

Βιολογικές Διεργασίες στην Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

Μάθημα 8

Στοιχεία μικροβιολογίας

Οι μικροοργανισμοί είναι οργανισμοί αρκετά μικροί ώστε να μην διακρίνονται εύκολα με γυμνό μάτι και αποτελούνται από ένα ή περισσότερα κύτταρα με τεράστια ποικιλία χαρακτηριστικών, βάσει των οποίων και **κατατάσσονται** στις εξής εφτά υποχρεωτικές ή κύριες **ταξινομικές βαθμίδες των ζώων**:

- (1) Βασίλειο (Kingdom),
- (2) Φύλο ή Συνομοταξία (Phylum),
- (3) Ομοταξία (Class),
- (4) Τάξη (Order),
- (5) Οικογένεια (Family),
- (6) Γένος (Genus) και
- (7) Είδος (Species).

Υπάρχει **δυνατότητα να υποδιαιρεθούν περαιτέρω** οι **κύριες βαθμίδες**, προσθέτοντας ένα πρόθεμα:

- υπο- (sub-)
- υπερ- (super-)

σε **δευτερεύουσες ταξινομικές βαθμίδες**, όπως:

- Υποφύλο (Subphylum)
- Υπερομοταξία (Superclass)

- Υφομοταξία (Subclass)
- Υπέρταξη (Superorder)
- Υπόταξη (Suborder)
- Υπεροικογένεια (Superfamily)
- Υποοικογένεια (Subfamily)
- Ομοιογένεια (Tribe)
- Υπογένος (Subgenus)
- Υποείδος (Subspecies)

Παραδοσιακά το **επιστημονικό όνομα** ενός μικροοργανισμού έχει διώνυμη ονοματολογία.

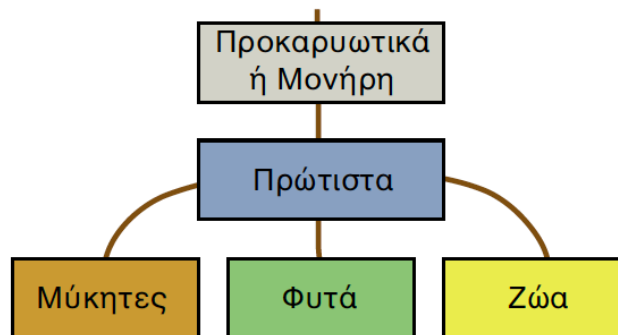
Η πρώτη λέξη δίνεται από το όνομα του γένους και αρχίζει πάντοτε με κεφαλαίο γράμμα. **Η δεύτερη λέξη** δίνεται από το όνομα του είδους, αρχίζει με μικρό γράμμα και μπορεί να είναι απλή ή σύνθετη. Για παράδειγμα *Pseudomonas putida* (ψευδομονάδες).

Στη σύγχρονη ονοματολογία τα ονόματα των γενών, υπογενών, ειδών και υποειδών γράφονται με **πλάγια γράμματα (italics)**.

Σύμφωνα με το Whittaker (1969) όλες οι μορφές ζωής ταξινομούνται στα εξής πέντε βασίλεια:

- (1) Προκαρυωτικά ή Μονήρη (Procaryotae or Monera)
- (2) Πρώτιστα (Protista)
- (3) Μύκητες (Fungi)
- (4) Φυτά ή Μετάφυτα (Plantae)
- (5) Ζώα ή Μετάζωα (Animalia)

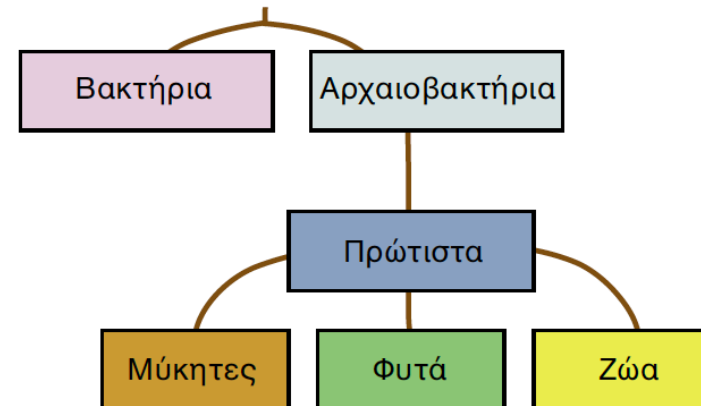
Τα 5 Βασίλεια κατά Whittaker (1969)



Αργότερα οι Weose et al. (1977) πρότειναν ότι τα βασίλεια είναι έξι και αντικατέστησαν τα Προκαρυωτικά ή Μονήρη με δύο βασίλεια: το Βασίλειο των Βακτηρίων και το Βασίλειο των Αρχαιοβακτηρίων.

Οι κύριες διαιρέσεις της ζωής δεν έχουν ολοκληρωθεί και συνεχώς αναθεωρούνται.

Τα 6 Βασίλεια κατά Woese and Fox (1977)



Οι μικροοργανισμοί είναι ανεξάρτητα, αυτοδύναμα κύτταρα.

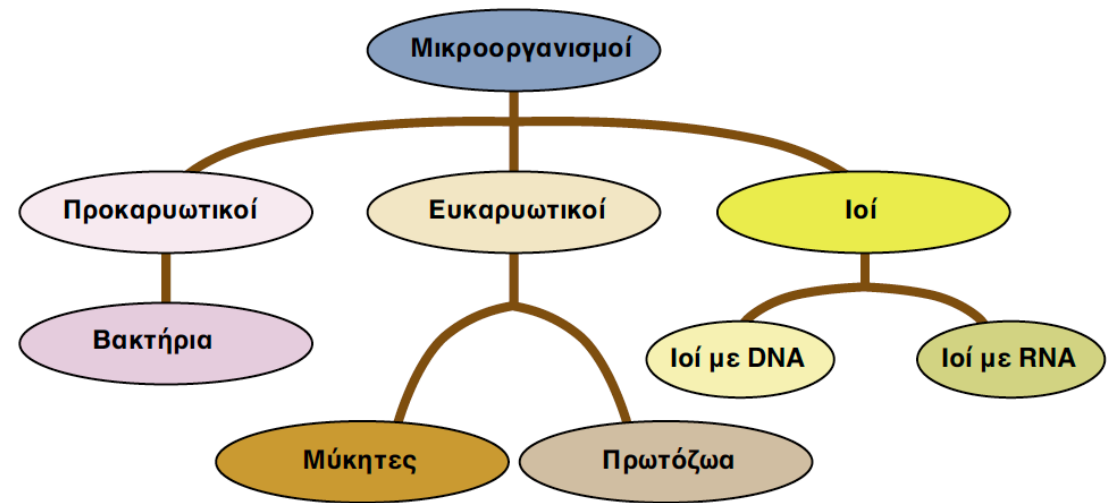
Οι μικροοργανισμοί ταξινομούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- προκαρυωτικοί
- ευκαρυωτικοί
- ιοί

Οι προκαρυωτικοί μικροοργανισμοί αποτελούνται από μονοκύτταρους οργανισμούς και περιλαμβάνουν τα βακτήρια.

Οι ευκαρυωτικοί μικροοργανισμοί είναι πολύ μεγαλύτεροι οργανισμοί (~1000 φορές μεγαλύτεροι) από τους προκαρυωτικούς οργανισμούς, είναι είτε μονοκυτταρικοί είτε πολυκυτταρικοί οργανισμοί και περιλαμβάνουν τους μύκητες και τα πρωτόζωα.

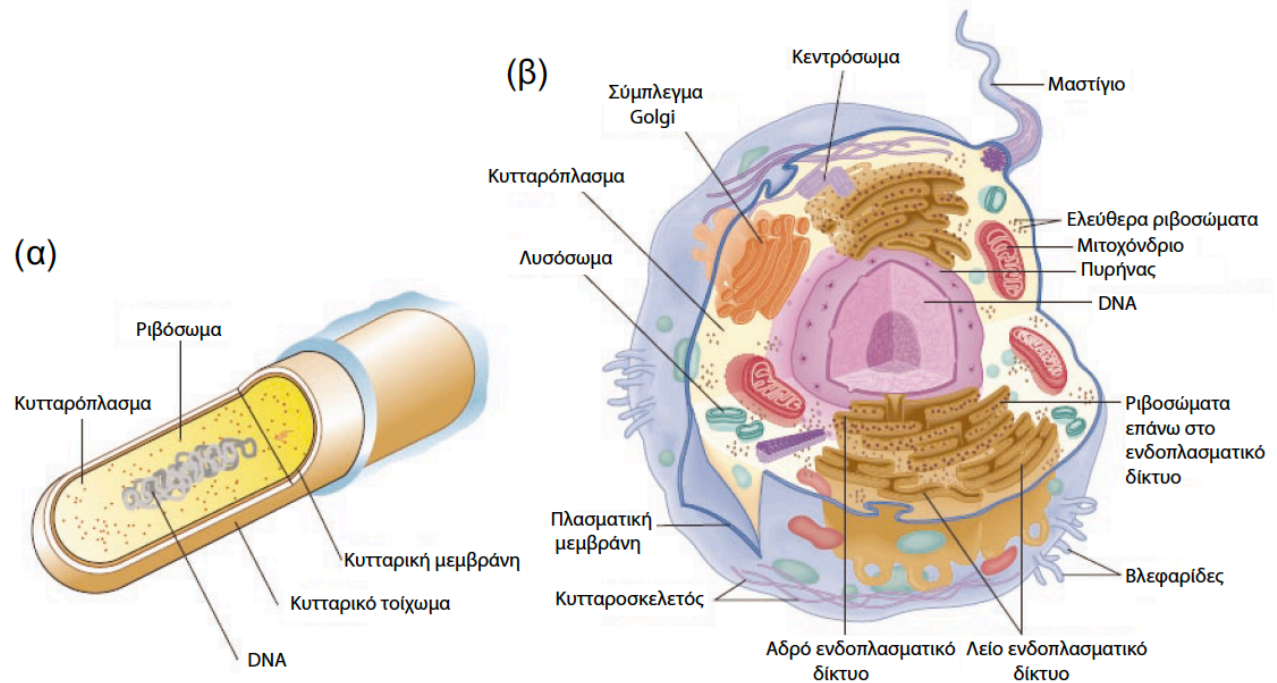
Οι ιοί έχουν γενετικό υλικό είτε RNA (ribonucleic acid, μονόκλωνο) είτε DNA (deoxyribonucleic acid, δύο πολυνουκλεοτιδικές αλυσίδες ή κλώνους, που σχηματίζουν διπλή έλικα) αλλά ποτέ και τα δύο.



Ταξινόμηση μικροοργανισμών

- Τα **προκαρυωτικά κύτταρα** δεν περιέχουν πλήρως σχηματισμένα οργανίδια με στοιχειώδη μεμβράνη, ενώ τα **ευκαρυωτικά κύτταρα** έχουν ευδιάκριτο πυρήνα που περιβάλλεται από πυρηνική μεμβράνη.
- Η **δομή** των προκαρυωτικών πρώτιστων είναι **λιγότερο πολύπλοκη** από τη δομή των ευκαρυωτικών.
- Οι **ιοί** δεν έχουν κυτταρική κατασκευή, δεν έχουν από μόνοι τους μεταβολικές δραστηριότητες και ζουν παρασιτικά μέσα σε κύτταρα τα οποία σταδιακά καταστρέφουν για να μπορέσουν να αναπαραχθούν.

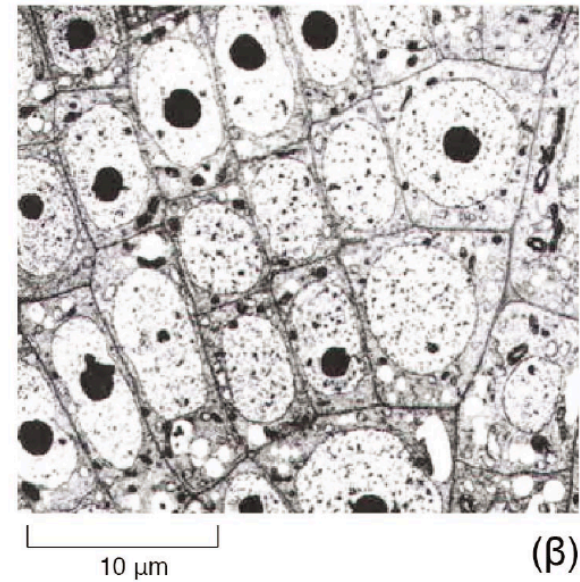
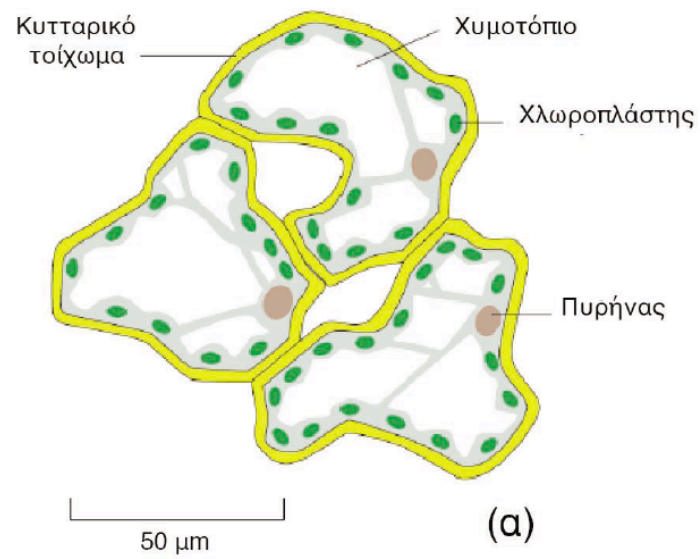
Άρα οι **ιοί** δεν περιλαμβάνονται σε κανένα από τα παραπάνω βασίλεια.



Διαγραμματική απεικόνιση της δομής τυπικού (α) προκαρυωτικού κυττάρου και (β) ευκαρυωτικού κυττάρου

Διαφορές μεταξύ προκαρυωτικών και ευκαρυωτικών κυττάρων

Χαρακτηριστικό	Προκαρυωτικό	Ευκαρυωτικό
Κυτταρικό τοίχωμα	Ναι	Όχι (φυτικά ναι)
Κυτταροσκελετός	Όχι	Ναι
Πυρήνας	Όχι	Ναι
Πυρηνίσκος	Όχι	Ναι
Πυρηνικός φάκελος	Όχι	Ναι
Νουκλεοειδές	Ναι	Όχι
Ριβοσώματα	Ναι	Ναι
Μιτοχόνδρια	Όχι	Ναι
Συσκευή Golgi	Όχι	Ναι
Ενδοπλασματικό δίκτυο	Όχι	Ναι
Μέγεθος (μέση διάμετρος)	0,1-5 μm	10-100 μm
DNA (ζεύγη βάσεων)	1×10^6 - 5×10^6	$1,5 \times 10^7$ - 5×10^9
Δομή χρωμοσωμάτων	Ένα κυκλικό μόριο DNA	Πολλαπλά γραμμικά χρωμοσώματα



Δομή φυτικού ευκαρυωτικού κυττάρου: (α) διαγραμματική απεικόνιση, (β) μεγέθυνση κυττάρων ημι-υδρόβιου φυτού σε με τη βοήθεια ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM).

Το κύτταρο

Το κύτταρο είναι η **μικρότερη μονάδα ζωής**, αποτελείται από μια ομάδα μορίων τα οποία είναι οργανωμένα και βρίσκονται σε πλήρως δυναμική αλληλεπίδραση ώστε το κύτταρο να είναι ικανό να ζει ακόμα και χωρίς την ύπαρξη άλλων κυττάρων.

Τα κύτταρα ως επί το πλείστο έχουν **μικροσκοπικό μέγεθος**, αλλά διαφορετικά κύτταρα μπορεί να έχουν πολύ διαφορετικό μέγεθος, το οποίο καθορίζεται από τη λειτουργία τους.

Τα περισσότερα κύτταρα δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι, αλλά υπάρχουν και αρκετά κύτταρα, όπως για παράδειγμα το ανθρώπινο ωάριο, τα οποία είναι.

Όλα τα κύτταρα **έχουν σκοπό την αύξηση και αναπαραγωγή τους**, και για να μπορέσουν να επιβιώσουν συνθέτουν πρωτεΐνες με τη βοήθεια των ριβοσωμάτων.

Τυπικά κύτταρα **προσλαμβάνουν τροφή** και άλλα χρήσιμα συστατικά μέσω της **κυτταρικής μεμβράνης**.

Ταξινόμηση μικροοργανισμών

Οι μικροοργανισμοί επίσης ταξινομούνται **ανάλογα με τις απαιτήσεις τους σε:**

(α) **αερόβιους** που χρειάζονται οξυγόνο για να μεταβολισθούν και να αναπτυχθούν,

(β) **αναερόβιους** που δεν χρειάζονται οξυγόνο και

(γ) **επαμφοτερίζοντες** που είναι αερόβιοι όταν υπάρχει παρουσία οξυγόνου και αναερόβιοι όταν υπάρχει απουσία οξυγόνου.

Κατηγορίες μικροβίων

(α) Βακτήρια (bacteria):

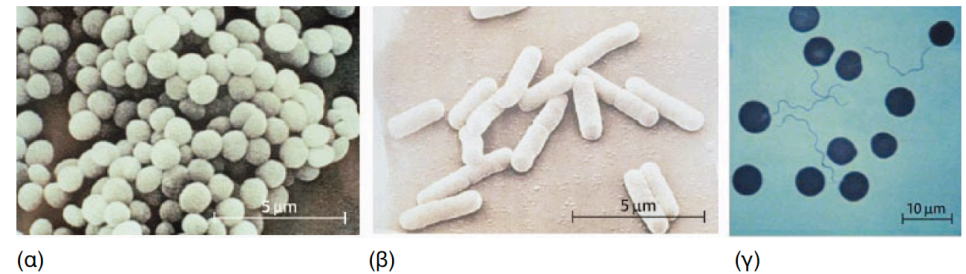
Τα βακτήρια είναι μικροσκοπικοί μονοκυτταρικοί προκαρυωτικοί οργανισμοί οι οποίοι στερούνται από πυρήνα και κυτταρικά οργανίδια και έχουν μέγεθος μερικά μικρά (μm).

Το όνομα βακτήρια προέρχεται από την αρχαία ελληνική λέξη *βακτηρία* που σημαίνει μπαστούνι ή ράβδος.

Τα βακτήρια εμφανίζονται με διάφορες μορφές και σχήματα:

- κόκκοι (σφαιρικά, cocci)
- βάκιλοι (ραβδοειδή, straight rods)
- σπειρύλλια (ελικοειδή, spirilla)

Η ποικιλία των βακτηρίων είναι τεράστια, υπολογίζεται ότι υπάρχουν τουλάχιστον 1×10^9 διαφορετικά είδη βακτηρίων.

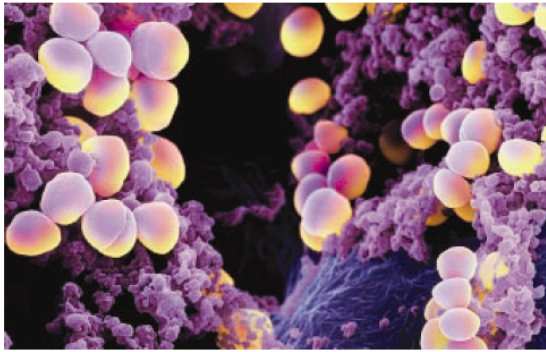


Διάφορες μορφές βακτηρίων όπως φαίνονται με τη βοήθεια ηλεκτρονικού μικροσκόπιου (SEM):

(α) κόκκοι – σταφυλόκοκκοι,

(β) βάκιλοι – *E. coli* και

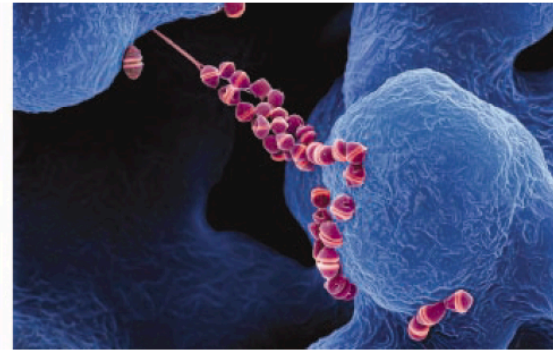
(γ) σπειρύλλια – *Borrelia*.



(α)



(β)



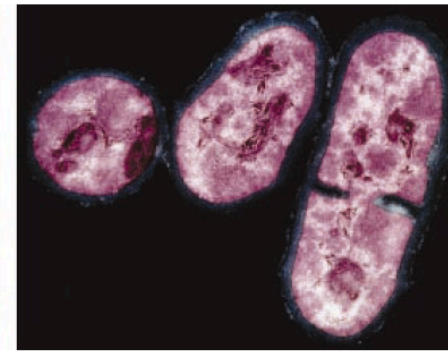
(γ)



(δ)



(ε)

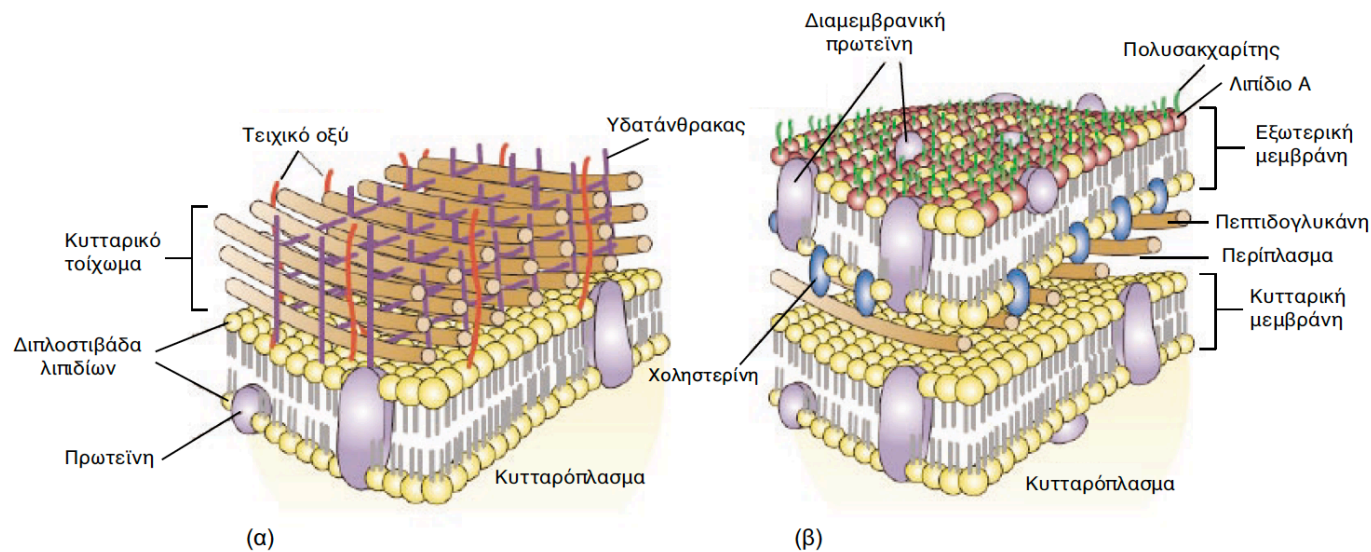


(ζ)

Επεξεργασμένες χρωματικά ηλεκτρονιογραφίες (SEMs) διαφόρων βακτηρίων: (α) *Staphylococcus aureus*, ζει στις ρινικές κοιλότητες των ανθρώπων, (β) *Caulobacter crescentus*, υδρόβια βακτήρια τα οποία πολλαπλασιάζονται με διχοτόμηση. (γ) *Streptococcus*, μερικά είδη προκαλούν θανατηφόρες μολύνσεις στον άνθρωπο και πολλά άλλα είναι τελείως ακίνδυνα. (δ) *Helicobacter pylori* (κίτρινοι οργανισμοί) ζουν σε στομαχικά τοιχώματα και η παρουσία τους αυξάνει τον κίνδυνο καρκίνου του στομάχου (καφέ κύτταρα) και πεπτικού έλκους. (ε) *Cyanobacteria* εμπλουτίζουν την ατμόσφαιρα με οξυγόνο μέσω της φωτοσύνθεσης. (ζ) *Propionibacterium acnes*, προκαλούν ακμή στο πρόσωπο νεαρών ενήλικων.

Ταξινόμηση βακτηρίων κατά Gram

Βάσει της τεχνικής διπλής χρώσης βακτηρίων που ανέπτυξε ο Δανός βακτηριολόγος Hans Christian Joachim Gram (1853-1938), τα βακτήρια διαχωρίζονται σε δύο χαρακτηριστικές ομάδες: Gram θετικά και Gram αρνητικά.



Διαγραμματική απεικόνιση κυτταρικού τοιχώματος βακτηρίων:

(α) θετικά κατά Gram και

(β) αρνητικά κατά Gram.

Ταξινόμηση βακτηρίων βάσει τρόπου τροφής

Τα βακτήρια τρέφονται με διάφορους τρόπους και επομένως μπορούν να ταξινομηθούν βάσει του τρόπου με τον οποίο βρίσκουν την τροφή τους σε:

- (1) ετερότροφα (heterotrophs),
- (2) αυτότροφα (autotrophs) και
- (3) χημειοτρόφα (chemotrophs).

Τα ετερότροφα βακτήρια τρέφονται με διαλυτό οργανικό υλικό και ζουν παρασιτικά, απορροφώντας θρεπτικές ουσίες από διαθέσιμους ξενιστές (π.χ. οργανικά απόβλητα, νεκρούς οργανισμούς).

Τα αυτότροφα βακτήρια χρησιμοποιούν τη φωτοσύνθεση με ταυτόχρονη παραγωγή οξυγόνου και ετοιμάζουν μόνα τους την τροφή τους. Επομένως τα αυτότροφα βακτήρια βρίσκονται συνήθως σε υγρές περιοχές κοντά σε βάλτους, ποτάμια ή λίμνες. Πολλά αυτότροφα βακτήρια έχουν γαλαζοπράσινο χρώμα (cyanobacteria).

Τα χημειοτρόφα βακτήρια τρέφονται διασπώντας ανόργανες ουσίες (π.χ. ενώσεις αζώτου και θείου) και βοηθούν στη μετατροπή του ατμοσφαιρικού αζώτου σε εύχρηστες ουσίες (π.χ. φυτικά λιπάσματα).

(β) Μύκητες (fungi):

Οι μύκητες είναι μονοκυτταρικοί ή πολυκυτταρικοί ευκαρυωτικοί οργανισμοί, οι οποίοι υπάρχουν παντού και μάλιστα σε πολύ μεγάλη ποικιλία.

Αρχικά οι μύκητες υπάγονταν στο Βασίλειο των φυτών, αλλά από το 1969 συνιστούν το Βασίλειο των Μυκήτων.

Οι μύκητες είναι δυνατόν να εγκατασταθούν πάνω σε φυτά, ζώα, ανθρώπους και το έδαφος. Κατά πλειοψηφία ζουν σε φυτά ή στο έδαφος, σε περιβάλλον με pH~5.

Υπολογίζεται ότι υπάρχουν 1.500.000 διαφορετικά είδη μύκητες (έχουν καταγραφεί μόνο 70.000).

Είναι αερόβιοι οργανισμοί, αλλά μπορούν να ζήσουν και με ελάχιστο ή δίχως οξυγόνο, όπως οι μύκητες που προκαλούν ζυμώσεις και είναι αναερόβιοι μικροοργανισμοί.

Οι μύκητες δεν έχουν χλωροφύλλη και επομένως δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν το διοξείδιο του άνθρακα και να επιδοθούν στη φωτοσύνθεση. Είναι ετερότροφοι και διατρέφονται από οργανικά συστατικά ζωντανών ή νεκρών οργανισμών.

Οι ωφέλειες των μυκήτων στο περιβάλλον είναι σημαντικότερες γιατί συμβάλλουν ουσιαστικά στην αποσύνθεση των νεκρών φυτών και περιττωμάτων των ζώων.

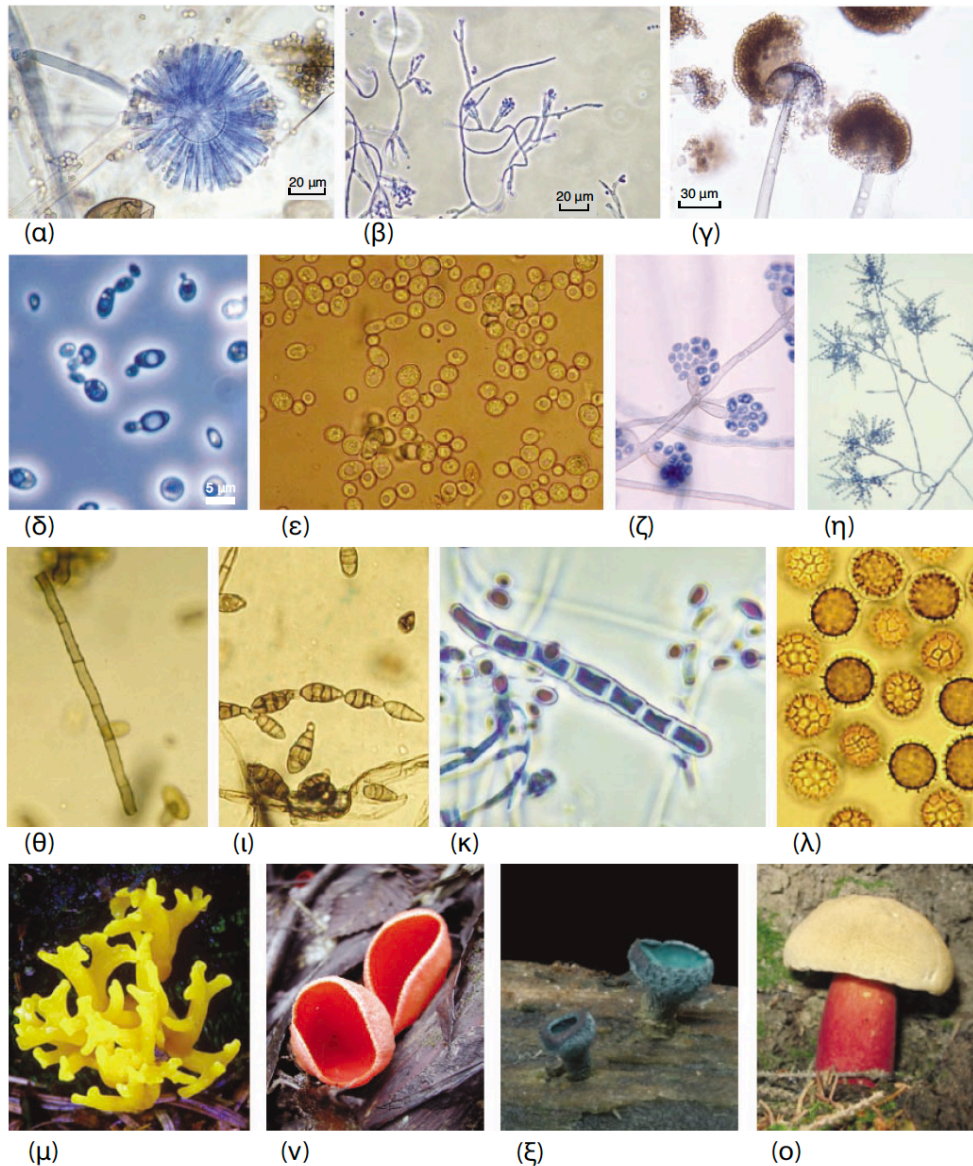
Οι μύκητες χωρίζονται μορφολογικά σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- δερματόφυτα
- ζυμομύκητες ή βλαστομύκητες (μονοκυτταρικοί)
- υφομύκητες ή νηματοειδείς (πολυκυτταρικοί).

Υπάρχουν και μερικοί μύκητες που αναπτύσσονται σαν ζυμομύκητες ή σαν υφομύκητες σύμφωνα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, και συνήθως ονομάζονται δίμορφοι.

Οι μύκητες κατατάσσονται σε φίλιους και εχθρικούς.

- Οι φίλιοι μύκητες χρησιμοποιούνται για την παρασκευή ποτών (π.χ. κρασιών, αναψυκτικών), τροφίμων (π.χ. τυριών, σοκολατών), φαρμάκων (π.χ αντιβιοτικά), αλλά και για τροφή (μανιτάρια) ή ακόμα και στον καθαρισμό του περιβάλλοντος (π.χ. κηλίδων πετρελαίου στη θάλασσα).
- Οι εχθρικοί μύκητες συνήθως προκαλούν δερματοπάθειες, και αλλεργίες.



Ενδεικτικές μορφές μυκήτων:

- (α) *Syncephalastrum racemosium*,
- (β) *Penicillium marneffe*,
- (γ) *Rhizopus oryzae* (Ellis et al., 2007),
- (δ) *Saccharomyces cerevisiae*, (Blackwell et al., 2009),
- (ε) *Saccharomyces cerevisiae* (McGee, 2011),
- (ζ) *Exophiala salmonis*,
- (η) *Cladophialophora carrionil* (Gueidan, 2008),
- (θ) *Septate hypha*,
- (ι) *Alternaria conidia* (McGee, 2011),
- (κ) *Trichophyton rubrum* var. *rodhaini* (Ajello, 2007),
- (λ) *Tilletia controversa* (Swann and Hibbett, 2007),
- (μ) *Calocera viscosa* (Hibbett, 2007),
- (ν) *Sarcoscypha coccinea* (Blackwell et al., 2012),
- (ξ) *Chlorociboria aegerescens* (Wheeler, 2013) και
- (ο) *Boletus santanas*.

(α-γ) Τα **δερματόφυτα**: εμφανίζονται συνήθως στις τρίχες, το δέρμα και τα νύχια

(δ-ε) Οι **ζυμομύκητες**: προκαλούν ζυμώσεις

(ζ-ο) Οι **υφομύκητες**: έχουν μια βλαστική μορφή και πολλαπλασιάζονται είτε με τη διαδικασία της εκβλάστησης (ασεξουαλικά) είτε με συνένωση (σεξουαλική αναπαραγωγή).

(γ) Πρωτόζωα (protozoa):

Τα πρωτόζωα είναι μονοκύτταροι ευκαρυωτικοί μικροοργανισμοί. Διαθέτουν πυρήνα ο οποίος περιέχει το γενετικό τους υλικό (DNA).

Τα καταγεγραμμένα είδη πρωτόζωων είναι περίπου 65.000.

Τα περισσότερα πρωτόζωα είναι πολύ μικρά για να είναι ορατά χωρίς τη βοήθεια ενός μικροσκοπίου. Διαθέτουν εξειδικευμένα σωματίδια (μιτοχόνδρια, πεπτικά κενοτόπια κ.λπ.), αλλά δεν διαθέτουν όργανα και ιστούς.

Πολλά πρωτόζωα έχουν ειδικές δομές (μαστίγια, βλεφαρίδες ή ψευδοπόδια) που τα βοηθούν να μετακινούνται.

Τα πρωτόζωα αναπαράγονται αγενώς, δηλαδή μονογονικά (ασεξουαλικά) με απλή διχοτόμηση, εκβλάστηση ή δημιουργία κύστεων, αλλά και εγγενώς, δηλαδή συγγαμικά (σεξουαλικά) με παροδική ένωση θηλυκού και αρσενικού γαμέτη.

Τα πρωτόζωα είναι είτε αυτότροφα (μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε χημική) είτε ετερότροφα (τρώνε άλλους οργανισμούς ζωντανούς και νεκρούς). Για το λόγο αυτό, τα πρωτόζωα θεωρούνταν κάποτε ως ζώα.

Πολλά πρωτόζωα τρέφονται με γερασμένα βακτήρια, έτσι διατηρούν τους αποικίες των βακτηρίων νεαρές.

Ο κανιβαλισμός στα πρωτόζωα δεν είναι ασυνήθιστο φαινόμενο.

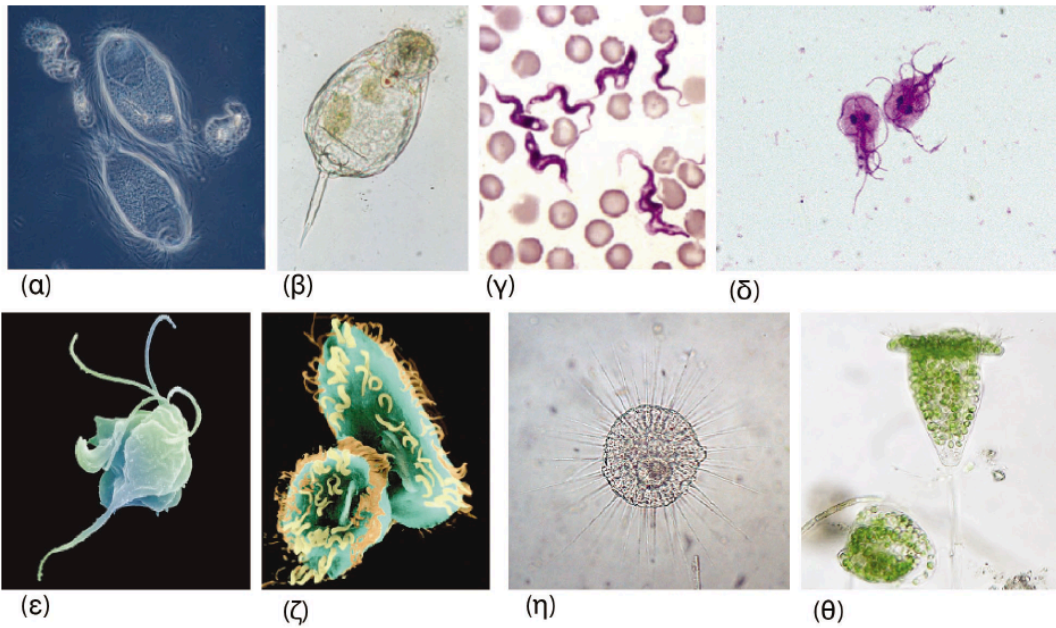
Τα πρωτόζωα είναι είτε υδρόβια είτε χερσόβια. Παρουσιάζονται ευρέως στη φύση. Ευδοκιμούν σε υγρασία.

Ορισμένα πρωτόζωα ζουν παρασιτικά στο εσωτερικό των οργάνων μεγαλύτερων ζώων, όπου και προκαλούν ασθένειες.

Τα περισσότερα είδη πρωτόζωων ζουν μεμονωμένα, αλλά μερικά είδη ζουν και αποικιακά.

Τα πρωτόζωα έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με τον τρόπο κίνησης και τον κύκλο ζωής τους σε:

- (1) βλεφαριδοφόρα διότι διαθέτουν βλεφαρίδες,
- (2) ακροσυμπλεγματικά διότι ζουν παρασιτικά και διαθέτουν ένα ακραίο σύμπλεγμα οργανιδίων το οποίο τα βοηθά να διεισδύουν ξενιστές,
- (3) μαστιγοφόρα διότι μετακινούνται με μαστίγια,
- (4) σαρκώδη διότι μετακινούνται με ψευδοπόδια,
- (5) φυτομαστιγοφόρα διότι διαθέτουν μαστίγια αλλά είναι και χλωροπλάστες,
- (6) ζωομαστιγοφόρα διότι τρέφονται ολοζωικά,
- (7) ακτινόποδα διότι είναι ακτινόζωα.



Ενδεικτικές μορφές πρωτόζων:

(α) *Trichonympha*

(β) *Lecane lunaris*

(γ) *Trypanosoma*

(δ) *Giardia lamblia*

(ε) *Trichomonas vaginalis*

(ζ) *Oxytricha* sp.

(η) *Actinosphaerium* sp.

(θ) *Vorticella*

(ζ) κανιβαλισμός: το μεγαλύτερο πρωτόζωο τρώει το μικρότερο)

(δ) Ιοί:

Οι ιοί είναι μικροοργανισμοί με μέγεθος μεταξύ 10 και 400 nm.

Δεν μπορούν να εντοπισθούν με οπτικό μικροσκόπιο παρά μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Σε αντίθεση με όλες τις κυτταρικές δομές που διαθέτουν RNA και DNA, οι ιοί έχουν RNA ή DNA αλλά ποτέ και τα δύο.

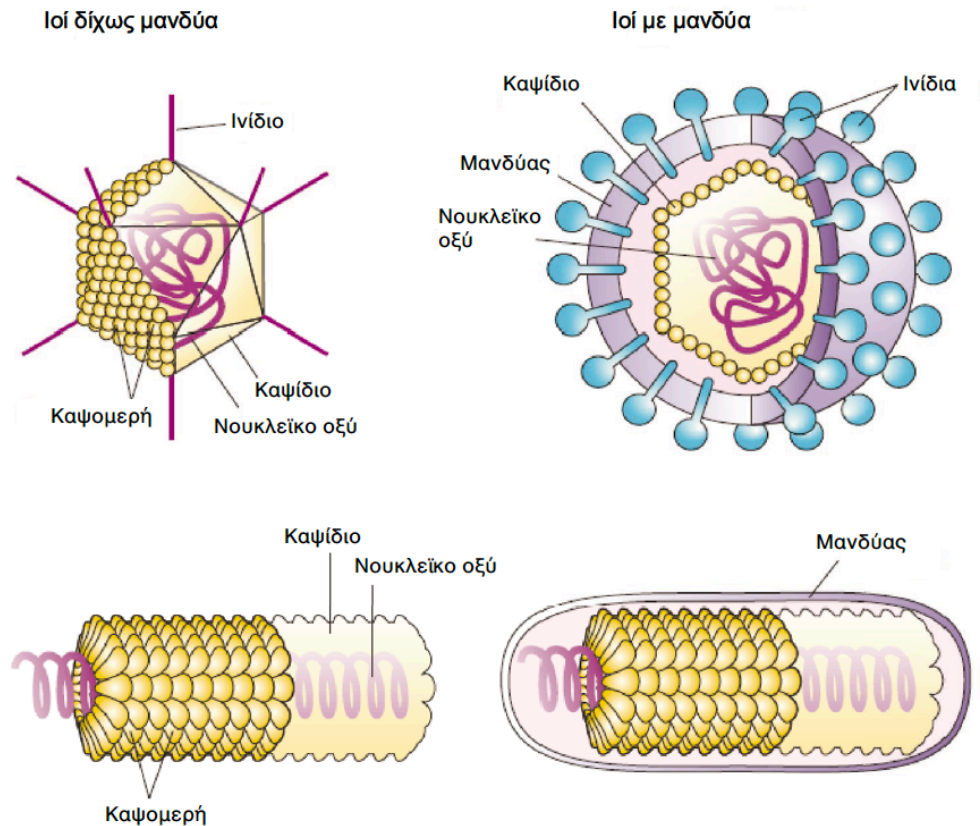
Αναπαράγονται παρασιτικά στο εσωτερικό ζωντανών οργανισμών που μολύνουν.

Στα αγγλικά ο ιός ονομάζεται *virus*, μια λέξη η οποία προέρχεται από τη λατινική γλώσσα και σημαίνει δηλητήριο.

Η μορφολογία των ιών είναι είτε πολυεδρική είτε σφαιρική είτε ελικοειδής είτε σύνθετη (συνδυασμός πολυεδρικού και ελικοειδούς σχήματος).

Οι ιοί κατατάσσονται βάσει του μεγέθους, του σχήματος, της παρουσίας ή απουσίας εξωτερικού καλύμματος και του είδους νουκλεϊνικού οξέος (DNA ή RNA) που περιέχουν.

Το εξωτερικό κάλυμμα των ιών αποτελείται από λιπίδια τα οποία σχηματίζουν ένα μανδύα λιποπρωτεΐνης.



Μορφολογία σφαιρικών και ελικοειδών ιών.

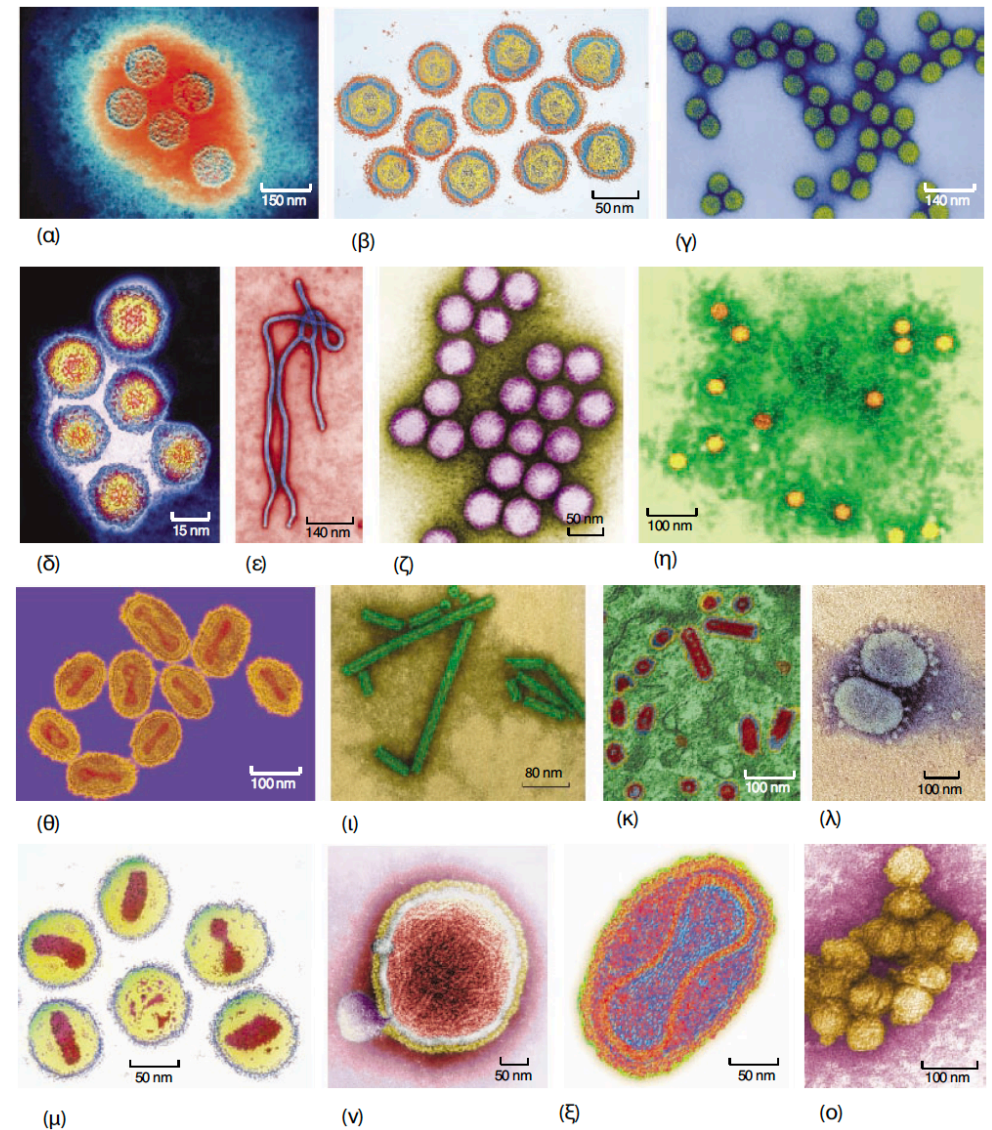
Οι ιοί μπορεί να είναι συμβιωτικοί με το φορέα τους, αλλά και παθογόνοι.

Υπάρχουν ιοί οι οποίοι προσβάλλουν τον άνθρωπο, τα ζώα, τα φυτά και τα βακτήρια.

Πάνω από 100 ιοί προκαλούν το κοινό κρυολόγημα.

Επεξεργασμένες χρωματικά ηλεκτρονιογραφίες (SEMs) διαφόρων ιών:

- (α) Herpes viruses (ιοί του έρπητα),
- (β) Dengue fever virus,
- (γ) Rotaviruses,
- (δ) Hepatitis A (ηπατίτιδα Α),
- (ε) Ebola virus,
- (ζ) Adenoviruses (αδενοϊοί),
- (η) Polio viruses (ιοί πολιομυελίτιδας),
- (θ) Smallpox viruses (ιοί ευλογιάς),
- (ι) Tobacco mosaic virus (TMV),
- (κ) Rabies virus (ιοί λύσσας),
- (λ) Corona viruses,
- (μ) Hanta virus,
- (ν) Parainfluenza virus,
- (ξ) Smallpox virus (ιός ευλογιάς),
- (ο) West Nile virus (ιός του Δυτικού Νείλου).



Βακτηριοφάγοι

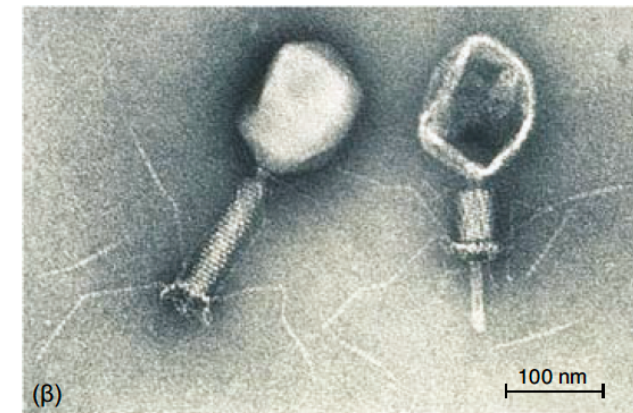
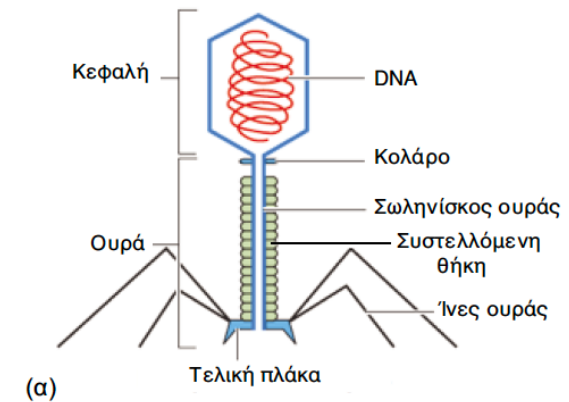
Οι ιοί των βακτηρίων ονομάζονται **βακτηριοφάγοι**.

- Αποτελούνται από μια κεφαλή αλλά ορισμένοι βακτηριοφάγοι έχουν επίσης ουρά.
- Ελάχιστοι βακτηριοφάγοι έχουν εξωτερικό κάλυμμα (λιπιδιακό μανδύα).
- Υπάρχουν περισσότεροι βακτηριοφάγοι στη Γη από κάθε άλλη μορφή ζωής.
- Το γεγονός ότι οι βακτηριοφάγοι σκοτώνουν βακτήρια τους καθιστά συμμάχους του ανθρώπου κατά των παθογόνων βακτηρίων.
- Οι βακτηριοφάγοι έχουν **σφαιρική ή ελλειψοειδή συμμετρία** (απλοί ισομετρικοί φάγοι), **ελικοειδή συμμετρία** (ραβδοειδείς φάγοι) και **πολύπλοκη μορφολογία** (φάγοι με ουρά).
- Οι ίνες της ουράς εξυπηρετούν την προσκόλληση του βακτηριοφάγου στο βακτήριο πριν από τη μόλυνση.

Οι βακτηριοφάγοι πολλαπλασιάζονται με:

(1) το **λυτικό κύκλο**, όπου ο κύκλος κλείνει με την καταστροφή (λύση) του ξενιστή,

(2) το **λυσιγονικό κύκλο**, όπου ο ξενιστής δεν καταστρέφεται αλλά λειτουργεί φυσιολογικά γιατί το γενετικό υλικό του ιού ενσωματώνεται στο υλικό του βακτηρίου και μεταφέρεται στα θυγατρικά βακτήρια.



Μορφολογία βακτηριοφάγων T4:

(α) διαγραμματική απεικόνιση και

(β) ηλεκτρονιογραφία (SEM) όπου αριστερά παρουσιάζετε ένας άθικτος ενεργός βακτηριοφάγος και δεξιά ένα κέλυφος βακτηριοφάγου μετά από συστολή της ουράς και απελευθέρωση του DNA σε βακτηριακό οικοδεσπότη με έγχυση διαμέσου του σωληνίσκου της ουράς.

Ανάπτυξη μικροοργανισμών

Υπό κατάλληλες συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία, διαλυμένο οξυγόνο) παρουσία απαραίτητων θρεπτικών συστατικών (υπόστρωμα), τα κύτταρα των μικροοργανισμών αρχίζουν τη διαδικασία του πολλαπλασιασμού τους με παράλληλη κατανάλωση των θρεπτικών συστατικών.

Δεδομένου ότι οι μονοκύτταροι οργανισμοί πολλαπλασιάζονται με διαίρεση των κυττάρων, ο ρυθμός ανάπτυξής τους είναι ανάλογος της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών. Επομένως, πολύ γρήγορα οι μικροοργανισμοί αποκτούν ταχύτατο ρυθμό ανάπτυξης (εκθετική ανάπτυξη) η οποία διακόπτεται μόνο όταν ένα ή περισσότερα από τα απαιτούμενα θρεπτικά συστατικά εξαφανιστούν.

Η ανάπτυξη ενός πληθυσμού μονοκύτταρων μικροοργανισμών ακολουθεί έξι ξεχωριστά στάδια:

(1) *Στάδιο επώασης ή εγκλιματισμού (lag phase)*. Στο στάδιο αυτό δεν παρατηρείται αύξηση του κυτταρικού πληθυσμού αλλά υπάρχει σημαντική μεταβολική δραστηριότητα με κατανάλωση θρεπτικών συστατικών. Τα κύτταρα προετοιμάζονται για τον πολλαπλασιασμό τους.

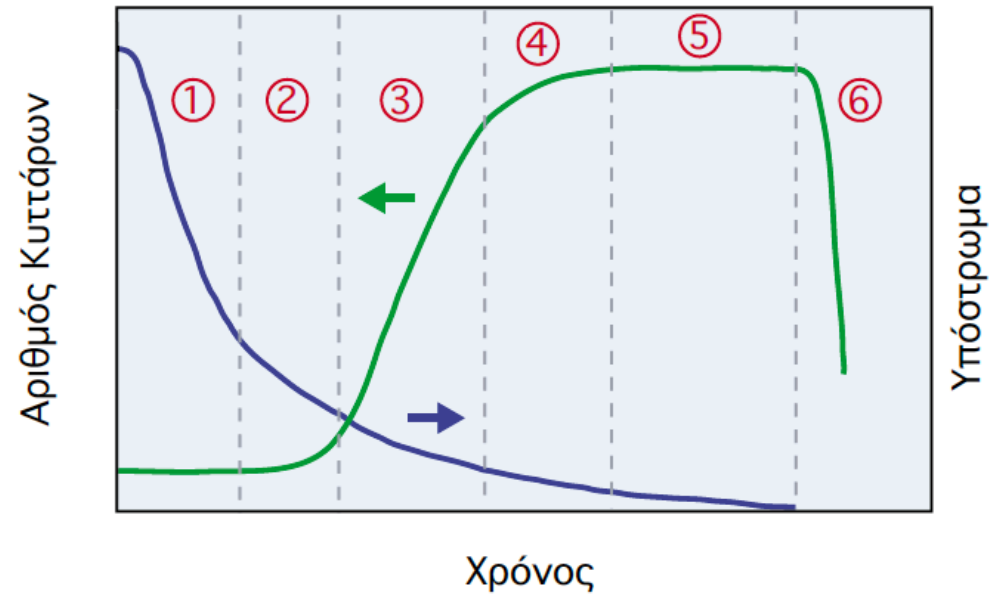
(2) *Στάδιο επιταχυνόμενης ανάπτυξης (accelerated growth)*. Στο στάδιο αυτό αρχίζει η διαίρεση των κυττάρων.

(3) *Στάδιο εκθετικής ανάπτυξης (exponential growth)*. Στο στάδιο αυτό οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται με μέγιστο ρυθμό. Η φάση αυτή σταματά μόνο όταν η συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών δεν μπορεί να στηρίξει άλλο αυτή τη λογαριθμική ανάπτυξη.

(4) *Στάδιο φθίνουσας ανάπτυξης (declined growth)*. Στο στάδιο αυτό ο ρυθμός ανάπτυξης των μικροοργανισμών ελαττώνεται όσο περιορίζεται η συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών.

(5) *Στάδιο στασιμότητας (stationary phase)*. Στο στάδιο αυτό ο πληθυσμός των μικροοργανισμών δεν μεταβάλλεται γιατί ο ρυθμός ανάπτυξης των μικροοργανισμών βρίσκεται σε ισορροπία με το ρυθμό νέκρωσης.

(6) *Στάδιο ενδογενούς αναπνοής (endogenous metabolism)*. Στο στάδιο αυτό ο πληθυσμός των κυττάρων ελαττώνεται εκθετικά λόγω της νέκρωσης των κυττάρων.



Γραφική απεικόνιση της καμπύλης ανάπτυξης μονοκύτταρων μικροοργανισμών σε συνδυασμό με την καμπύλη εξαφάνισης του υποστρώματος.

Επίσης, παρουσιάζονται και τα 6 στάδια ανάπτυξης:

- (1)–επώαση,
- (2)–επιταχυνόμενη ανάπτυξη,
- (3)–εκθετική ανάπτυξη,
- (4)–φθίνουσα ανάπτυξη,
- (5)–στασιμότητα, και
- (6)–ενδογενής αναπνοή.

Η αύξηση της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών, $X [M_x/L^3]$, συναρτήσει της συγκέντρωσης των θρεπτικών συστατικών (υποστρώματος), $S [M_s/L^3]$, συνήθως περιγράφεται με το εμπειρικό μοντέλο Monod (1949):

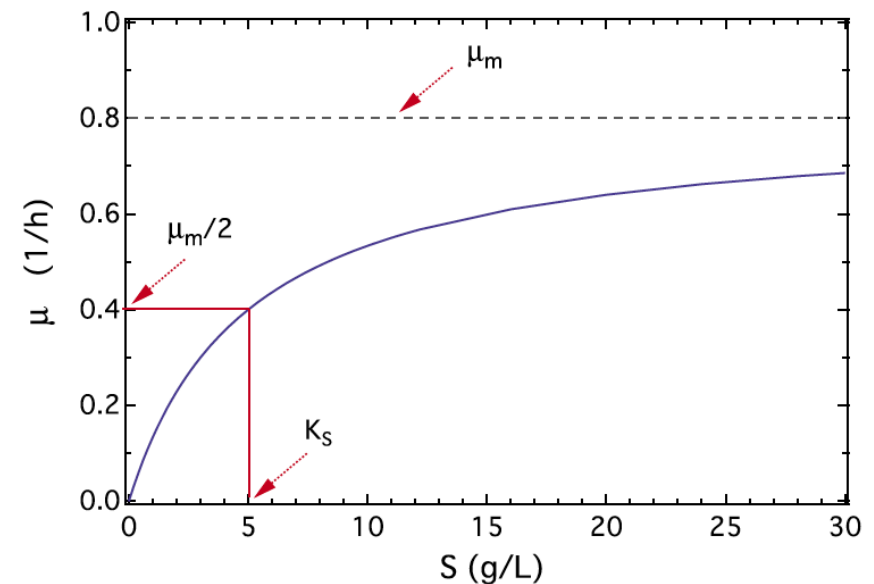
$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S}$$

όπου $\mu [M_s/M_x t]$ είναι ο συντελεστής του ρυθμού ανάπτυξης των μικροοργανισμών, $\mu_m [M_s/M_x t]$ είναι ο μέγιστος συντελεστής του ρυθμού ανάπτυξης των μικροοργανισμών και $K_s [M_s/L^3]$ είναι η σταθερά κορεσμού και ισούται με την τιμή του S για $\mu = \mu_m/2$.

Για διευκόλυνση χρησιμοποιούνται δυο διαφορετικά σύμβολα για τη μάζα: M_x για τη μάζα του X και M_s για τη μάζα του S .

Το εμπειρικό μοντέλο Monod θεωρεί πως:

- η ανάπτυξη μικροοργανισμών είναι περίπου γραμμική σε σχέση με τη συγκέντρωση του υποστρώματος όταν η συγκέντρωση S είναι σχετικά μικρή ($\mu \sim S$).
- για πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις S , η ανάπτυξη μικροοργανισμών είναι ανεξάρτητη του υποστρώματος και ίση με το μέγιστο ρυθμό ανάπτυξης των μικροοργανισμών ($\mu = \mu_m$).



Ρυθμός ανάπτυξης μικροοργανισμών ως συνάρτηση της συγκέντρωσης του υποστρώματος, βάσει του μοντέλου Monod (Εδώ $K_s = 5 \text{ g/L}$, $\mu_m = 0,8/h$).

Στο στάδιο της λογαριθμικής ανάπτυξης, ο ρυθμός αύξησης των μικροοργανισμών (βιομάζας), r_x [M_x/L^3t], ακολουθεί κινητική πρώτης τάξης:

$$r_x = \left(\frac{dX}{dt} \right)_{\log} = \mu X$$

και ο ρυθμός χρησιμοποίησης του υποστρώματος, r_s [M_s/L^3t]:

$$r_s = - \left(\frac{dS}{dt} \right)_{\log} = \mu \left(\frac{X}{Y} \right)$$

όπου Y [M_x/M_s] είναι ο συντελεστής κυτταρικής απόδοσης, δηλαδή ο λόγος της ποσότητας βιομάζας που παράγεται προς την ποσότητα υποστρώματος που καταναλώνεται:

$$Y = \frac{r_x}{r_s} = \frac{dX/dt}{-dS/dt}$$

$$\Rightarrow r_x = Yr_s$$

Το στάδιο της νέκρωσης των μικροοργανισμών περιγράφεται με κινητική πρώτης τάξης ως έξης:

$$r_d = k_d X = - \left(\frac{dX}{dt} \right)_{\text{ενδογ αναπτ}}$$

όπου r_d [M_x/L^3t] είναι ο ρυθμός ενδογενούς αναπνοής και k_d [$1/t$] ο συντελεστής αποδόμησης μικροοργανισμών (βιομάζας).

Άρα, ο καθαρός ρυθμός αύξησης μικροοργανισμών, r_{xg} [M_x/L^3t], δίνεται από τη σχέση:

$$\Rightarrow r_{xg} = Yr_s - r_d$$

$$\Rightarrow r_{xg} = Yr_s - k_d X$$

Για την ειδική περίπτωση που η συγκέντρωση του υποστρώματος (S) είναι σταθερή και κατ' επέκταση ο συντελεστής ρυθμού αύξησης των μικροοργανισμών (μ) είναι σταθερός, η εξίσωση που δίνει το χρόνο, $t_{(n)}$ [t] που απαιτείται για να αυξηθεί η συγκέντρωση των μικροοργανισμών (X) κατά n-φορές, συναρτήσει του σταθερού συντελεστή μ, μπορεί να βρεθεί αρχίζοντας με τη σχέση:

$$\begin{aligned}\frac{dX(t)}{dt} &= \mu X(t) \Rightarrow \frac{dX(t)}{X(t)} = \mu dt \\ \Rightarrow \ln[X(t)] \Big|_{X(0)}^{X(t)} &= \mu t \Big|_0^t \Rightarrow \ln \left[\frac{X(t)}{X(0)} \right] = \mu t \\ \Rightarrow \frac{X(t)}{X(0)} &= e^{\mu t} \Rightarrow X(t) = X(0) e^{\mu t}\end{aligned}$$

Αντικαθιστώντας στην παραπάνω εξίσωση τη σχέση $X(t)=nX(0)$ προκύπτει:

$$\begin{aligned}nX(0) &= X(0) e^{\mu t_{(n)}} \\ \Rightarrow n &= e^{\mu t_{(n)}} \Rightarrow\end{aligned}$$

$$\Rightarrow \ln[n] = \mu t_{(n)}$$

$$\Rightarrow t_{(n)} = \frac{\ln[n]}{\mu} \quad (*)$$

Για την περίπτωση διπλασιασμού των μικροοργανισμών, τότε $n=2$ και $t_{(2)}$ δίνεται από τη σχέση:

$$t_{(2)} = \frac{\ln[2]}{\mu}$$

$$\Rightarrow t_{(2)} = \frac{0,693}{\mu} \quad (**)$$

Η εξισώσεις (*) και (**) ισχύουν μόνο για συνθήκες μόνιμης κατάστασης όπου το μ είναι σταθερό.

Παράδειγμα 1

Να βρεθούν οι συνθήκες για τις οποίες ο ρυθμός αύξησης των μικροοργανισμών, $\mu=r_s/X$, περιγράφεται από κινητική μηδενικής τάξης και κινητική πρώτης τάξης ως προς τη συγκέντρωση του υποστρώματος, S .

Λύση

Για πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις του υποστρώματος, $S \rightarrow \infty$ έχουμε:

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S}$$

$$\lim_{S \rightarrow \infty} \frac{\mu_m S}{K_s + S} = \mu_m = \lambda_0$$

$$\Rightarrow \mu = \lambda_0 \text{ (κινητική μηδενικής τάξης)} \quad \bullet$$

Για πολύ μικρές συγκεντρώσεις του υποστρώματος, $S \rightarrow 0$ έχουμε:

$$\lim_{S \rightarrow 0} \frac{\mu_m S}{K_s + S} = \frac{\mu_m}{K_s} S = \lambda_1 S$$

$$\Rightarrow \mu = \lambda_1 S \text{ (κινητική πρώτης τάξης)} \quad \bullet$$

Παράδειγμα 2

Ένας αντιδραστήρας CMBR χρησιμοποιείται σε βιολογική επεξεργασία οργανικών αποβλήτων μιας εταιρίας κονσερβοποίησης τροφίμων. Προκαταρκτικά πειράματα υπέδειξαν ότι οι μικροοργανισμοί που έχουν επιλεγεί για την βιολογική επεξεργασία αναπτύσσονται βάσει του μοντέλου Monod. Θεωρήστε ότι στον αντιδραστήρα η αρχική συγκέντρωση του υποστρώματος, S_0 [M_S/L^3], είναι πολύ μεγαλύτερη της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών και της σταθεράς κορεσμού ($S_0 \gg X$, $S_0 \gg K_s$). Υπολογίστε το χρόνο που απαιτείται για τη μείωση του υποστρώματος στο 15% της αρχικής τιμής αν $X_0 = 100 \text{ g/m}^3$, $S_0 = 1000 \text{ g/m}^3$, $Y = 0,45 \text{ g}_x/\text{g}_s$, $\mu_m = 1,2 \text{ [1/d]}$ και $K_s = 25 \text{ g}_s/\text{m}^3$.

Λύση

Επίλυση της εξίσωσης που προκύπτει μετά την αντικατάσταση του μοντέλου Monod (10.1) στην κινητική αύξησης των μικροοργανισμών (10.2), για την περίπτωση όπου $S_0 \gg X$, δίνει:

$$\begin{aligned} \left. \frac{dX}{dt} = \mu X = \frac{\mu_m S}{K_s + S} X \right\} \Rightarrow \frac{dX}{dt} &= \mu_m X \\ S &\gg X \\ \Rightarrow \int_{X_0}^{X_t} \frac{dX}{X} &= \int_0^t \mu_m dt \Rightarrow \ln[X]_{X_0}^{X_t} = \mu_m t|_0^t \\ \Rightarrow \ln \left[\frac{X_t}{X_0} \right] &= \mu_m t \Rightarrow \frac{X_t}{X_0} = \exp[\mu_m t] \\ \Rightarrow X_t &= X_0 \exp[\mu_m t] \end{aligned} \quad (i)$$

Επίσης, αντικατάσταση του μοντέλου Monod (10.1) στην κινητική χρησιμοποίησης του υποστρώματος (10.3), για την περίπτωση όπου $S_0 \gg K_s$, δίνει:

$$\left. \frac{dS}{dt} = -\mu \left(\frac{X}{Y} \right) = -\frac{\mu_m S}{K_s + S} \left(\frac{X}{Y} \right) \right\} \Rightarrow \frac{dS}{dt} = -\mu_m \left(\frac{X}{Y} \right) \quad (ii)$$

$S \gg K_s$

Αντικατάσταση της εξίσωσης (i) στη (ii) δίνει:

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= -\mu_m \left(\frac{X_0}{Y} \right) \exp[\mu_m t] \\ \Rightarrow \int_{S_0}^{S_t} dS &= - \int_0^t \mu_m \left(\frac{X_0}{Y} \right) \exp[\mu_m t] dt \\ \Rightarrow S_t - S_0 &= - \frac{X_0}{Y} \exp[\mu_m t] \Big|_0^t \\ \Rightarrow S_t - S_0 &= - \frac{X_0}{Y} \{ \exp[\mu_m t] - 1 \} \end{aligned}$$

Αντικαθιστώντας τις δοθείσες τιμές των παραμέτρων βρίσκεται ο επιθυμητός χρόνος t:

$$\begin{aligned} \left(150 \frac{\text{g}_s}{\text{m}^3} - 1000 \frac{\text{g}_s}{\text{m}^3} \right) &= - \left(\frac{100 \text{ g}_x / \text{m}^3}{0,45 \text{ g}_x / \text{g}_s} \right) \{ \exp[1,2 t] - 1 \} \\ \Rightarrow -850 \frac{\text{g}_s}{\text{m}^3} &= -222,2 \frac{\text{g}_s}{\text{m}^3} (\exp[1,2 t] - 1) \\ \Rightarrow 4,825 &= \exp[1,2 t] \Rightarrow t = 1,31 \text{ d} \quad \bullet \end{aligned}$$

Παράδειγμα 3

Δύο πειράματα διαλείποντος έργου διεξάγονται για τον προσδιορισμό του χρόνου που απαιτείται για να διπλασιαστεί η συγκέντρωση των μικροοργανισμών ($t_{(2)}$). Κάθε πείραμα διεξάγεται με διαφορετική συγκέντρωση του υποστρώματος. Από τα πειραματικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα Π10.3, να υπολογιστούν οι παράμετροι μ_m και K_s με τις κατάλληλες μονάδες. Θεωρείστε ότι η αύξηση της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών περιγράφεται ικανοποιητικά με το μοντέλο Monod.

Πίνακας Π10.3: Πειραματικά δεδομένα

Πείραμα	S (g/m ³)	t ₍₂₎ (h)
a	10	40
b	100	9

Λύση

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (10.8) για το χρόνο διπλασιασμού της βιομάζας και το μοντέλο Monod (10.1) και τα πειραματικά δεδομένα προκύπτουν δύο εξισώσεις με δύο αγνώστους από τις οποίες βρίσκονται οι παράμετροι μ_m και K_s ως εξής:

$$\left. \begin{aligned} t_{(2)} &= \frac{0,693}{\mu} \\ \mu &= \frac{\mu_m S}{K_s + S} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} t_{(2)a} &= \frac{0,693(K_s + S_a)}{\mu_m S_a} \\ t_{(2)b} &= \frac{0,693(K_s + S_b)}{\mu_m S_b} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} 40 \text{ h} &= \frac{0,693[(K_s + 10) \text{ g / m}^3]}{\mu_m (10 \text{ g / m}^3)} \\ 9 \text{ h} &= \frac{0,693[(K_s + 100) \text{ g / m}^3]}{\mu_m (100 \text{ g / m}^3)} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} \mu_m &= 0,16 \frac{1}{\text{h}} \quad \bullet \\ K_s &= 80 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \quad \bullet \end{aligned}$$

Παράδειγμα 4

Αν η αύξηση της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών περιγράφεται ικανοποιητικά με το μοντέλο Monod, να προσδιοριστεί ο χρόνος που απαιτείται για να αυξηθεί η συγκέντρωση των μικροοργανισμών σε αντιδραστήρα διαλείποντος έργου κατά μια τάξη μεγέθους. Η συγκέντρωση του υποστρώματος είναι σταθερή $S=40 \text{ g/m}^3$ (μόνιμη κατάσταση) και οι παράμετροι Monod είναι $\mu_m=0,12 \text{ h}^{-1}$ και $K_s=75 \text{ g/m}^3$.

Λύση

Αρχίζοντας με το μοντέλο Monod (10.1):

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \Rightarrow \mu = \frac{\left(0,12 \frac{1}{\text{h}}\right) \left(40 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}\right)}{(75 + 40) \frac{\text{g}}{\text{m}^3}} \Rightarrow \mu = 0,042 \frac{1}{\text{h}}$$

και χρησιμοποιώντας τη σχέση (10.7) για $n=10$, θεωρώντας συνθήκες μόνιμης κατάστασης, δηλαδή ότι η συγκέντρωση S και κατ' επέκταση το μ είναι σταθερά, προκύπτει:

$$t_{(n)} = \frac{\ln[n]}{\mu} \Rightarrow t_{(10)} = \frac{\ln[10]}{0.042 / \text{h}} \Rightarrow t_{(10)} = 54,8 \text{ h} \quad \bullet$$