < 0,1%

# Μικροβιακά ενδιαίτηματα

---

## ☐ Χερσαία περιβάλλοντα - Έδαφος

- ☐ Τα εδάφη κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:
  - Τα ανόργανα εδάφη → προέρχονται από την αποσάθρωση πετρωμάτων ή άλλης ανόργανης ύλης
  - Τα οργανικά εδάφη → προέρχονται από διαδικασίες ιζηματογένεσης σε έλη και τενάγη

# Μικροβιακά ενδιαίτηματα

---

## ❑ Χερσαία περιβάλλοντα – Σχηματισμός εδάφους

- ❑ Ο σχηματισμός του εδάφους είναι αποτέλεσμα συνδυασμού φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών
- ❑ Διακρίνονται πέντε παράγοντες σχηματισμού εδάφους:
  - **Μητρικό υλικό:** λίθοι, ορυκτά από τα οποία σχηματίζεται το έδαφος με διάβρωση
  - **Κλίμα**
  - **Οργανισμοί:** Φυτά, ζώα, μικροοργανισμοί συμμετέχουν στη διάβρωση
  - **Τοπογραφία**
  - **Χρόνος**



# Μικροβιακά ενδιαίτηματα

---

## ❑ Χερσαία περιβάλλοντα – Σχηματισμός εδάφους

### ❑ Διάβρωση πετρωμάτων από τους μικροοργανισμούς

❑ Σε περιόδους ξηρασίας οι οργανισμοί βρίσκονται σε λανθάνουσα κατάσταση πάνω στα πετρώματα και αναπτύσσονται όταν υπάρξει υγρασία

❑ Φωτότροφοι οργανισμοί (φύκη, βρύα, λειχήνες) : παράγουν οργανική ύλη που ευνοεί την ανάπτυξη των χημειοργανότροφων βακτηρίων και μυκήτων

### ❑ Χημειοργανότροφοι οργανισμοί:

- Παράγουν  $\text{CO}_2$  το οποίο μετατρέπεται σε ανθρακικό οξύ το οποίο αποτελεί σημαντικό παράγοντα διάβρωσης των πετρωμάτων
- Εκκρίνουν οργανικά οξέα -> κατακερματισμός πετρωμάτων

# Μικροβιακά ενδιαίτηματα

---

## ❑ Χερσαία περιβάλλοντα – Σχηματισμός εδάφους

- ❑ Η τήξη και η πήξη του νερού και άλλες φυσικές διεργασίες, οδηγούν στο σχηματισμό ρωγμών στα πετρώματα
- ❑ Ανάπτυξη φυτών και ριζικού συστήματος -> ενίσχυση του θρυμματισμού των πετρωμάτων και έκκριση ουσιών που ευνοούν την ανάπτυξη ριζοσφαιρικής μικροχλωρίδας
- ❑ Αποσύνθεση φυτών -> εμπλουτισμός με θρεπτικές ουσίες => εντονότερη μικροβιακή αύξηση
- ❑ Αύξηση της έντασης της αποσάθρωσης -> μεγαλύτερο πάχος εδάφους -> υποστήριξη μεγαλύτερων φυτών και δέντρων και εγκατάσταση ζώων => ανάμειξη και αερισμός των ανώτερων τμημάτων του εδάφους
- ❑ Μετακίνηση υλικών σε βαθύτερα στρώματα => διαμόρφωση στρωμάτων και τυπικής εδαφικής κατατομής

# Μικροβιακά ενδιαιτήματα

## ❑ Τυπική εδαφική κατατομή

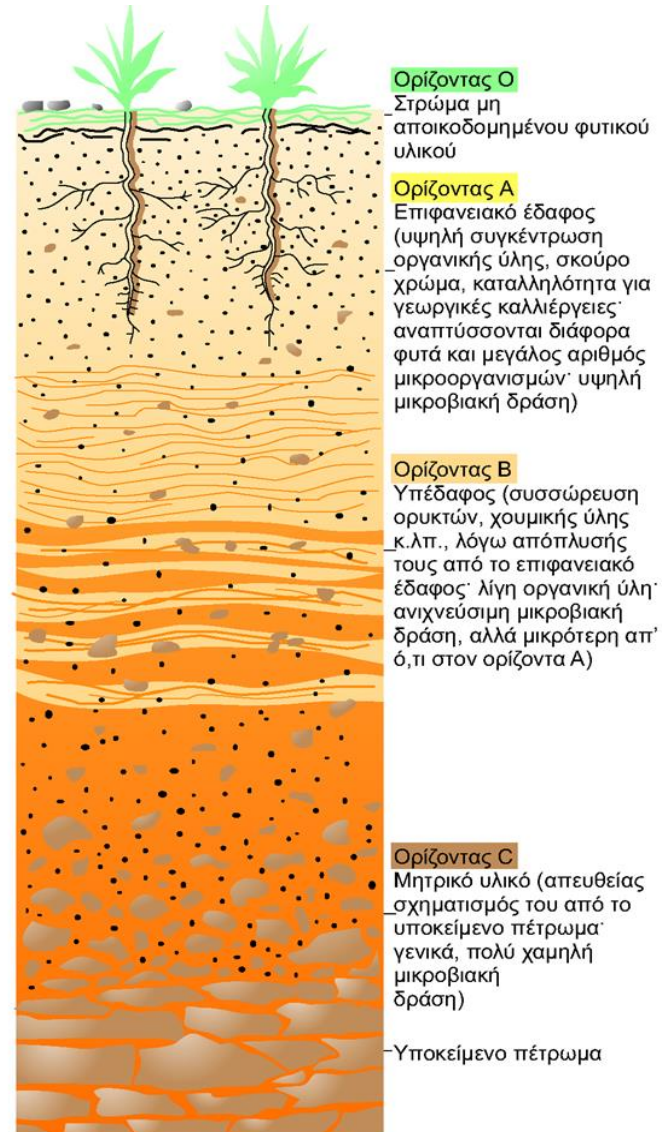
❑ Ορίζοντας O

❑ Ορίζοντας A

❑ Ορίζοντας B

❑ Ορίζοντας C

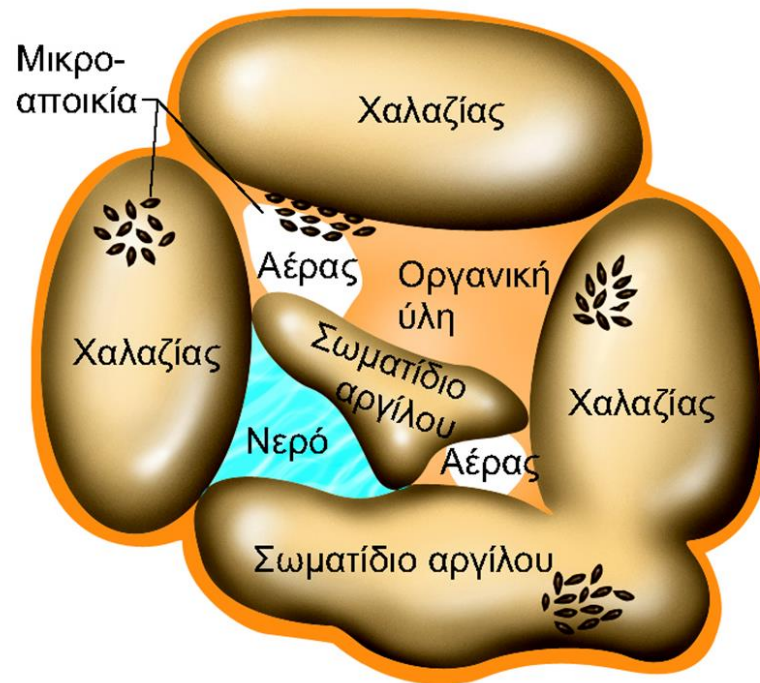
❑ Ο ρυθμός σχηματισμού της τυπικής εδαφικής κατατομής διαρκεί μερικές εκατοντάδες χρόνια



# Μικροβιακά ενδιαιτήματα

## □ Η σημασία της συσσωμάτωσης

- Η συσσωμάτωση είναι ένας εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας για τη βιωσιμότητα του εδάφους => αντίσταση στη διάβρωση από το νερό και τον άνεμο
- **Κρυπτοβιοτική κρούστα:** συσσωματώματα εδάφους που απαντάται σε άνυδρες περιοχές – προστασία από τη διάβρωση
- Εξειδικευμένες κοινότητες κυανοβακτηρίων, βρυών και λειχήνων που συνδέονται μεταξύ τους με οργανικά υλικά



**Εικόνα 19.7** Σχεδιάγραμμα εδαφικού συσσωματώματος αποτελούμενου από ανόργανα και οργανικά συστατικά, όπου φαίνονται οι θέσεις των μικροοργανισμών του εδάφους. Πολύ λίγοι μικροοργανισμοί απαντούν σε ελεύθερη μορφή στο εδαφικό διάλυμα· οι περισσότεροι εμφανίζονται με τη μορφή μικροαποικιών προσκολλημένων στα εδαφικά σωματίδια.

# Μικροβιακά ενδιαίτηματα

---

## ❑ Παράγοντες καθορισμού της μικροβιακής δράσης στο έδαφος

### ❑ Διαθεσιμότητα νερού

❑ Η παρουσία του νερού στο έδαφος εξαρτάται από τη σύσταση του εδάφους, τις βροχοπτώσεις, την ικανότητα αποστράγγισης και τη φυτική κάλυψη

- Απορρόφηση του νερού σε επιφάνειες

- Ελεύθερο νερό με τη μορφή πολύ λεπτών στρωμάτων μεταξύ των σωματιδίων του εδάφους

❑ Το εδαφικό νερό περιέχει σε διάλυση ποικιλία υλικών και το συνολικό μείγμα αποτελεί το **εδαφικό διάλυμα**

❑ Η εδαφική υγρασία καθορίζει και τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου στο έδαφος και στους μικροοργανισμούς του εδάφους




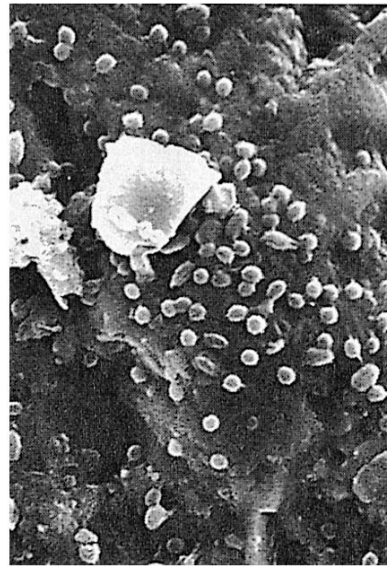
# Μικροβιακά ενδιαίτηματα

## ❑ Παράγοντες καθορισμού της μικροβιακής δράσης στο έδαφος

### ❑ Θρεπτική κατάσταση

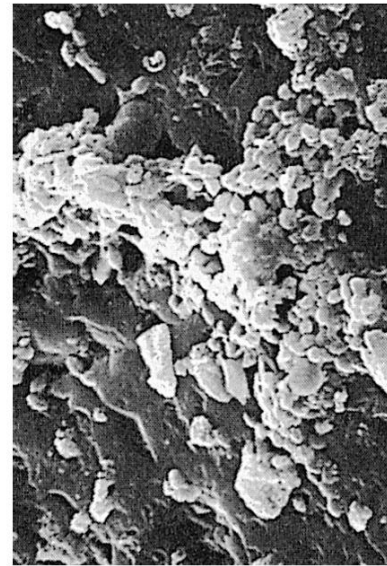
- ❑ Η αφθονία και η δραστηριότητα των μικροοργανισμών εξαρτάται από τη σχετική αναλογία των διαθέσιμων θρεπτικών ουσιών, οργανικών και ανόργανων

**Εικόνα 19.8** Μικρογραφήματα ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης στα οποία απεικονίζονται μικροοργανισμοί στην επιφάνεια εδαφικών σωματιδίων. (α) Μικροαποικία βραχέων ραβδόμορφων βακτηρίων. (β) Σπόρια ακτινομυκήτων (  Τμήμα 12.25). Τα κύτταρα στο (α) και τα σπόρια στο (β) έχουν πλάτος 1-2 μm περίπου. (γ) Υφές μυκήτων. Οι μυκητιακές υφές έχουν πλάτος 4 μm περίπου και καλύπτονται από ανόργανο υλικό.



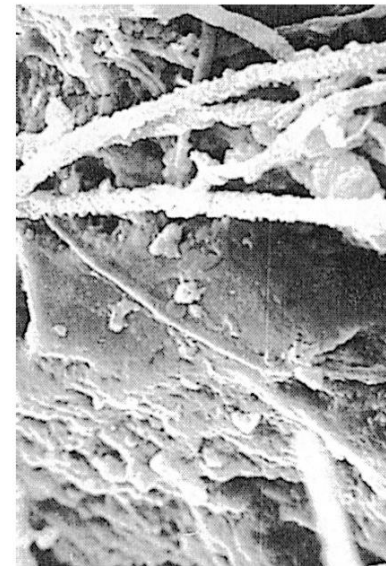
T. R. G. Gray

(α)



T. R. G. Gray

(β)



T. R. G. Gray

(γ)

# Μικροβιακά ενδιαίτηματα

---

## ❑ Το έδαφος ως μικροβιακό ενδιαίτημα

- ❑ Η εντονότερη μικροβιακή ανάπτυξη παρατηρείται στην επιφάνεια των εδαφικών σωματιδίων, στην περιοχή της ριζόσφαιρας
- ❑ Στα επιφανειακά εδάφη απαντώνται πληθυσμοί βακτηρίων (συμπεριλαμβανομένων των ακτινομυκητών), αρχαίων, μυκήτων, φυκών και πρωτόζωων
- ❑ Καθώς το μέγεθος αυτών των οργανισμών αυξάνεται από βακτήρια σε πρωτόζωα, μειώνεται η αντίστοιχη αφθονία του πληθυσμού της μικροβιακής ομάδας
- ❑ Παρουσία φάγων ή ιών που μπορούν να προσβάλλουν κάθε κατηγορία οργανισμών
- ❑ Εισαγωγή μικροοργανισμών στο έδαφος μέσω ανθρώπινης ή ζωικής δραστηριότητας
- ❑ Ανεξάρτητα από την πηγή, οι εισαγόμενοι οργανισμοί σπάνια επηρεάζουν σημαντικά την αφθονία και την κατανομή των γηγενών πληθυσμών

# Το έδαφος ως μικροβιακό ενδιαίτημα

---

## ☐ Βακτήρια

- ☐ Τα βακτήρια αποτελούν τους πιο άφθονους οργανισμούς στα επιφανειακά εδάφη
- ☐ Τα καλλιεργήσιμα βακτήρια κυμαίνονται μεταξύ  $10^7$  έως  $10^8$  κύτταρα ανά γραμμάριο εδάφους, ενώ ο συνολικός πληθυσμός (μπορεί να υπερβαίνει το  $10^{10}$  κύτταρα ανά γραμμάριο εδάφους)
- ☐ Η αφθονία των καλλιεργήσιμων βακτηρίων ποικίλλει ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (υγρασία, θερμοκρασία)
- ☐ Σε αποστραγγισμένα εδάφη, τα αερόβια βακτήρια συνήθως υπερβαίνουν σε αριθμό τα αναερόβια κατά δύο ή τρεις τάξεις μεγέθους
- ☐ Οι αναερόβιοι πληθυσμοί αυξάνονται με την αύξηση του βάθους του εδάφους αλλά σπάνια κυριαρχούν εκτός εάν τα εδάφη είναι μη επαρκώς αποστραγγισμένα ή / και πλημμυρισμένα



# Το έδαφος ως μικροβιακό ενδιαίτημα

---

## □ Βακτήρια

### □ Κατηγορίες βακτηρίων στο εδαφικό περιβάλλον:

- Βακτήρια που ακολουθούν την **επιλογή τύπου K** : αργός μεταβολισμός – χρησιμοποιούν ως πηγή άνθρακα την βραδέως απελευθερούμενη οργανική ύλη εδάφους
- Βακτήρια που ακολουθούν την **επιλογή τύπου r**: ευπροσάρμοστος μεταβολισμός ανάλογα με τη διαθεσιμότητα υποστρωμάτων

➤ Πόσα διαφορετικά βακτήρια υπάρχουν στο έδαφος;;;

# Το έδαφος ως μικροβιακό ενδιαίτημα

---

## ☐ **Ακτινομύκητες**

- ☐ Απαντώνται σε χερσαία και υδατινα οικοσυστήματα
- ☐ Η αφθονία των ακτινομυκητών στα εδαφικά περιβάλλοντα είναι γενικά μία έως δύο τάξεις μεγέθους μικρότερη από το συνολικό πληθυσμό των βακτηρίων
- ☐ Χρησιμοποιούν μεγάλο εύρος υποστρωμάτων που βρίσκονται στο έδαφος, και ειδικά ορισμένα από τα λιγότερο αποικοδομήσιμα πολυμερή εντόμων και φυτών όπως χιτίνη, κυτταρίνη και ημικυτταρίνη
- ☐ **Λειτουργίες ακτινομυκητών**
  - Πηγή φυσικών προϊόντων και αντιβιοτικών, π.χ. στρεπτομυκίνη
  - Παράγουν γεωσμίνες, ενώσεις που δίνουν στο χώμα και το νερό μια χαρακτηριστική γήινη μυρωδιά
  - Ικανότητα αποικοδόμησης σύνθετων οργανικών μορίων
  - Ικανότητα βιολογικής αζωτοδέσμευσης

# Το έδαφος ως μικροβιακό ενδιαίτημα

---

## □ Αρχαία

- Για χρόνια υπήρχε η θεώρηση ότι απαντώνται κυρίως σε ακραία περιβάλλοντα όπως σε θερμές πηγές, ή σε εδάφη με υπεραλατότητα -> **ευρέως διαδεδομένα στη φύση**
- Παρόλο που οι πληθυσμοί των αρχαίων μπορεί να είναι πολύ μεγάλοι (>10<sup>8</sup> ανά γραμμάριο εδάφους), είναι συνήθως δύο ή περισσότερες τάξεις μεγέθους λιγότερο πολυάριθμα από τα βακτήρια
- Συμβολή σε πολλαπλές διεργασίες του εδάφους, συμπεριλαμβανομένων των βιογεωχημικών κύκλων του C, N και S
- Σημαντικό ρόλο στη νιτροποίηση (οξείδωση αμμωνίας) και στη μεθανιογένεση
  - Τα νιτροδοποιητικά αρχαία φαίνεται να επικρατούν αριθμητικά και λειτουργικά σε όξινα εδάφη με χαμηλά επίπεδα N
  - Η μεθανιογένεση είναι μια διεργασία που επιτελείται αποκλειστικά από τα αρχαία με ιδιαίτερη σημασία για τον παγκόσμιο βιογεωχημικό κύκλο του C

# Το έδαφος ως μικροβιακό ενδιαίτημα

---

## ☐ Μύκητες

- ☐ Οι μύκητες είναι στην πλειοψηφία τους (εκτός από τις ζύμες) αερόβιοι και αφθονούν στα περισσότερα επιφανειακά εδάφη
- ☐ Ο αριθμός των μυκήτων συνήθως κυμαίνεται από  $10^5$  έως  $10^6$  ανά γραμμάριο εδάφους
- ☐ Λόγω του μεγάλου μεγέθους τους, οι μύκητες περιορίζονται στις περιοχές μεταξύ των συσσωματωμάτων του εδάφους
- ☐ Οι ζύμες ακολουθούν αναερόβιο μεταβολισμό (ζύμωση) και απαντώνται σε πληθυσμούς έως  $10^3$  ανά γραμμάριο εδάφους
- ☐ Χρησιμοποιούν οργανικές πηγές ως υπόστρωμα => σχηματίζουν μεγαλύτερους πληθυσμούς στους ορίζοντες O και A, με την αφθονία τους να μειώνεται αυξανόμενου του βάθους του εδάφους
- ☐ Πιο ανθεκτικοί από τα βακτήρια σε όξινες συνθήκες

# Το έδαφος ως μικροβιακό ενδιαίτημα

---

## ☐ Μύκητες

- ☐ Ανακύκλωση θρεπτικών συστατικών και ιδιαίτερα στην αποσύνθεση οργανικών υλικών, απλών (σάκχαρα) και σύνθετων (πολυμερή όπως κυτταρίνη και λιγνίνη) – είδη των γενών *Penicillium* και *Aspergillus*
- ☐ Συμβάλλουν στην ανάπτυξη της δομής του εδάφους -> παγιδεύουν τα σωματίδια του εδάφους με τις μυκηλιακές τους υφές
- ☐ Δυνατότητα αποδόμησης ποικιλίας περιβαλλοντικών ρύπων
  - Παράδειγμα: ο μύκητας της λευκής σήψης *Phanerochaete chrysosporium*
- ☐ Παθογόνα των φυτών *Fusarium* spp., *Pythium* spp. και *Rhizoctonia* spp.
- ☐ Παθογόνα των ανθρώπων π.χ. *Coccidioides immitis* – ασθένεια «valley fever»
- ☐ Μυκορριζικοί μύκητες και αλληλεπίδραση με τα ανώτερα φυτά

# Το έδαφος ως μικροβιακό ενδιαίτημα

---

## ☐ Φύκη και Κυανοβακτήρια

- ☐ Τα φύκη αποτελούν συχνά τους πρώτους οργανισμούς που αποικίζουν εδάφη που στερούνται προσχηματισμένης οργανικής ύλης
- ☐ Η παρουσία τους είναι σημαντική για τη δημιουργία του εδάφους και τις διαδικασίες σχηματισμού, ειδικά σε άγονες ηφαιστειακές περιοχές, σε ερημικά εδάφη και σε πετρώματα
- ☐ Ο μεταβολισμός των φυκών είναι κρίσιμος για το σχηματισμό του εδάφους με δύο τρόπους:
- ☐ Παραγωγή CO<sub>2</sub> μέσω της φωτοσύνθεσης και ανθρακικού οξέος ως προϊόντος μεταβολισμού => διάβρωση των ορυκτών σωματιδίων
- ☐ Παραγωγή εξωκυτταρικών πολυσακχαριτών, οι οποίοι βοηθούν επίσης στο σχηματισμό του εδάφους προκαλώντας συσσωμάτωση των σωματιδίων του εδάφους

# Το έδαφος ως μικροβιακό ενδιαίτημα

---

## ☐ Φύκη και Κυανοβακτήρια

- ☐ Εκτός από τα φύκη στα εδαφικά ενδιαιτήματα απαντώνται επίσης κυανοβακτήρια π.χ. *Nostoc* και *Anabaena*
- ☐ Τα κυανοβακτήρια συμμετέχουν στη διαμόρφωση του εδάφους
- ☐ Ορισμένα κυανοβακτήρια έχουν την ικανότητα αζωτοδέμευσης, με το N να αποτελεί περιοριστικό παράγοντα σε άγονα περιβάλλοντα
- ☐ Σε εύκρατα εδάφη, η σχετική αφθονία των παραπάνω οργανισμών ακολουθεί την σειρά :  
πράσινα φύκη > διάτομα > κυανοβακτήρια > κίτρινο-πράσινα φύκη
- ☐ Σε τροπικά εδάφη κυριαρχούν τα κυανοβακτήρια

# Το έδαφος ως μικροβιακό ενδιαίτημα

---

## ☐ Πρωτόζωα

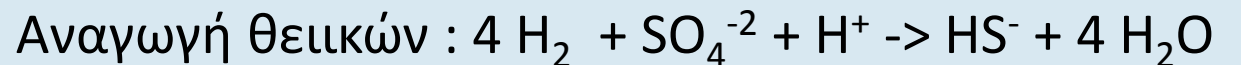
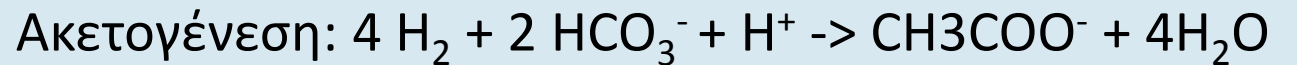
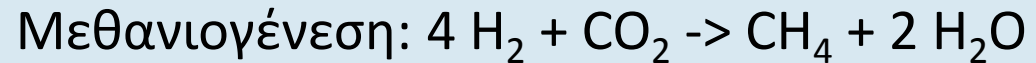
- ☐ Μονοκύτταροι, ευκαρυωτικοί οργανισμοί
- ☐ Ετεροτροφικά και επιβιώνουν καταναλώνοντας βακτήρια, ζύμες, μύκητες και φύκη
- ☐ Εμπλέκονται στην αποσύνθεση της οργανικής ύλης του εδάφους
- ☐ Απαντώνται συνήθως στα πρώτα 15-20 cm του εδάφους εξαιτίας των διατροφικών τους απαιτήσεων - συνήθως κοντά σε επιφάνειες ρίζας όπου υπάρχει υψηλή πυκνότητα σε βακτήρια ή άλλα θηράματα
- ☐ Τα πρωτόζωα του εδάφους είναι πιο επίπεδα και πιο ευέλικτα από τα υδρόβια πρωτόζωα => ευκολότερη μετακίνηση
- ☐ Ο πληθυσμός των πρωτοζώων στο έδαφος σχετίζεται συχνά με τον πληθυσμό των βακτηρίων, που είναι η κύρια πηγή διατροφής τους



# Το έδαφος ως μικροβιακό ενδιαίτημα

## □ Μικροβιολογία των βαθύτερων τμημάτων του υπεδάφους

- Χημεία υπεδάφικου νερού και πιθανότητα έκπλυσης τοξικών παραγόντων και μεταφοράς τους στον υδροφόρο ορίζοντα
- Ο αριθμός των κυττάρων στο υπέδαφος είναι πολύ μικρότερος από εκείνο του ορίζοντα Α – ωστόσο υψηλή βακτηριακή ποικιλότητα
  - αναερόβια βακτήρια όπως θειοαναγωγικά, μεθανιογόνα, ομοκετογόνα
  - αερόβια βακτήρια
  - προαιρετικά αερόβια βακτήρια



- Το υδρογόνο λειτουργεί ως δότης ηλεκτρονίων και παράγεται κατά τη ζύμωση της οργανικής ύλης ή από χημική αλληλεπίδραση του νερού με σιδηρούχες ενώσεις πετρωμάτων ( $\text{FeO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{FeO}_2$ ) (;)
- Το  $\text{CO}_2$  (μεθανιογόνα, ομοκετογόνα) και τα  $\text{SO}_4^{-2}$  (θειοαναγωγικά) αποτελούν τους δέκτες ηλεκτρονίων

# Το έδαφος ως μικροβιακό ενδιαίτημα

---

## ❑ Μικροβιολογία των βαθύτερων τμημάτων του υπεδάφους

- ❑ Χαμηλή μικροβιακή δραστηριότητα – αργή μετατροπή των οργανικών ενώσεων σε ανόργανες και απελευθέρωση των τελευταίων στα υπόγεια νερά
- ❑ Αυξημένο ενδιαφέρον για *in situ* βιοαποκατάσταση τοξικών ουσιών που εκπλύνονται από το έδαφος και καταλήγουν στα υπόγεια νερά ->
  - Προσθήκη ανόργανων θρεπτικών και ενίσχυση βιοαποδόμησης
  - Εισαγωγή αποδομητικών μικροοργανισμών στους ρυπασμένους υδροφόρους ορίζοντες και συνδιασμός

# Περιβάλλοντα του γλυκού νερού

---

- ❑ Λίμνες
- ❑ Ποτάμια
- ❑ Πηγές
- ❑ Μικρές υδατοδεξαμενές
- ❑ Ποικίλουν ως προς τις φυσικοχημικές ιδιότητες και τη μικροβιακή ποικιλότητα
  - Κυριαρχούν οι φωτότροφοι
  - Όπου επικρατούν αερόβιες συνθήκες απαντώνται φύκη και κυανοβακτήρια
  - Σε ανοξικές συνθήκες επικρατούν τα μη οξυγονοπαραγωγικά φωτότροφα

# Περιβάλλοντα του γλυκού νερού

---

- ❑ **Φυτοπλαγκτόν:** φύκη αιωρούμενα στις υδάτινες μάζες
- ❑ **Βενθικά φύκη:** φύκη προσκολλημένα στον πυθμένα ή πλευρικά στην υδάτινη λεκάνη
  
- ❑ **Πρωτογενείς παραγωγοί:** Φωτοτροφικοί οργανισμοί -> χρησιμοποιούν την ενέργεια του φωτός για την αρχική παραγωγή οργανικής ύλης
- ⇒ Η μικροβιακή δραστηριότητα στα υδάτινα οικοσυστήματα εξαρτάται από το ρυθμό πρωτογενούς παραγωγής
- ⇒ Οξυγονοπαραγωγικοί φωτότροφοι -> παράγουν νέα οργανική ύλη και οξυγόνο

# Περιβάλλοντα του γλυκού νερού

---

## ❑ Οξυγονικές σχέσεις σε λίμνες και ποτάμια

- ❑ **Οξυγόνο** -> περιορισμένη διαλυτότητα στο νερό και αργή ανταλλαγή μεταξύ της αμόσφαιρας και των υδάτινων μαζών
- ❑ Στα επιφανειακά στρώματα λιμνών και ωκεανών επικρατεί επαρκής φωτισμός και έντονη φωτοσυνθετική παραγωγή
- ❑ Η οργανική ύλη που δεν καταναλώνεται στα επιφανειακά στρώματα καθιζάνει στο βυθό και αποδομείται από τους προαιρετικά αερόβιους μικροοργανισμούς οι οποίοι δεσμεύουν το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο => ανοξικά βαθύτερα στρώματα λιμνών και επικράτηση αναερόβιων βακτηρίων και ελάχιστων μικροαερόφιλων ζώων

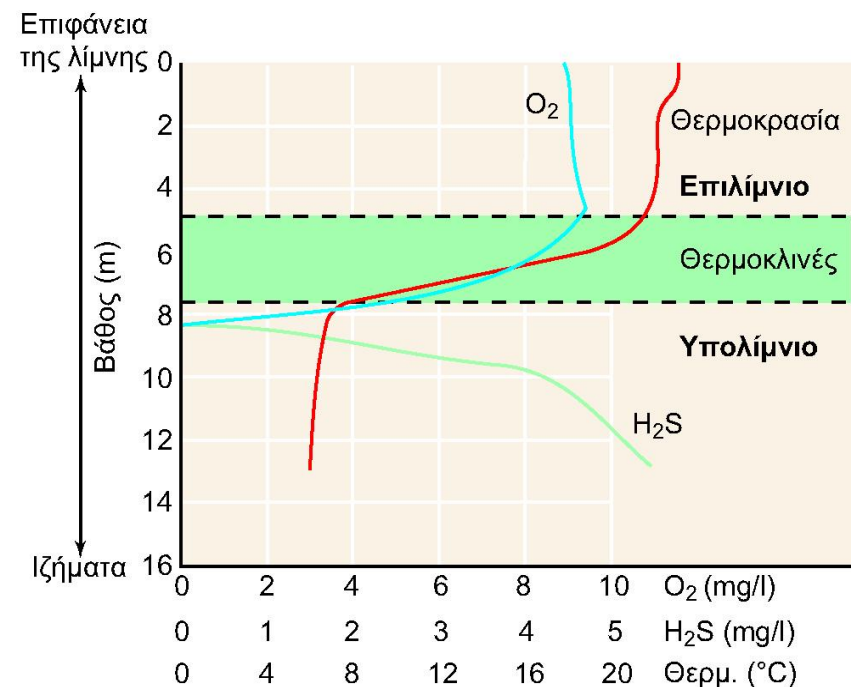
⇒ Μετατόπιση του μεταβολισμού από αναπνευστικός σε ζυμωτικός - μεθανιογόνος

# Περιβάλλοντα του γλυκού νερού

## □ Οξυγονικές σχέσεις σε λίμνες και ποτάμια

□ Η περιεκτικότητα ενός περιβάλλοντος σε οξυγόνο εξαρτάται από:

- Την περιεκτικότητα σε οργανική ύλη -> επάρκεια υποστρωμάτων για την μεταβολική κατανάλωση του οξυγόνου από τους χημειοοργανότροφους μικροοργανισμούς
  - Ταχύτητα ανάμιξης επιφανειακών με βαθύτερα νερά και μεταφορά οξυγόνου
  - Στρωματοποίηση υδάτινων μαζών και διαχωρισμός επιφανειακών και βαθύτερων στρωμάτων με τα τελευταία να καθίστανται ανοξικά
- Αλλαγές στην περιεκτικότητα του οξυγόνου => αλλαγές στη μικροβιακή δραστηριότητα



**Επιλίμνιο:** θερμότερα και λιγότερα πυκνά επιφανειακά ύδατα

**Υπόλιμνιο:** ψυχρότερα και πυκνότερα ύδατα των κατώτερων στρωμάτων

**Θερμοκλίνες:** ζώνη ταχείας μεταβολής της θερμοκρασίας

# Περιβάλλοντα του γλυκού νερού

## ❑ Οξυγονικές σχέσεις σε λίμνες και ποτάμια

### ❑ Ποταμοί και μειωμένη περιεκτικότητα σε οξυγόνο

- Προσθήκη οργανικής ύλης και ανόργανων θρεπτικών ( $\text{NH}_4^+$  και  $\text{PO}_4^{3-}$ ) υπό τη μορφή αστικών ή βιομηχανικών αποβλήτων

=> έντονη βακτηριακή αναπνοή

=> αύξηση του αριθμού των ετερότροφων

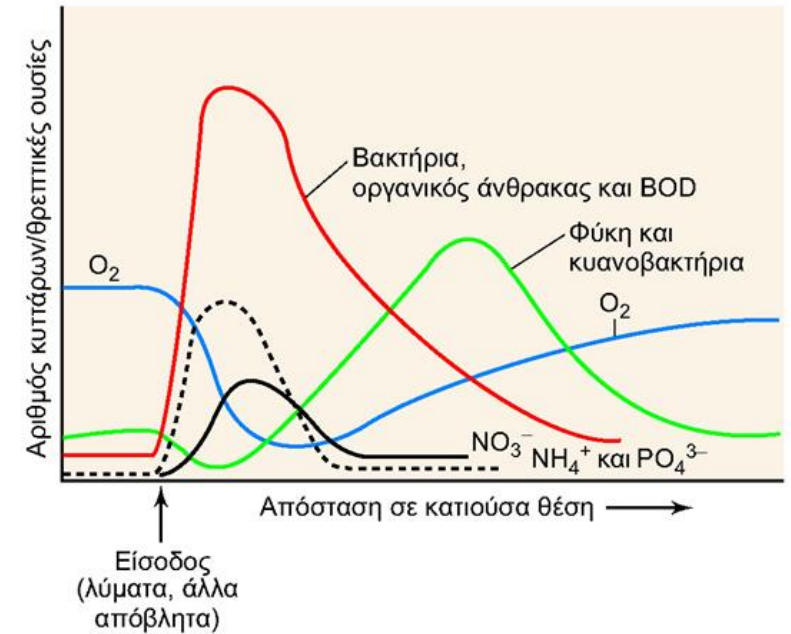
=> αύξηση του αριθμού αυτότροφων όπως νιτροποιητικοί μικροοργανισμοί

=> πολλαπλασιασμός φυκών και κυανοβακτηρίων

=> μείωση του περιεχόμενου οξυγόνου

=> ανοξία και μη ανεπιθύμητες συνέπειες

- ❑ Μετά την κατανάλωση του μεγαλύτερου μέρους των οργανικών και ανόργανων ενώσεων η συγκέντρωση του  $\text{O}_2$  επανέρχεται στα αρχικά επίπεδα



### Βιοχημική απαίτηση οξυγόνου (BOD)

- Η ικανότητα κατανάλωσης οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς μιας υδάτινης μάζας
- Αποτελεί μέτρο της ποσότητας της οργανικής ύλης που υπάρχει στο νερό και μπορεί να οξειδωθεί από τους μικροοργανισμούς



# Περιβάλλοντα του γλυκού νερού

## ❑ Οξυγονικές σχέσεις σε λίμνες και ποτάμια

### ❑ Ποταμοί και μειωμένη περιεκτικότητα σε οξυγόνο

- Υπέρμετρος πολλαπλασιασμός φυκών και κυανοβακτηρίων λόγω επιβάρυνσης με ανόργανα υλικά

=> Φωτοτροφικοί οργανισμοί και εμπλουτισμός των υδάτων με οξυγόνο

=> Νεκρά φυτικά μέρη και φύκη και υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικές ουσίες => αύξηση της κατανάλωσης του  $O_2$  μέσω αποικοδόμησης





# Θαλάσσια μικροβιολογία

---

## ❑ Θαλάσσια ενδιαίτηματα και μικροβιακή κατανομή

### ❑ Ωκεανοί

❑ Διαφέρουν από τα γλυκά νερά κυρίως ως προς την αλατότητα, τη μέση θερμοκρασία, τη θρεπτική κατάσταση

❑ Χαμηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά (N, P, Fe)

=> περιορισμένη δραστηριότητα πρωτογενών παραγωγών

=> χαμηλότερη μικροβιακή αφθονία συγκριτικά με τα οικοσυστήματα γλυκού νερού

# Θαλάσσια μικροβιολογία

## □ Θαλάσσια ενδιαιτήματα και μικροβιακή κατανομή

### □ Ωκεανοί – Πρωτογενής παραγωγικότητα

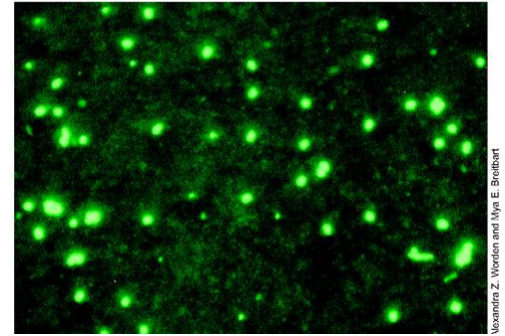
□ Προχλωρόφυτα: φωτοσυνθετικοί, οξυγονοπαραγωγικοί, προκαρυωτικοί μικροοργανισμοί, συγγενή των κυανοβακτηρίων – *Prochlorococcus*

□ Φωτοτροφικοί ευκαρυωτικοί μικροσκοπικοί οργανισμοί σε παράκτια ύδατα - *Ostreococcus*

□ Πλανγκτονικό νηματοειδές, αζωτοδεσμευτικό κυανοβακτήριο *Trichodesmium*

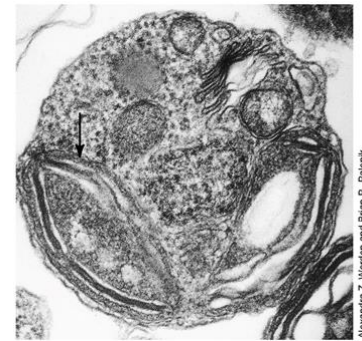
□ Άλλοι φωτότροφοι μη οξυγονοπαραγωγικοί φωτοσυνθετικοί οργανισμοί

*Prochlorococcus*



Joannina Z. Woron and Mya E. Breitbart

*Ostreococcus*



Alexandra Z. Woron and Blain P. Paolok

*Trichodesmium*



Hans W. Paarl, University of North Carolina at Chapel Hill

# Θαλάσσια μικροβιολογία

---

## ❑ Θαλάσσια ενδιαίτηματα και μικροβιακή κατανομή

### ❑ Μικροβιολογία του ανοιχτού ωκεανού

❑ Χαμηλά επίπεδα οργανικού άνθρακα και ανόργανων θρεπτικών συστατικών, ωστόσο....

- $10^5 - 10^6$  αιωρούμενα προκαρυωτικά κύτταρα / mL – μειώνεται με την αύξηση του βάθους (> 1000 m,  $10^3 - 10^5$  προκαρυωτικά κύτταρα / mL)
- $10^4$  μικροσκοπικά ευκαρυωτικά κύτταρα / mL

### ❑ Πως επιβιώνουν;;;

❑ Φωτοεξαρτώμενος ενεργειακός μεταβολισμός -> σύνθεση ATP

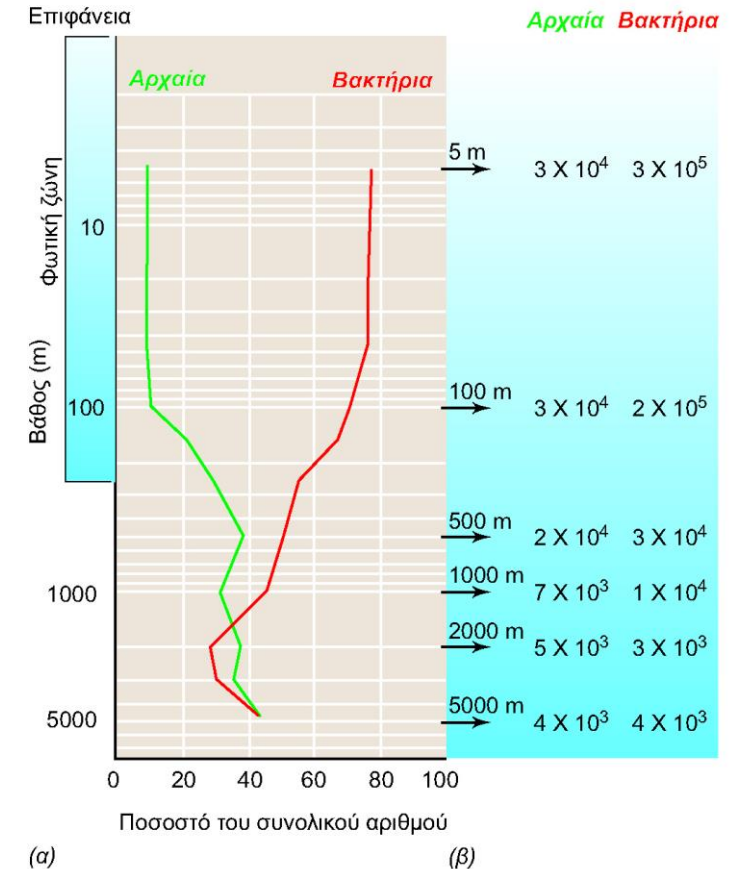
- Φωτότροφοι οργανισμοί
- Παρουσία της χρωστικής πρωτεοροδοψίνης σε βακτήρια της φωτικής ζώνης (ανώτερα 300m) ως βάση του ενεργειακού τους μεταβολισμού

# Θαλάσσια μικροβιολογία

## □ Θαλάσσια ενδιαίτηματα και μικροβιακή κατανομή

### □ Κατανομή Αρχαίων/Βακτηρίων

- Μη ομοιόμορφη κατανομή αρχαίων και βακτηρίων στα ανοιχτά ωκεάνια οικοσυστήματα
- Τα βακτήρια υπερισχύουν στα ανώτερα υδατικά στρώματα < 1000 m με τον αριθμό τους να εξισώνεται ή ακόμα και να μειώνεται σε σχέση με αυτόν των αρχαίων σε μεγαλύτερα βάθη
- Τα αρχαία του φύλου Crenarchaeota απαντούν στα κατώτερα υδατικά στρώματα
- Συνολικά υπολογίζονται  $1,3 \times 10^{28}$  κύτταρα αρχαίων και  $3,1 \times 10^{28}$  κύτταρα βακτηρίων



**Εικόνα 19.13** Ποσοστό του συνόλου των προκαρυωτών που ανήκουν είτε στα Αρχαία είτε στα Βακτήρια, στα νερά του Βόρειου Ειρηνικού. (α) Κατανομή των Αρχαίων και των Βακτηρίων ως προς το βάθος. (β) Απόλυτος αριθμός των Αρχαίων και των Βακτηρίων ως προς το βάθος (ανά ml). Προσαρμογή από *Nature* 409:507-510 (2000).

# Θαλάσσια μικροβιολογία

---

## □ Θαλάσσια ενδιαιτήματα και μικροβιακή κατανομή

### □ Θαλάσσιοι ιοί

- Οι ιοί αντιπροσωπεύουν τη μεγαλύτερη ανεξερεύνητη γενετική δεξαμενή Γη
- Οι ιοί των ωκεανών και άμεση παρατήρησή τους το 1989 – σήμερα αποτελούν την ομάδα των καλύτερα μελετημένων περιβαλλοντικών ιών
- Κατέχουν κεντρικό οικολογικό και εξελικτικό ρόλο

### □ Ρόλοι των ιών στα θαλάσσια οικοσυστήματα

- Προσβάλλουν τους μικροοργανισμούς προκαλώντας λύση των κυττάρων
- Συμμετέχουν στην οριζόντια μεταφορά γονιδίων
- Διαμορφώνουν το μεταβολισμό του ξενιστή τους
- Παραγωγή (μέσω λύσης) σωματιδιακής και διαλυτής οργανικής ύλης => αύξηση εισροών άνθρακα στους ωκεανούς

# Θαλάσσια μικροβιολογία

---

## □ Θαλάσσια ενδιαυτήματα και μικροβιακή κατανομή

### □ Ρόλοι των ιών στα θαλάσσια οικοσυστήματα

- Ανακύκλωση των θρεπτικών ουσιών –ιοί του λύση του φυτοπλαγκτον
- Παθογόνοι ιοί θαλάσσιων ζώων => οικονομικές συνέπειες για την αλιεία και τις υδατοκαλλιέργειες
- Οι ιοί των κυανοβακτηρίων φέρουν γονίδια που επιτρέπουν τη φωτοσύνθεση του ξενιστή -> σημαντικό μέρος της θαλάσσιας κυανοβακτηριακής φωτοσύνθεσης φαίνεται να επιτελείται από πρωτεΐνες φωτοσύνθεσης κωδικοποιημένες σε φάγο => εξελικτική σημασία



Οι περιβαλλοντικοί ιοί αποτελούν ανοιχτό πεδίο για νέες ανακαλύψεις

# Μικροβιολογία της βαθιάς θάλασσας

---

## ❑ Συνθήκες στη βαθιά θάλασσα

- ❑ **Φωτική ζώνη:** Η ζώνη των 300 πρώτων μέτρων στους ανοιχτούς ωκεανούς όπου το φώς μπορεί και διεισδύει
- ❑ Σε βάθος 300 m - 1000 m -> επαρκής βιολογική δραστηριότητα (ζωικοί οργανισμοί και χημειοργανότροφοι)
- ❑ **Βαθιά θάλασσα ή βαθιά ύδατα:** βάθος > 1000 m -> σημαντικός περιορισμός της βιολογικής δραστηριότητας
- ❑ Ακραίες περιβαλλοντικές παράμετροι:
  - Χαμηλά επίπεδα θρεπτικών ουσιών
  - Χαμηλή θερμοκρασία (σε βάθη > 100 m, 2-3° C) => ψυχρόφιλοι
  - Υψηλή πίεση (αύξηση 1 atm / 10 m βάθος)

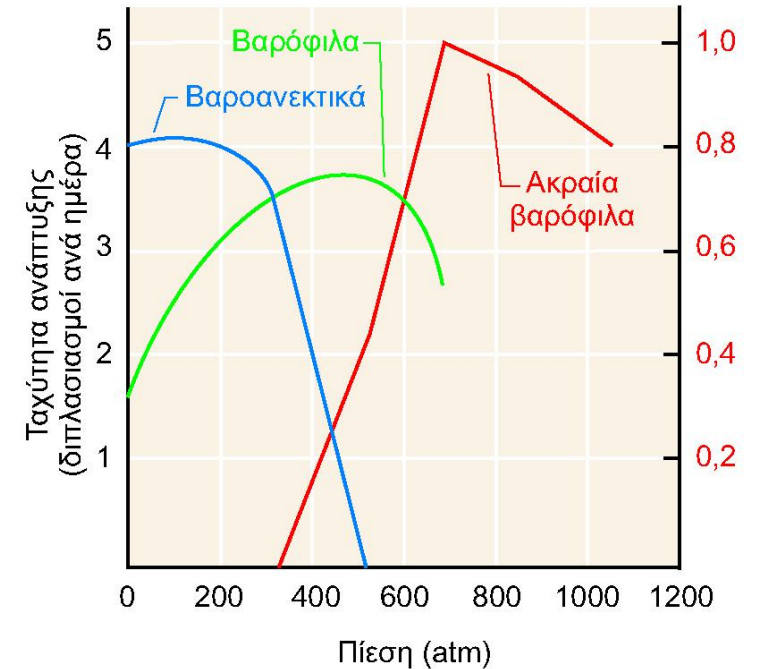


# Μικροβιολογία της βαθιάς θάλασσας

## ❑ Βαροανεκτικοί και βαρόφιλοι μικροοργανισμοί

- ❑ **Βαροανεκτικά μικροοργανισμοί:** Μικροοργανισμοί που παρουσιάζουν ανοχή στις υψηλές πιέσεις (έως 500 atm)
- ❑ **Βαρόφιλοι μικροοργανισμοί:** Μικροοργανισμοί που εξαρτώνται από τις πιέσεις (βέλτιστη ανάπτυξη στις 400 atm) και μπορούν να αναπτύσσονται και σε χαμηλές πιέσεις (1 atm)
- ❑ **Ακραία (υποχρεωτικά) βαρόφιλοι μικροοργανισμοί:** Μικροοργανισμοί που χρειάζονται τις υψηλές πιέσεις ( $\geq 400$  atm)

=> Όλοι ψυχρόφιλοι



**Εικόνα 19.14** Ανάπτυξη Βαροανεκτικών, Βαρόφιλων και ακραίων Βαρόφιλων Βακτηρίων. Το ακραίο Βαρόφιλο απομονώθηκε από την Τάφρο των Μαρτιάνων (βλ. Εικόνα 19.15). Σημειώστε την κατά πολύ χαμηλότερη ταχύτητα ανάπτυξης (για όλο το εύρος πιέσεων) των ακραίων Βαρόφιλων Βακτηρίων (δεξιά τεταγμένη) σε σχέση με εκείνη των Βαροανεκτικών και των Βαρόφιλων (αριστερή τεταγμένη). Σημειώστε, επίσης, την αδυναμία των ακραίων Βαρόφιλων να αναπτυχθούν σε χαμηλές πιέσεις.



# Μικροβιολογία της βαθιάς θάλασσας

---

## □ Συνέπειες των υψηλών πιέσεων σε μοριακό επίπεδο

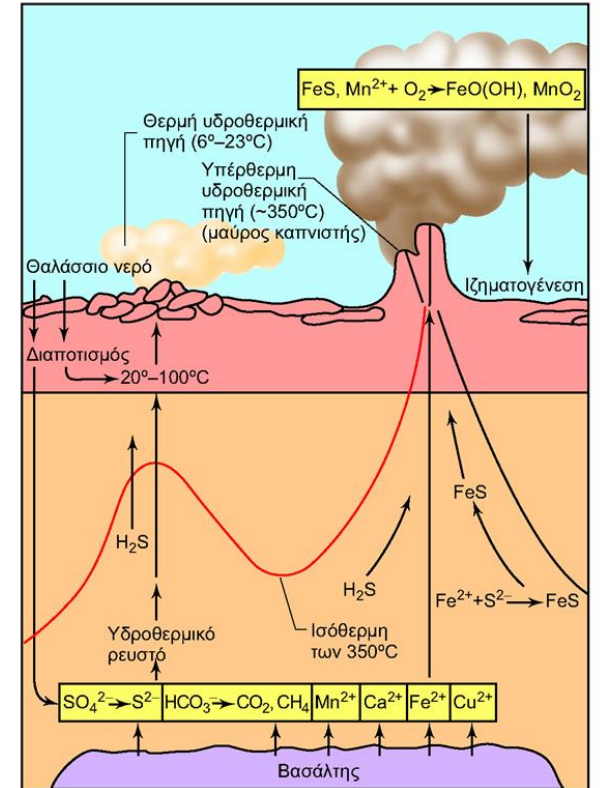
□ Η πίεση επηρεάζει τη φυσιολογία και τη βιοχημεία των κυττάρων

- Αυξημένη πίεση => μείωση της ικανότητας δέσμευσης των ενζύμων στα υποστρώματα τους
- Πρωτεϊνοσύνθεση
- Μεταφορά ουσιών – βαρόφιλοι μικροοργανισμοί και υψηλότερο ποσοστό ακόρεστων λιπαρών οξέων στην κυτταροπλασματική μεμβράνη

=> Παράδειγμα πορίνης OmpH (Outer membrane protein H) και σύνθεση σε κύτταρα που αναπτύσσονται σε υψηλές πιέσεις

# Υδροθερμικές πηγές

- ❑ Θερμές πηγές σε βαθείς θαλάσσιους πυθμένες που υποστηρίζουν τη μικροβιακή δραστηριότητα
- ❑ Από γεωλογικής άποψης αποτελούν ρηξιγενείς ζώνες
- ❑ Διακρίνονται σε:
  - **Θερμές υδροθερμικές πηγές:** εκροή υδροθερμικού ρευστού θερμοκρασίας 6-23 ° C (σε περιβάλλον νερού θερμοκρασίας 2 ° C)
  - **Υπέρθερμες υδροθερμικές πηγές ή «μαύροι καπνιστές»:** εκροή υδροθερμικού ρευστού θερμοκρασίας 170-380 ° C
  - Το ρευστό αυτό είναι πλούσιο σε θειούχα μέταλλα όπως θειούχος σίδηρος και ψύχεται με την επαφή του με το ψυχρό θαλάσσιο νερο => ανάπτυξη θερμόφιλων και υπερθερμόφιλων βακτηρίων και αρχαίων στις ζώνες διαβάθμισης γύρω από υδροθερμικό ρευστό π.χ. το μεθανιογόνο υδρογονοξειδωτικό αρχαίο *Methanopyrus*



**Εικόνα 19.16** Σχηματικό διάγραμμα με τους γεωλογικούς σχηματισμούς και τα κύρια χημικά μόρια που απαντούν στις θερμές υδροθερμικές πηγές και στους μαύρους καπνιστές. Στις θερμές υδροθερμικές πηγές, το πολύ θερμό υδροθερμικό ρευστό ψύχεται από θαλάσσιο νερό χαμηλής θερμοκρασίας (2°-3°C) που διαποτίζει τα ιζήματα του πυθμένα. Στους μαύρους καπνιστές, πολύ θερμό υδροθερμικό ρευστό θερμοκρασίας 350°C εξέρχεται απευθείας στον θαλάσσιο πυθμένα. Τυπικά, οι θερμές υδροθερμικές πηγές και οι μαύροι καπνιστές βρίσκονται σε βάθος 2000 m περίπου. Σε τέτοια βάθη, επιτόπια μελέτη μπορεί να γίνει με ειδικά βαθυσκάφη μικρού μεγέθους, όπως είναι το *Alvin* που χρησιμοποιούν οι ερευνητές του Ωκεανογραφικού Ινστιτούτου Woods Hole των ΗΠΑ.

# Υδροθερμικές πηγές

## ☐ Μικροοργανισμοί στις υδροθερμικές πηγές

☐ Θειοοξειδωτικά βακτήρια των γενών *Thiobacillus*, *Thiomicrospira*, *Thiothrix* και *Beggiatoa*

▪ δότης ηλεκτρονίων:  $HS^-$ ,  $S^0$ ,  $S_2O_3^{2-}$ ; δέκτης ηλεκτρονίων:  $O_2$ ;  $NO_3^-$ ; προϊόν:  $S^0$ ,  $SO_4^-$

☐ Νιτροποιητικά βακτήρια

▪ δότης ηλεκτρονίων:  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ; δέκτης ηλεκτρονίων:  $O_2$ ; προϊόν:  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$

☐ Θειοαναγωγικά βακτήρια

▪ δότης ηλεκτρονίων:  $H_2$ ; δέκτης ηλεκτρονίων:  $S^0$ ,  $SO_4^-$ ; προϊόν:  $H_2S$

☐ Σιδηροοξειδωτικά –Μαγγανιοοξειδωτικά

▪ δότης ηλεκτρονίων:  $Fe^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$ ; δέκτης ηλεκτρονίων:  $O_2$ ; προϊόν:  $Fe^{+3}$ ,  $Mn^{+4}$

☐ Μεθυλότροφα

▪ δότης ηλεκτρονίων:  $CH_4$ ,  $CO$ ; δέκτης ηλεκτρονίων:  $O_2$ ; προϊόν:  $CO_2$

☐ Χημειολιθότροφοι μικροοργανισμοί και συμβίωση με ζώα των θερμών πηγών

# ΑΕΡΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

---

- ❑ Η αέρια μικροβιολογία σχετίζεται με τη μεταφορά μικροοργανισμών όπως ιοί, βακτήρια, μύκητες, ζύμες και πρωτόζωα μέσω αέρα, σε ανοιχτούς και κλειστούς χώρους
- **Αερολύματα:** Μίγμα αερίων, ατμών και σωματιδίων που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα και αποτελούν απειλή για την ανθρώπινη υγεία μετά από αναπνευστική πρόσληψη
- **Αιωρούμενα σωματίδια:** Σωματίδια στερεής ή υγρής φάσης, πολύ μικρής διαμέτρου (της τάξεως των  $\mu\text{m}$ ), τα οποία αιωρούνται στην ατμόσφαιρα
- ❑ Τα αιωρούμενα σωματίδια χωρίζονται σε δύο κατηγορίες με βάση το μέγεθος:
  - PM10, το οποίο αναφέρεται σε σωματίδια με διάμετρο μικρότερη ή ίση με  $10 \mu\text{m}$  (10.000 nm)
  - PM2.5 τα οποία είναι σωματίδια διαμέτρου μικρότερης ή ίσης με  $2,5 \mu\text{m}$  (2500 nm)
- **Βιοαερολύματα:** Αερολύματα (συμπεριλαμβανομένων των σωματιδίων εδάφους ή σκόνης) που λειτουργούν ως μέσο μεταφοράς μικροοργανισμών

# ΑΕΡΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

---

## ❑ Φύση των βιοαερολυμάτων

- ❑ Οι βιολογικοί αέριοι ρύποι περιλαμβάνουν βακτηριακά και ιογενή παθογόνα, αερομεταφερόμενες τοξίνες
- ❑ Κατάποση ή είσοδος μέσω της αναπνοής στον ξενιστή
- ❑ Έχουν μέγεθος που κυμαίνεται από 0,02 έως 100  $\mu\text{m}$  σε διάμετρο, μέση διάμετρος των αερομεταφερόμενων βακτηριακών σωματιδίων  $> 5 \mu\text{m}$  (μέση διάμετρος ενός βακτηριου εδάφους, κυμαίνεται από 0,3 έως 1  $\mu\text{m}$ )
  - Μικρότερα σωματίδια (διαμέτρου  $< 0,1 \mu\text{m}$ ) -> φάση πυρήνων
  - 0,1 έως 2  $\mu\text{m}$  -> φάση συσσώρευσης
  - Μεγαλύτερων διαστάσεων σωματίδια -> χονδροειδής (coarse) φάση
  - Τα βιοαερολύματα μπορεί να βρίσκονται σε υγρή ή στερεή μορφή ή να αποτελούν μείγμα των δύο, και θεωρούνται μικροοργανισμοί που συνδέονται με αερομεταφερόμενα σωματίδια ή αερομεταφερόμενα σωματίδια που περιέχουν μικροοργανισμούς

# ΑΕΡΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

---

## ❑ Μονοπάτι της αέριας μεταφοράς των μικροοργανισμών

❑ Το αερομικροβιολογικό μονοπάτι περιλαμβάνει 3 φάσεις:

- Έναρξη: σχηματισμός- ελευθέρωση των βιοαερολυμάτων στον αέρα
- Μεταφορά μέσω διάχυσης και διασποράς
- Τελική απόθεση

**Παράδειγμα:** υγρά βιοαερολύματα που περιέχουν τον ιό της γρίπης

- Ελευθέρωση στον αέρα μέσω βήχα, φταρνίσματος ή ομιλίας
- Μεταφορά μέσω του αέρα
- Εισπνοή και εναπόθεση στους πνεύμονες

# ΑΕΡΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

---

## ❑ **Επιβίωση των μικροοργανισμών στον αέρα**

- ❑ Η ατμόσφαιρα αποτελεί μη ιδανικό περιβάλλον για τους μικροοργανισμούς => οι μικροοργανισμοί να μπορούν να παραμείνουν βιολογικά ενεργοί για περιορισμένο χρονικό διάστημα (λίγα δευτερόλεπτα)
  - ❑ Οι μικροοργανισμοί διαθέτουν μηχανισμούς που τους επιτρέπουν να εμφανίζουν αντοχή στους διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες που οδηγούν σε απώλεια τις βιολογικής δραστηριότητας
    - Βακτήρια και παραγωγή σπορίων
    - Μύκητες και πρωτόζωα που σχηματίζουν κύστεις
- ⇒ η βιωσιμότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον, τη διάρκεια έκθεσης του μικροοργανισμού στο περιβάλλον και τον τύπο του μικροοργανισμού

# ΑΕΡΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

---

## □ Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιβίωση των μικροοργανισμών στην ατμόσφαιρα

- Σχετική υγρασία
- Θερμοκρασία
- Υπεριώδης ακτινοβολία
- Αλληλεπίδραση με το οξυγόνο, διάφορους ρύπους και παράγοντες που σχετίζονται με τον αέρα



# ΑΕΡΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

---

## ❑ Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιβίωση των μικροοργανισμών στην ατμόσφαιρα

### ❑ Σχετική υγρασία

- ❑ Η ικανότητα ενός μικροοργανισμού να παραμένει ζωντανός σε ένα βιοαερόλυμα σχετίζεται με τη βιοχημεία της επιφάνειας του οργανισμού
- ❑ Πολύ χαμηλή σχετική υγρασία και αλλαγή στη δομή των λιπιδιακών διπλοστιβάδων της κυτταρικής μεμβράνης Τα αρνητικά κατά Gram βακτήρια είναι πιο ευαίσθητα σε συνθήκες ξηρασίας συγκριτικά με τα Gram-θετικά κύτταρα
- ❑ Ιοί που φέρουν νουκλεοκαψίδιακο περίβλημα (όπως το ο ιός της γρίπης) έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στον αέρα όταν η σχετική υγρασία είναι κάτω του 50%
- ❑ Αντίθετα οι ιοί χωρίς νουκλεοκαψίδιακο περίβλημα είναι πιο σταθεροί σε σχετική υγρασία >50%

# ΑΕΡΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

---

## ❑ Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιβίωση των μικροοργανισμών στην ατμόσφαιρα

### ❑ Θερμοκρασία

- Υψηλές θερμοκρασίες -> απενεργοποίηση που σχετίζεται με αποξήρανση ή μετουσίωση των πρωτεΐνων
- Χαμηλότερες θερμοκρασίες -> καλύτερη επιβίωση
- Θερμοκρασίες ψύξης -> σχηματισμός κρυστάλλων πάγου και λύση των κυττάρων
- Η θερμοκρασία σχετίζεται με άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η σχετική υγρασία

# ΑΕΡΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

---

❑ Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιβίωση των μικροοργανισμών στην ατμόσφαιρα

❑ Υπεριώδης ακτινοβολία

- Μικρά μήκη κύματος υπεριώδους (UV) και ιονίζουσας ακτινοβολίας -> στόχος τα νουκλεϊκά οξέα
- Η ιονίζουσα ακτινοβολία προκαλεί βλαβες στο DNA -> Θράυση κλώνων και αλλαγές στη δομή των βάσεων
- Η υπεριώδης ακτινοβολία προκαλεί αλλαγές στη διαμόρφωση της δομής του DNA

=> Αναστολή της βιολογικής δραστηριότητας

# ΑΕΡΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

---

## ❑ Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιβίωση των μικροοργανισμών στην ατμόσφαιρα

### ❑ Υπεριώδης ακτινοβολία

❑ Μηχανισμοί που προστατεύουν τους μικροοργανισμούς από τις βλάβες που προέρχονται από την ακτινοβολία:

- Ένωση των μικροοργανισμών με μεγαλύτερα αερομεταφερόμενα σωματίδια, παρουσία χρωστικών ή καροτενοειδών, υψηλή σχετική υγρασία και το κάλυψη νέφους => απορρόφηση ή/και προστασία των βιοαερολύματων από την ακτινοβολία
- Αποκατάσταση της βλάβης του DNA που προκαλείται από UV ακτινοβολία
- *Dienococcus radiodurans*: Βακτήριο εδάφους με ικανότητα ενζυμικής επιδιόρθωσης της βλάβης στο χρωμοσωμικό DNA

# ΑΕΡΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

---

## ❑ Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιβίωση των μικροοργανισμών στην ατμόσφαιρα

### ❑ Αλληλεπίδραση με το οξυγόνο, διάφορους ρύπους και ιόντα

- Μετατροπή του στοιχειακού οξυγόνου της ατμόσφαιρας σε πιο δραστικές μορφές όπως διάφορες ελεύθερες ρίζες
- Οι ελεύθερες ρίζες οξυγόνου προκύπτουν φυσικά στο περιβάλλον από τη δράση των κεραυνών, της υπεριώδους ακτινοβολίας, της ρύπανσης κ.λπ. => βλάβη στο DNA και μεταλλάξεις
- Υψηλά επίπεδα υδρογονανθράκων και όζοντος μπορούν να προκαλέσουν απενεργοποίηση των μικροοργανισμών μέσω επιδράσεων που ασκούν στα ένζυμα και τα νουκλεϊκά οξέα
- Ο φυσικός σχηματισμός ιόντων που περιέχουν χλώριο, άζωτο ή θείο -> απενεργοποίηση πρωτεϊνών, βλάβες στο DNA

# ΑΕΡΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

---

- Αερολύματα εδαφικών παθογόνων μικροοργανισμών
- Πανδημίες γρίπης
- Εξάπλωση των γεωργικών παθογόνων
- Εξάπλωση αερομεταφερόμενων παθογόνων που σχετίζονται με τα απόβλητα
- Σημαντικές αερομεταφερόμενες τοξίνες

# ΑΕΡΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

---

## ❑ Αερολύματα εδαφικών παθογόνων μικροοργανισμών

- ❑ Τα εδαφογενή παθογόνα, αποτελούν προκαρυωτικούς και ευκαρυωτικούς μικροοργανισμούς, πολλοί από τους οποίους σχηματίζουν σπόρια => μεταφορά σπορίων με τα αερολύματα και πρόκληση λοιμώξεων στον άνθρωπο

### **Βακτήρια:**

- *Bacillus anthracis* και μετάδοση με αερολύματα

### **Μύκητες:**

- *Coccidioides immitis* - Valley Fever
- *Histoplasma capsulatum* ιστοπλάσμωση – λοίμωξη του αναπνευστικού

# ΑΕΡΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

---

## ❑ Πανδημίες γρίπης

- ❑ Μια πανδημία γρίπης συμβαίνει όταν ένας συγκεκριμένος ιός της γρίπης προσαρμόζεται σε στέλεχος που είναι μεταδοτικό μεταξύ των ανθρώπων και δεν έχει προηγουμένως κυκλοφορήσει μεταξύ των ανθρώπων
- ❑ Η μετάδοση του ιού της γρίπης στους ανθρώπους μπορεί να συμβεί μέσω τεσσάρων μηχανισμών:
  - Με άμεση επαφή με μολυσμένα άτομα
  - Με έμμεση επαφή
  - Με μολυσμένα αντικείμενα που αποτελούν εστίες μικροβίων
  - Με εισπνοή σταγονιδίων που περιέχουν τον ιό ή με εισπνοή αερολύματος που φέρει τον ιο => βιοαερολύματα



# ΑΕΡΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

---

## ❑ Μικροοργανισμοί στα σύννεφα

- ❑ Οι μικροοργανισμοί μπορούν δυνητικά να επηρεάσουν τις μετεωρολογικές διεργασίες
- ❑ Μικροοργανισμοί που καταλύουν τον σχηματισμό πάγου (πυρήνες πάγου) και μπορεί να επηρεάσουν τον σχηματισμό των κατακρημνίσεων - *Pseudomonas syringae*
- ❑ Η αφθονία των καλλιεργήσιμων βακτηρίων και μυκήτων στα σύννεφα ποικίλλει ανάλογα με την εποχή, με μεγαλύτερους αριθμούς να εμφανίζονται το καλοκαίρι και το φθινόπωρο
- ❑ Η αφθονία των βακτηρίων κυμαίνεται από  $10^3$  έως  $10^4$  / mL και των μυκήτων από  $10^2$  έως  $10^4$  / mL
- ❑ Το περιβάλλον του νέφους θεωρείται περιβάλλον αντίξοο: επίδραση υπεριώδους ακτινοβολίας, ξηρασίας, χαμηλών θερμοκρασιών
- ❑ Οι μικροοργανισμοί μπορεί να τροποποιήσουν αυτό το περιβάλλον μεταβολίζοντας οργανικές ενώσεις και παίζοντας επίσης ρόλο στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των νεφών

# ΑΕΡΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

---

## ❑ Εξάπλωση των γεωργικών παθογόνων

- ❑ Σκωριομύκητες και προσβολή σιτηρών: Σχηματίζουν σπόρια που διασπείρονται σε μεγάλες αποστάσεις μέσω αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα και εναποτίθενται σε άλλα ευαίσθητα φυτά
- ❑ Κάθε μολυσμένο φυτό παράγει χιλιάδες σπόρια (σε διάρκεια λίγων εβδομάδων), τα οποία απελευθερώνονται στον αέρα είτε με φυσική ατμοσφαιρική είτε με μηχανική διαταραχή κατά τη διαδικασία της συγκομιδής
- ❑ Η αερομεταφερόμενη εξάπλωση παθογόνων μικροοργανισμών είναι επίσης πολύ σημαντική για την κτηνοτροφία – παράδειγμα νόσου του αφθώδους πυρετού και εναέρια εξάπλωση του *Salmonella typhimurium*

# ΑΕΡΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

---

## ❑ Εξάπλωση αερομεταφερόμενων παθογόνων που σχετίζονται με τα απόβλητα

- ❑ Κατά την επεξεργασία και τη διάθεση υγρών και στερεών αποβλήτων αερομεταφορά παθογόνων μικροοργανισμών όπως βακτήρια, ιοί, πρωτόζωα και έλμινθες

## ❑ Σημαντικές αερομεταφερόμενες τοξίνες

- ❑ Οι μικροβιακές τοξίνες μπορούν επίσης να μεταφερθούν στην ατμόσφαιρα
  - Παράδειγμα τοξίνη του *Clostridium botulinum*
  - Ο λιποπολυσακχαρίτης (LPS) που παράγεται στην εξωτερική μεμβράνη των αρνητικών κατά Gram βακτηρίων - ενδοτοξίνη

# ΑΕΡΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

---

□ Σε σύγκριση με το εξωτερικό περιβάλλον, τα εσωτερικά περιβάλλοντα (γραφεία, κτίρια, νοσοκομεία, εργαστήρια κ.α.) χαρακτηρίζονται από περιορισμένη κυκλοφορία εξωτερικού αέρα, μικρότερη έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία, ελεγχόμενη θερμοκρασία και σχετική υγρασία

=> παρατεταμένη μικροβιακή επιβίωση, συσσώρευση και επιβίωση των μικροοργανισμών

# ΕΛΕΓΧΟΣ ΒΙΟΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ

---

- ❑ Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των βιοαερολυμάτων περιλαμβάνουν:
  - Εξαερισμό
  - Διήθηση
  - Μεταχειρίσεις με υπεριώδη ακτινοβολία
  - Μεταχειρίσεις με βιοκτόνους παράγοντες
  - Φυσική απομόνωση

# ΕΛΕΓΧΟΣ ΒΙΟΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ

---

## ❑ Εξαερισμός

- ❑ Περιλαμβάνει την ανάμιξη του εσωτερικού αέρα με τον εξωτερικό αέρα για μείωση της συγκέντρωσης των αερομεταφερόμενων σωματιδίων (άνοιγμα παραθύρων, χρήση μονάδων κλιματισμού και θέρμανσης)
- ❑ Ο εξαερισμός θεωρείται από τις λιγότερο αποτελεσματικές μεθόδους για τον έλεγχο των αερομεταφερόμενων παθογόνων -> σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των αερομεταφερόμενων σωματιδίων

## ❑ Διήθηση

- ❑ Περιλαμβάνει τη χρήση φίλτρων για τη συγκράτηση των αερομεταφερόμενων σωματιδίων – μέθοδος απλή και αποτελεσματική αλλά με υψηλό κόστος

# ΕΛΕΓΧΟΣ ΒΙΟΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ

---

## Μεταχειρίσεις με υπεριώδη ακτινοβολία και άλλους βιοκτόνους παράγοντες

- Πρόσθετη μεταχείριση προκειμένου να θανατωθούν οι αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί
- Περιλαμβάνει μεθόδους όπως υπερθέρμανση, υπερ-αφυδάτωση, οζονισμός και ακτινοβολία UV

## Φυσική μόνωση

- Απομόνωση ενός περιβάλλοντος με διαβάθμιση αέρα υπό πίεση και αεροστεγής φραγμούς (π.χ. θάλαμοι απομόνωσης ασθενών)

# ΕΛΕΓΧΟΣ ΒΙΟΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ

---

## □ Κατηγοριοποίηση βιολογικών παραγόντων

- Για κάθε μικροοργανισμό, καθορίζεται ο βαθμός κινδύνου που σχετίζεται με τη χρήση του, ο οποίος και υποδεικνύει τον τύπο του περιορισμού που απαιτείται για τη διασφάλιση της ασφάλειας των εργαζομένων σε εργαστήρια, το κοινό και το περιβάλλον
- **Κατηγορία I:** Μικροοργανισμοί ακίνδυνοι υπό συνήθεις συνθήκες χειρισμού και μπορεί να ο χειρισμός τους να πραγματοποιηθεί με ασφάλεια χωρίς ειδικές συσκευές ή εξοπλισμό
- **Κατηγορία II:** Μικροοργανισμοί χαμηλού δυνητικού κινδύνου που μπορούν να προκαλέσουν ασθένεια εάν διασπαρούν κατά λάθος
- **Κατηγορία III:** Μικροοργανισμοί που απαιτούν ειδικό περιορισμό και σχετίζονται με αερομεταφερόμενη μετάδοση νοσημάτων και απαιτείται ειδική άδεια για την εισαγωγή τους από χώρες του εξωτερικού
- **Κατηγορία IV:** Μικροοργανισμοί που απαιτούν υπερβολικό περιορισμό και είναι εξαιρετικά επικίνδυνοι ή μπορεί να προκαλέσουν επιδημία
- **Κατηγορία V:** Μη εγχώρια παθογόνα των οποίων η εισαγωγή, η κατοχή ή η χρήση απαγορεύεται από το νόμο