

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

Διάλεξη 4: Δευτεροβάθμια Επεξεργασία

Βιολογικές Διεργασίες σε Αιώρημα

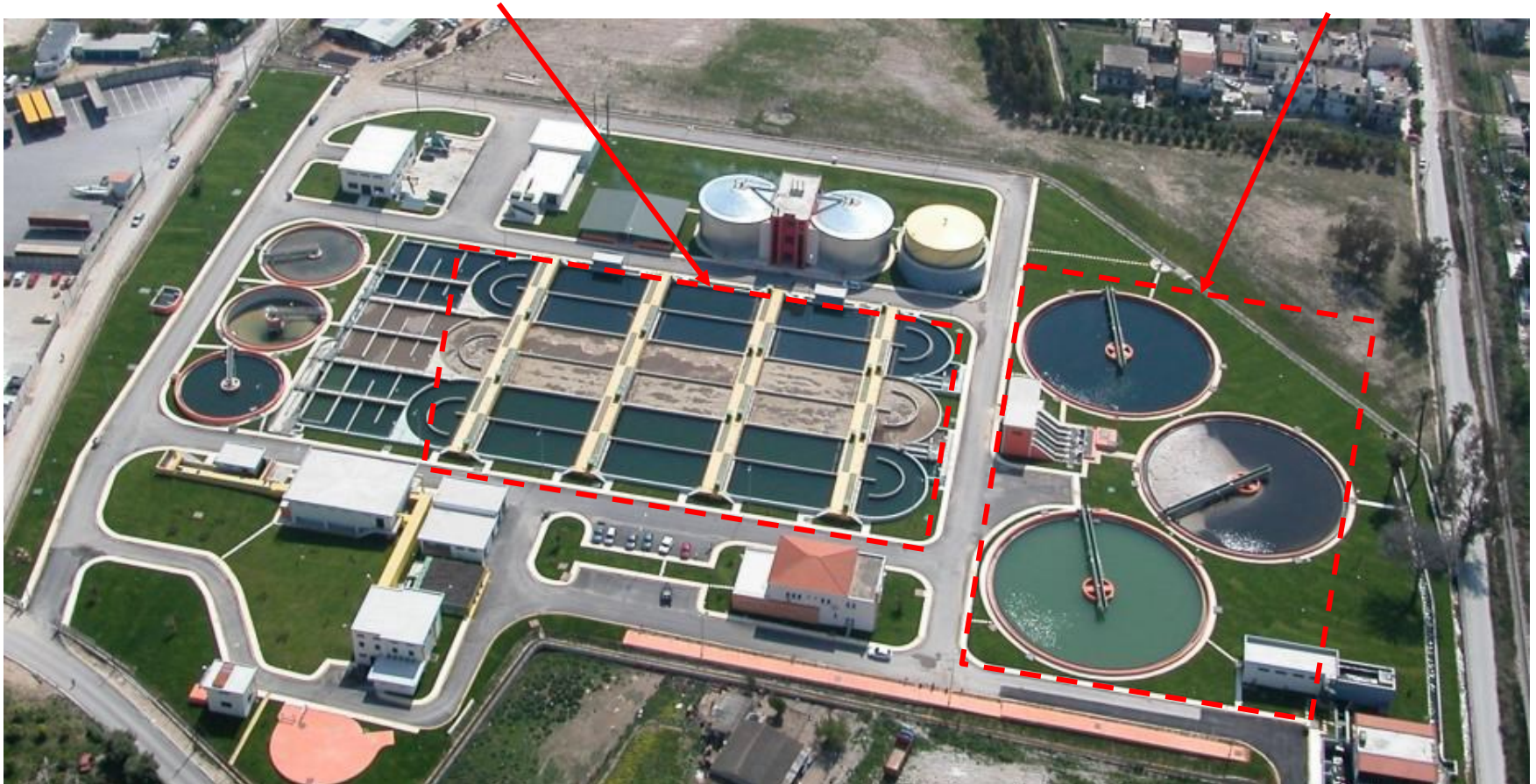
Ανέστης Βλυσίδης

Επίκουρος Καθηγητής, ΕΜΠ

ΜΕΛ Πατρών

Δευτεροβάθμια Βιολογική Επεξεργασία
(δεξαμενές ενεργού ιλύος – οξειδωτική τάφρος)

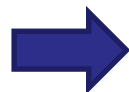
Δευτεροβάθμια
Καθίζηση



ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΟΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

Απαραίτητες γνώσεις σε:

- Μικροβιολογία
- Κινητική μικροβιακής ανάπτυξης
- Κινητική κατανάλωσης υποστρωμάτων
- Κύριοι τύποι βιοαντιδραστήρων



Κατάστρωση & επίλυση των **Ισοζυγίων Μάζας** για τους διάφορους τύπους βιοαντιδραστήρων.

Καθορισμός των **διαστάσεων** (δλδ σχεδιασμός) των βιολογικών διεργασιών.

Μικροβιακή Ποικιλία – Κατηγορίες Μικροβίων

Μικροβιακή Ποικιλία – Κατηγορίες Μικροβίων (1)



Μικροβιακή Ποικιλία – Κατηγορίες Μικροβίων (2)

Η ταξινόμηση αυτή γίνεται μεταξύ άλλων με βάση:

- Των απαιτήσεων σε **θρεπτικά συστατικά** και **ενέργεια**
- Των **ρυθμών ανάπτυξης** και παραγωγής μεταβολικών προϊόντων



- Τις μεθόδους **αναπαραγωγής**
- Της ικανότητας για **κίνηση** και του **τρόπου κίνησης**
- Της **μορφολογίας**

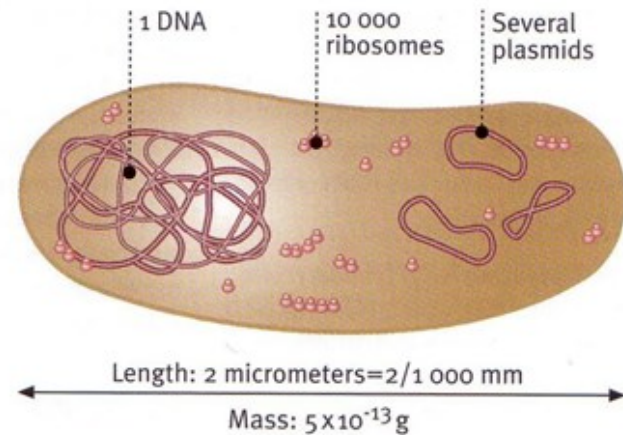
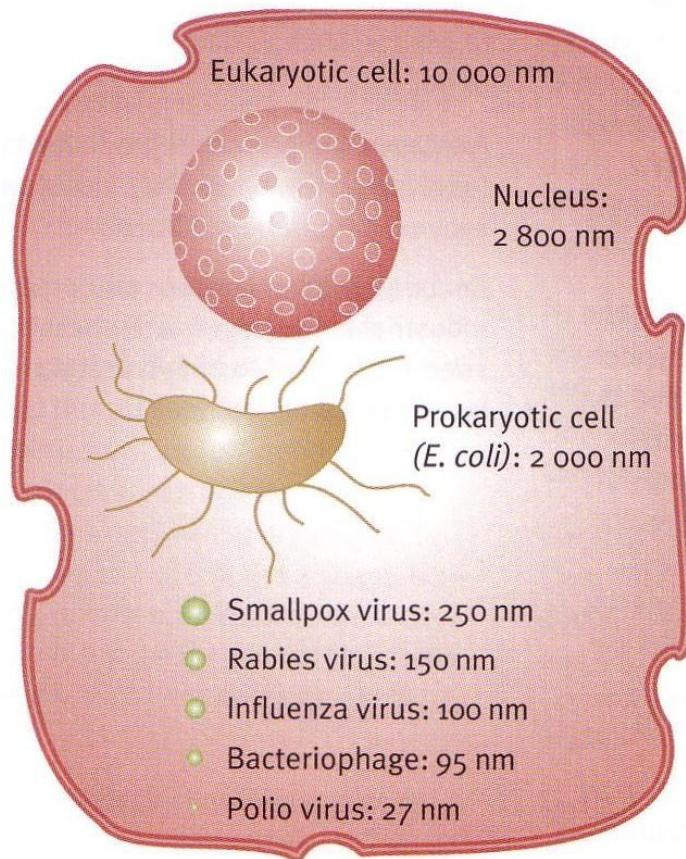
Μικροβιακή Ποικιλία – Κατηγορίες Μικροβίων (3)

- Τα κύτταρα μπορούν να αναπτυχθούν σε:
- Διάφορες **θερμοκρασίες**
- Διάφορα **pH** (1,5 - 9,0)
- Διάφορες **ενεργότητες νερού**
 - Ελάχιστη υγρασία ή
 - Υψηλές [άλατα]

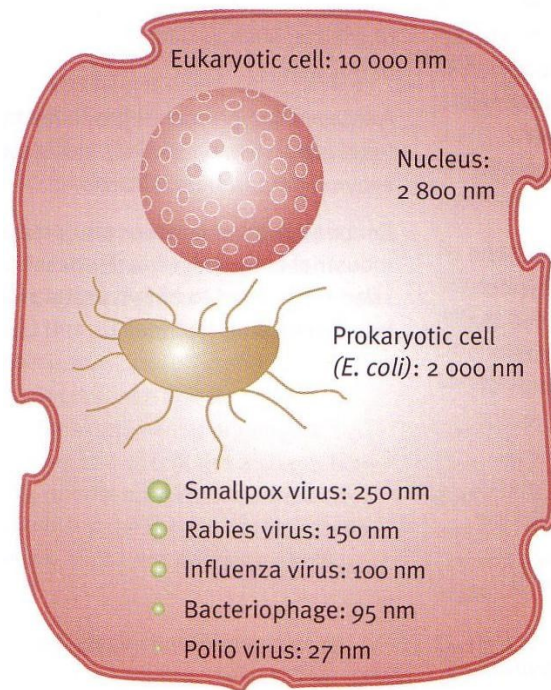


- Ανάγκη οξυγόνου (**αερόβιοι**)
- Ανάγκη για αναερόβιες συνθήκες (**αναερόβιοι**)
- Κάποιοι είναι **δυνητικοί** (facultative)
- Κάποιοι όπως τα **κυανοβακτήρια** φωτοσυνθετικά μετατρέπουν το $\text{CO}_2 \rightarrow$ σε οργανικές ενώσεις.

Η κλίμακα των μικροοργανισμών



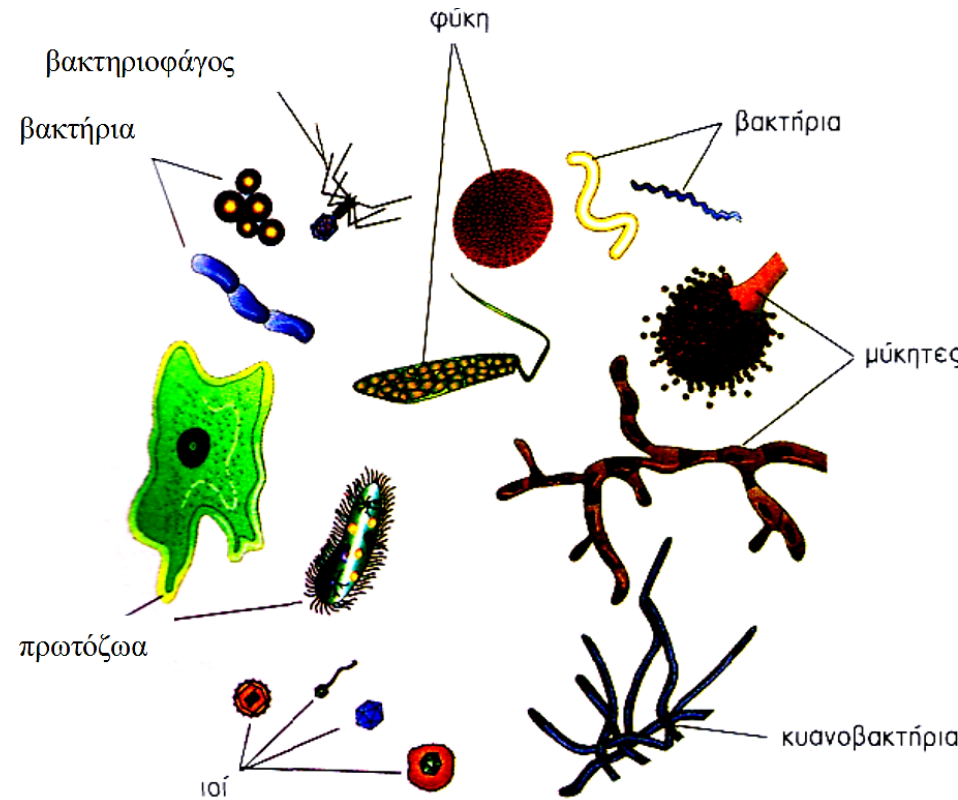
Η κλίμακα των μικροοργανισμών



Μικροβιακή ποικιλότητα:

Υπάρχει ποικιλία στις συνθήκες διαβίωσης.

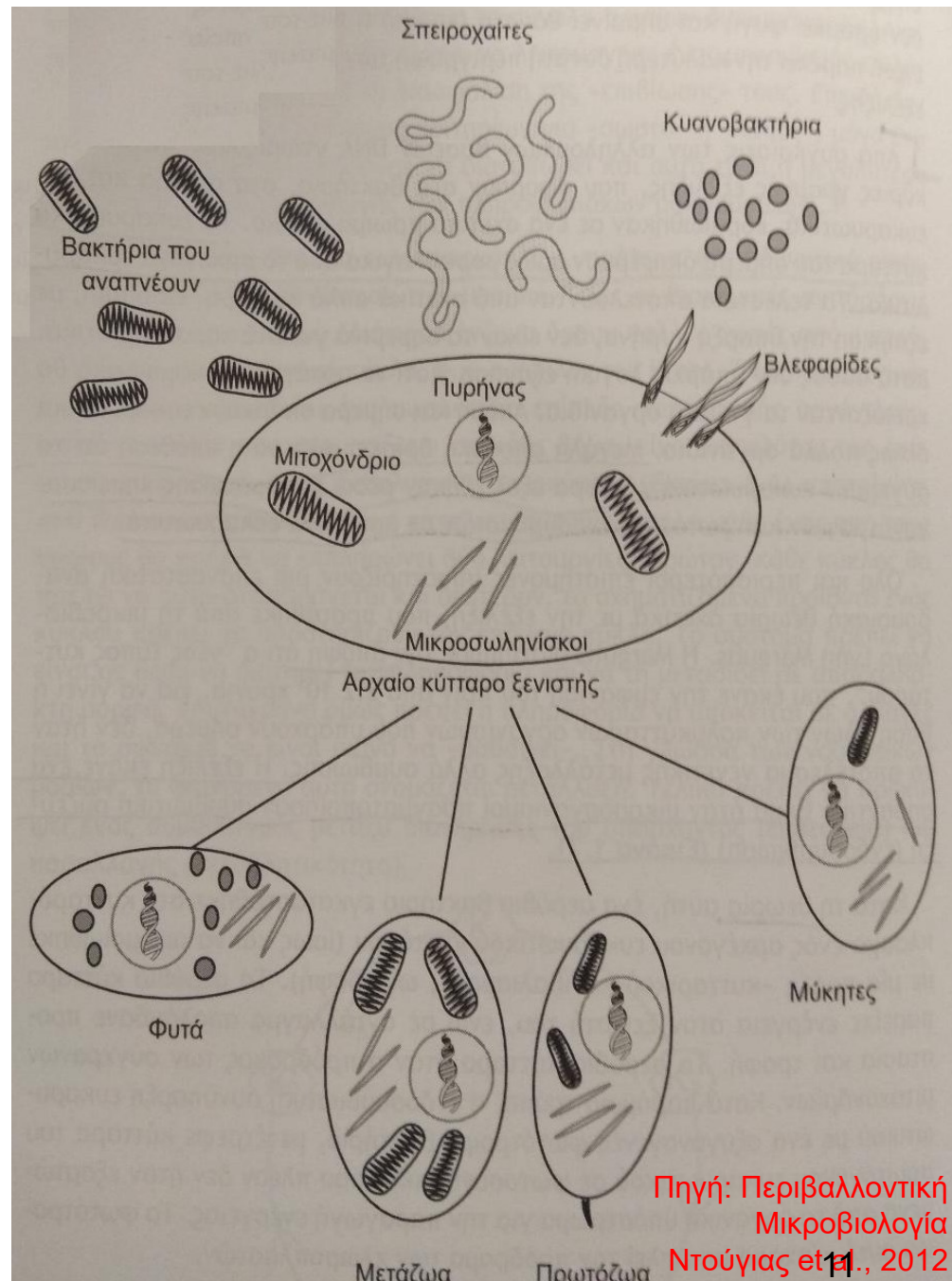
- ✓ **Θερμοκρασία** (από -20°C μέχρι 110°C)
- ✓ **pH** (από 1.5 μέχρι και 9)
- ✓ **Νερό** (από υδάτινα διαλύματα μέχρι σε έδαφος με πολύ χαμηλή σχετική υγρασία)
- ✓ **Οξυγόνο** (αερόβιοι, αναερόβιοι, δυνητικά αναερόβιοι, μικρο-αερόφιλοι)
- ✓ Θρεπτικές ουσίες, κ.τ.λ.
- ✓ **Φωτοαυτότροφοι και ετερότροφοι**



Ποικιλότητα μικροβιακού κόσμου

Η εξέλιξη των ειδών και η δημιουργία των ευκαρυωτών

- Υπόθεση ότι τα σύγχρονα **ευκαρυωτικά κύτταρα** εξελίχθηκαν μέσω ενσωμάτωσης **χημειοοργανότροφων** και **φωτότροφων συμβιωτών** σε αρχέγονα ευκαρυωτικά (Dr. Lynn Margulis).
- Θεωρία: η εξέλιξη έκανε ένα σημαντικό βήμα όταν μικροοργανισμοί πραγματοποίησαν **συμβιωτική σύζευξη** (ενδο-συμβίωση)
- Τα μιτοχόνδρια και οι χλωροπλάστες διαθέτουν το δικό τους προκαρυωτικής προέλευσης DNA
- Σπειροειδή βακτηρίδια → μαστίγια και βλεφαρίδες



Τέσσερις κύριες κατηγορίες μικροοργανισμών ανάλογα με το θρεπτικό μέσο που αναπτύσσονται:

		Πηγή Ενέργειας	
		Φως (φωτό-)	Χημικά μόρια (χημειο-)
Πηγή Άνθρακα	CO ₂ (αυτο-)	Φωτο-αυτότροφοι	Χημειο-αυτότροφοι
		Μικροφύκη και κυανοβακτήρια (χρησιμοποιούν το H ₂ O ως πηγή ηλεκτρονίων προκειμένου να ανάγουν το CO ₂ παράγοντας O ₂ ως παραπροϊόν)	Θειοβακτήρια και βακτήρια νιτροποίησης, ορισμένα αρχαία
	Οργανικές ενώσεις (έτερο-)	Φωτο-ετερότροφοι	Χημειο-ετερότροφοι
		Πράσινα και μωβ θειοβακτήρια (χρησιμοποιούν το H ₂ S ως πηγή ηλεκτρονίων και δεν παράγουν O ₂)	Ζώα, πρωτόζωα, μύκητες, ζύμες, βακτήρια και ορισμένα αρχαία

Χημική Σύσταση Μικροοργανισμών

- Τα **βασικά στοιχεία** που αποτελούν και τη βάση της κυτταρικής δομής είναι C, H, O, N καθώς και P, S.
- Τα υπόλοιπα στοιχεία όπως K, Na, Ca, Mg, Cl, Fe κλπ, βρίσκονται σε **μικρές ποσότητες**.
- Τα διάφορα οργανίδια, οι μεμβράνες και οι λοιπές δομές του κυττάρου αποτελούνται από **τέσσερα βασικά είδη μακρομορίων**

Μακρομόρια

Number of Molecules and Proportion of Total Mass of the Cell

Water	10^{30}	80.0%
Proteins	10^6 - 10^7	10.0%
Sugars	10^7	2.0%
Sugars	10^8	2.0%
Amino and organic acids	10^6 - 10^7	1.3%
DNA	1	0.4%
RNA	10^5 - 10^6	3.0%
Inorganic matter	10^8	1.3%

- Τα **νουκλεϊνικά οξέα**: το RNA (ριβοζονουκλεϊνικό οξύ) και DNA (δεσοξυριβοζονουκλεϊνικό οξύ) λέγονται και πληροφορικά μακρομόρια.
- Τα **λιπίδια** αποτελούν κυρίως τρόπο αποθήκευσης ενέργειας, αλλά έχουν και δομικό ρόλο.
- Οι **πολυσακχαρίτες** έχουν δομικό (π.χ. κυτταρίνη) αλλά και αποθηκευτικό ρόλο.
- Οι **πρωτεΐνες** είναι τα πιο διαδεδομένα μακρομόρια στο κύτταρο (30 με 70% του ξηρού βάρους) με διάφορες κατηγορίες να παίζουν πολλούς ρόλους.

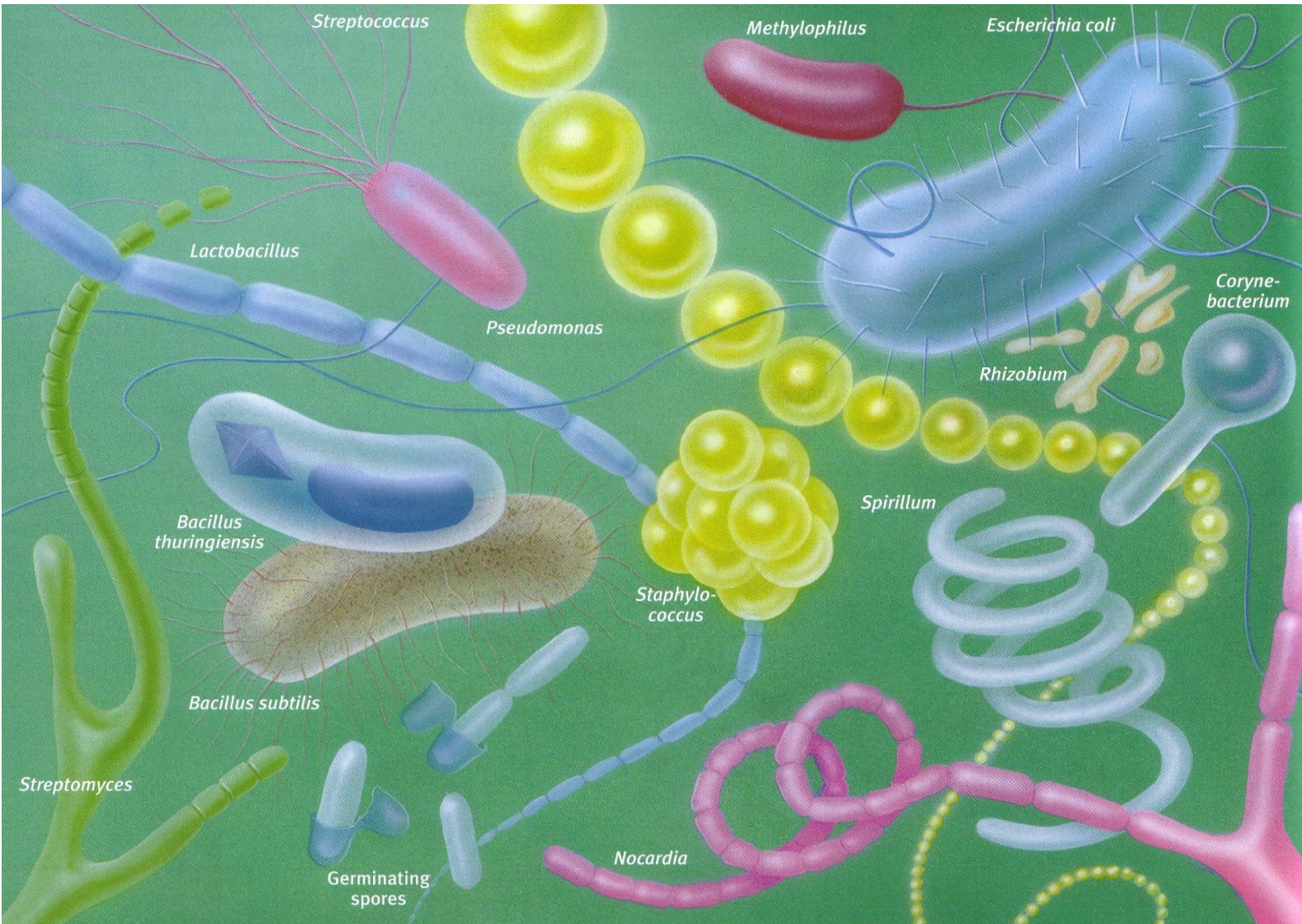
Βακτήρια:

Ο βασικότερος τύπος μικροοργανισμού στο βιολογικό καθαρισμό, υπεύθυνος για:

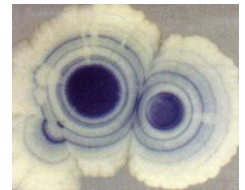
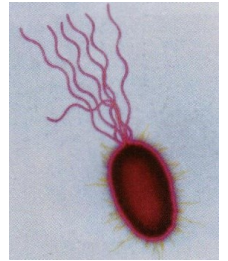
- την **οξείδωση των οργανικών** (διαλυτό BOD ως τροφή)
- την **νιτροποίηση** (οξείδωση NH_3 σε νιτρικά)
- την **απονιτροποίηση** (αναγωγή νιτρικών σε N_2)
- την παραγωγή **οξικού οξέος** και **μεθανίου** κατά την **αναερόβια χώνευση** της ιλύος.

Αποτελούνται κατά 80% από νερό, ενώ το 90% του υπολοίπου είναι **οργανικό** με εμπειρικό τύπο $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$

Βακτήρια



Pseudomonas

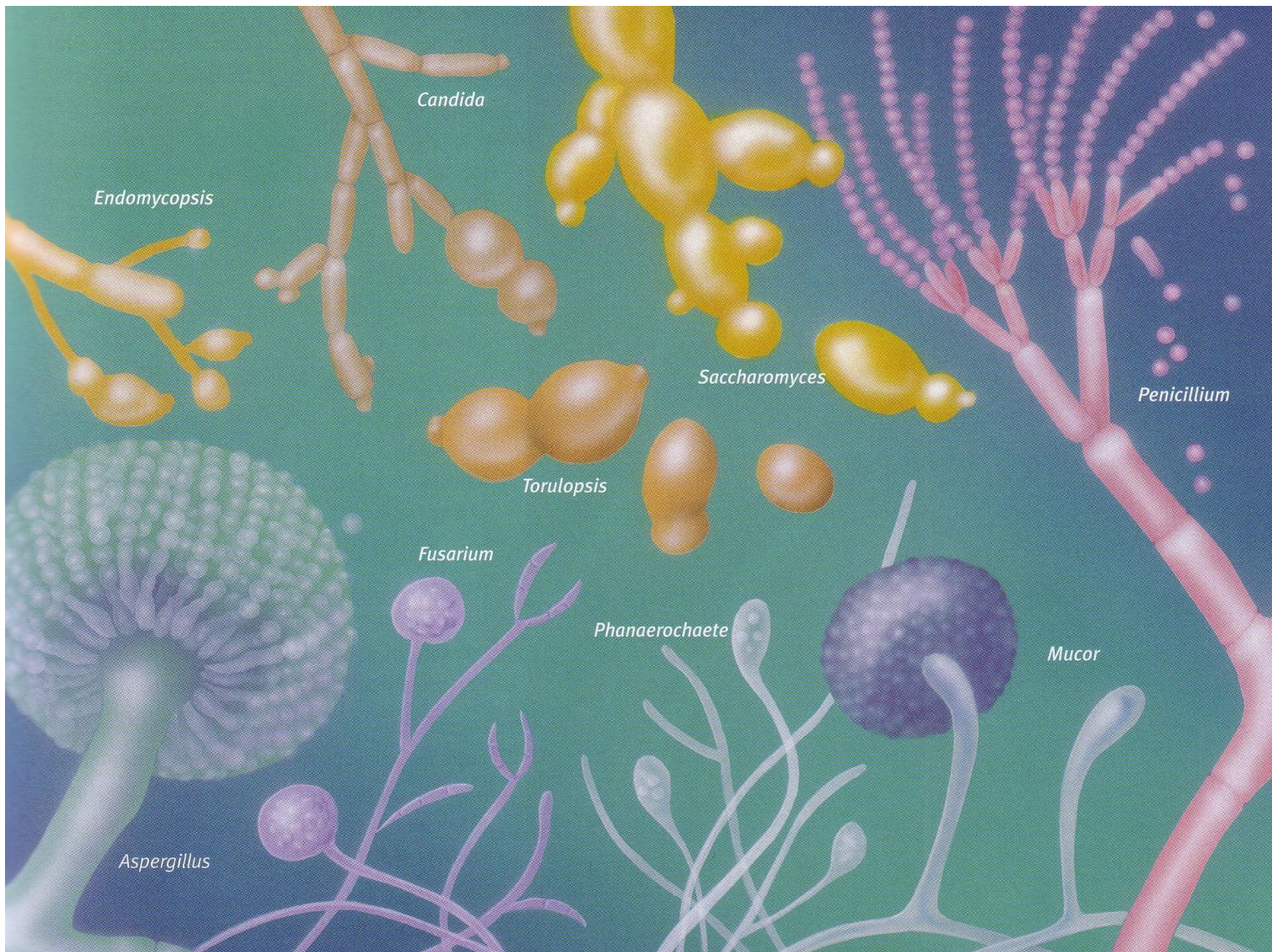


Bacteria colony pattern formation

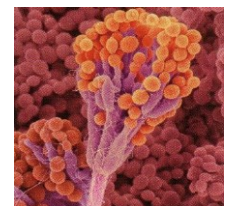
Μύκητες:

- Συνήθως είναι **πολυκύτταροι** όπως απαντώνται στον βιολογικό καθαρισμό.
- Οι **ευρωτομύκητες** (μούχλες) σχηματίζουν **μικύλια** → πολυκύτταρες αποικίες συνενωμένες σε ένα κυτταρικό τοίχωμα.
- Τα περισσότερα είδη είναι **αερόβια** και έχουν **όξινο βέλτιστο pH**.
- Είναι χρήσιμοι για καθαρισμό σε χαμηλά pH και σε συνθήκες με **περιορισμό αζώτου**.
- Εμπειρικός τύπος: $C_{10}H_{17}O_6N$.
- Οι μύκητες είναι **ανεπιθύμητοι** στην **ενεργό ιλύ**, γιατί παρεμποδίζουν την καθίζηση.
- Το μέγεθος τους είναι 5 μm και πάνω.

Ομάδες μυκήτων: Ζύμες (yeasts) και μούχλες (Filamentous Fungi)



***Aspergillus niger* σε άγαρ**

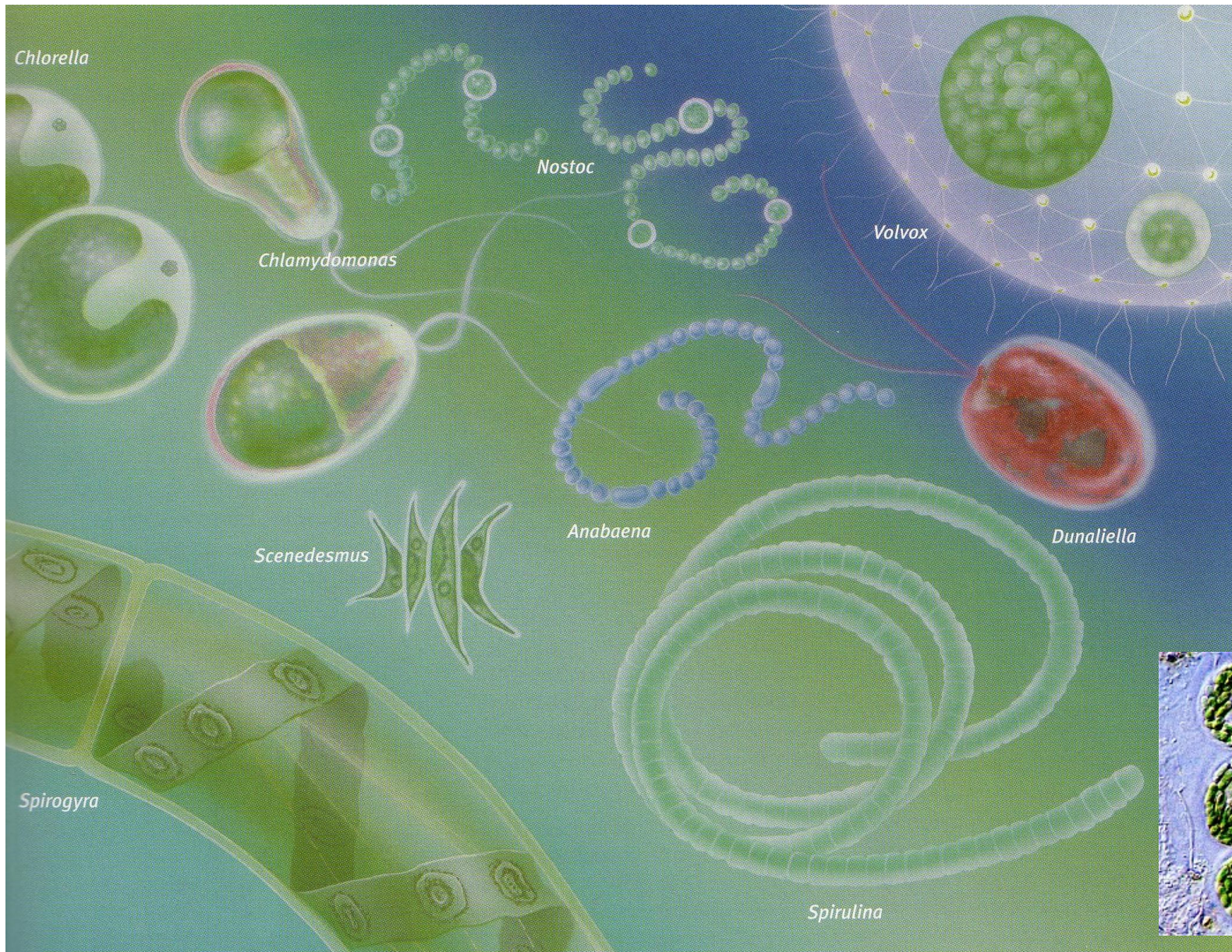


***Penicillium*
(παρασκευή
πενικιλίνης)**

Φύκη:

- **Μονοκύτταροι ή πολυκύτταροι** οργανισμοί που παίρνουν ενέργεια συνήθως με **φωτοσύνθεση** (καταναλώνοντας CO_2 και παράγοντας O_2).
- Λόγω της φωτοσυνθετικής τους ικανότητας συχνά βρίσκονται σε **συμβιωτική** σχέση με τα βακτήρια. Γι' αυτό, είναι χρήσιμα σε δεξαμενές (λίμνες) **παρατεταμένης οξείδωσης**.
- Συχνά είναι ανεπιθύμητα γιατί προκαλούν **άσχημες γεύσεις** και **οσμές** σε φυσικά ύδατα.
- Προκειμένου να **αποφευχθεί** η ανάπτυξή τους, συνήθως φροντίζουμε την **έλλειψη (απομάκρυνση) αζώτου και φωσφόρου**, ή **φωτός**.
- Εμπειρικός τύπος: $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2\text{N}$.
- Το μέγεθος τους ποικίλει από 1 μm μέχρι αρκετά μέτρα.

Φύκη (Algae)



Πρωτόζωα:

- ❑ Είναι **συνήθως μονοκύτταροι οργανισμοί**.
- ❑ Μπορούν να θεωρηθούν **πρόδρομοι των ζώων**.
- ❑ Συνήθως τρέφονται με βακτήρια και είναι αρκετά σημαντικά, μιας και αφαιρούν τα βακτήρια και αιωρούμενα (αδιάλυτα) οργανικά από τα **καθαρισμένα νερά**.
- ❑ Ταξινομούνται με βάση την **κίνηση τους** (αμοιβάδες, μαστιγωτά κ.α.)
- ❑ Ενώ προκαλούν **διάφορες αρρώστιες** στον άνθρωπο όπως ελονοσία και δυσεντερία.
- ❑ Εμπειρικός τύπος: $C_7H_{14}O_3N$
- ❑ Μέγεθος: 2-400 μm

Ιοί:

- ❑ Μικροσκοπικοί οργανισμοί που μπορούν να αναπτυχθούν μόνο **παρασιτικά** σε βάρος άλλων κυττάρων.
- ❑ **Δεν** μπορούν να **συλλέξουν** ή να **αποθηκεύσουν** ελεύθερη ενέργεια και **δεν είναι λειτουργικά ενεργοί** παρά μόνον όταν βρίσκονται μέσα σε **κύτταρα ξενιστές**.
- ❑ Τυπικό φάσμα μεγέθους: 0,01 μm -0,3 μm .

Η κλίμακα των μικροοργανισμών

Ανταγωνίζονται και επιβιώνουν εντός των ορίων που θέτει το περιβάλλον.

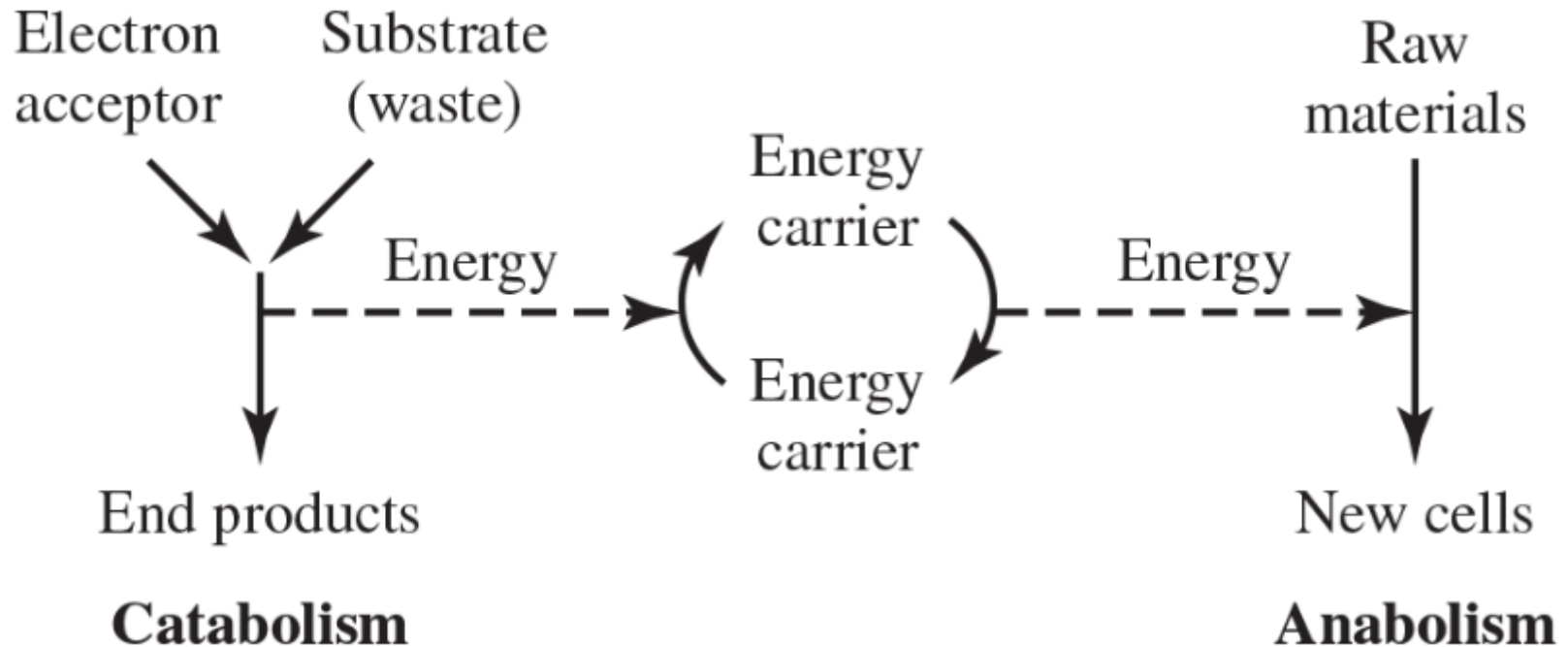
Population dynamics: Χρονικά μεταβαλλόμενη διαδοχή των διαφόρων ειδών στον ανταγωνισμό.

Οι δυναμικές αυτές εξαρτώνται από 2 παράγοντες:

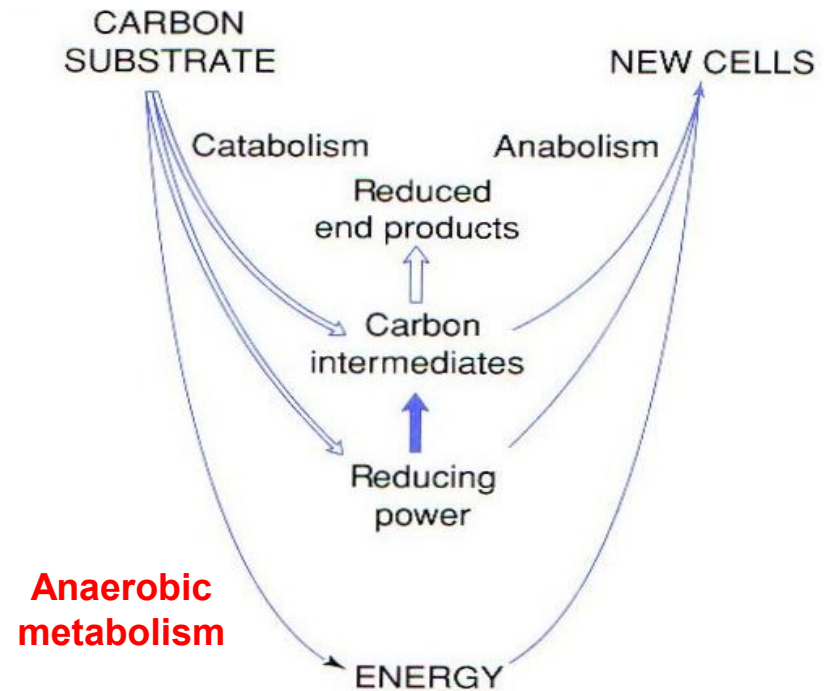
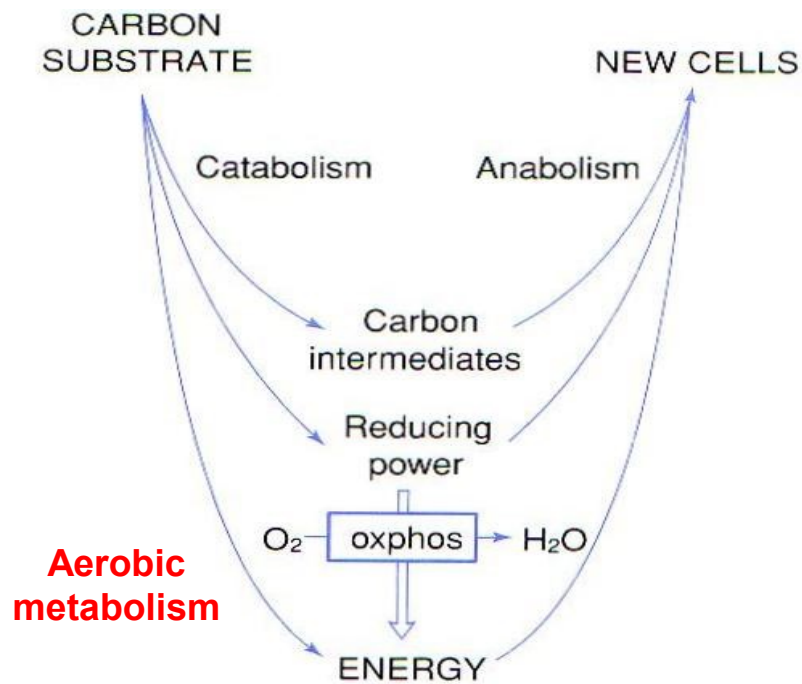
- Τον ανταγωνισμό για τροφή
- Η σχέση θηρευτή - θηράματος



Γενικό σχήμα βακτηριακού μεταβολισμού

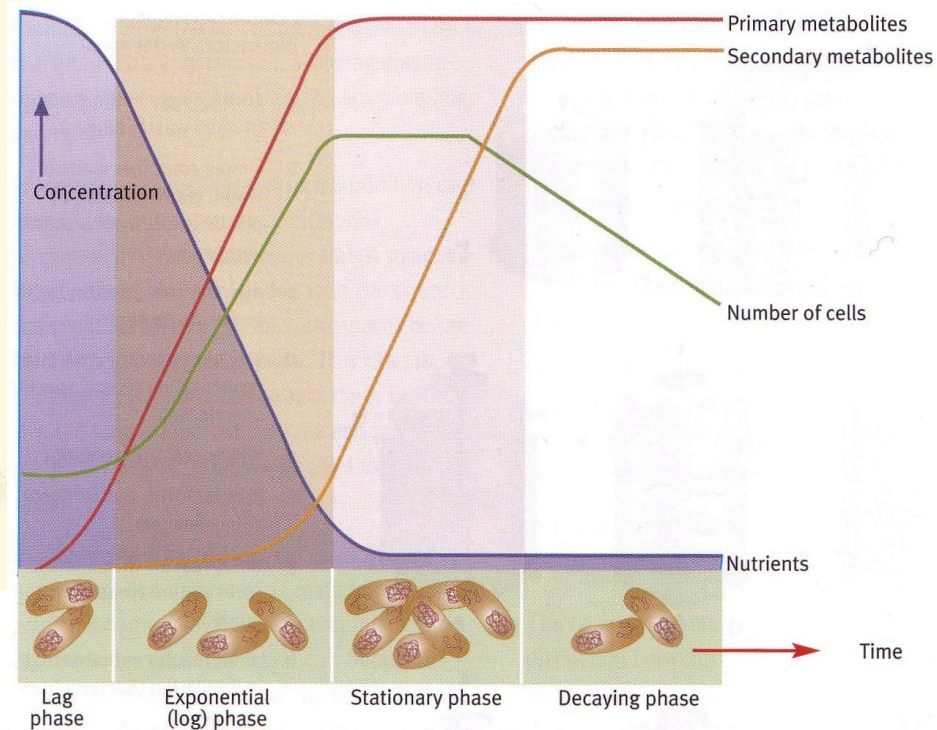
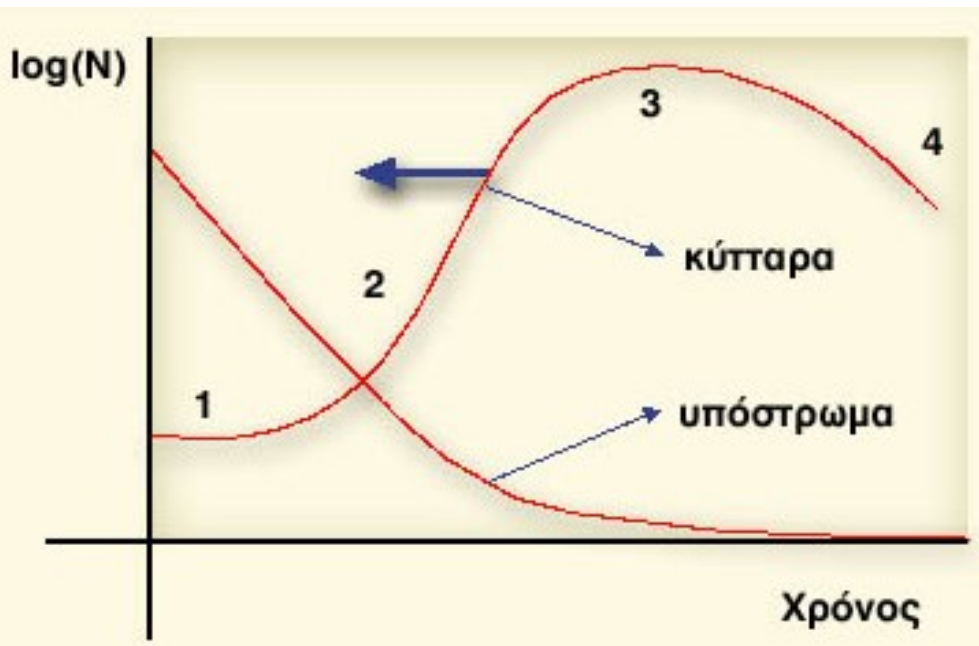


Γενικό σχήμα βακτηριακού μεταβολισμού



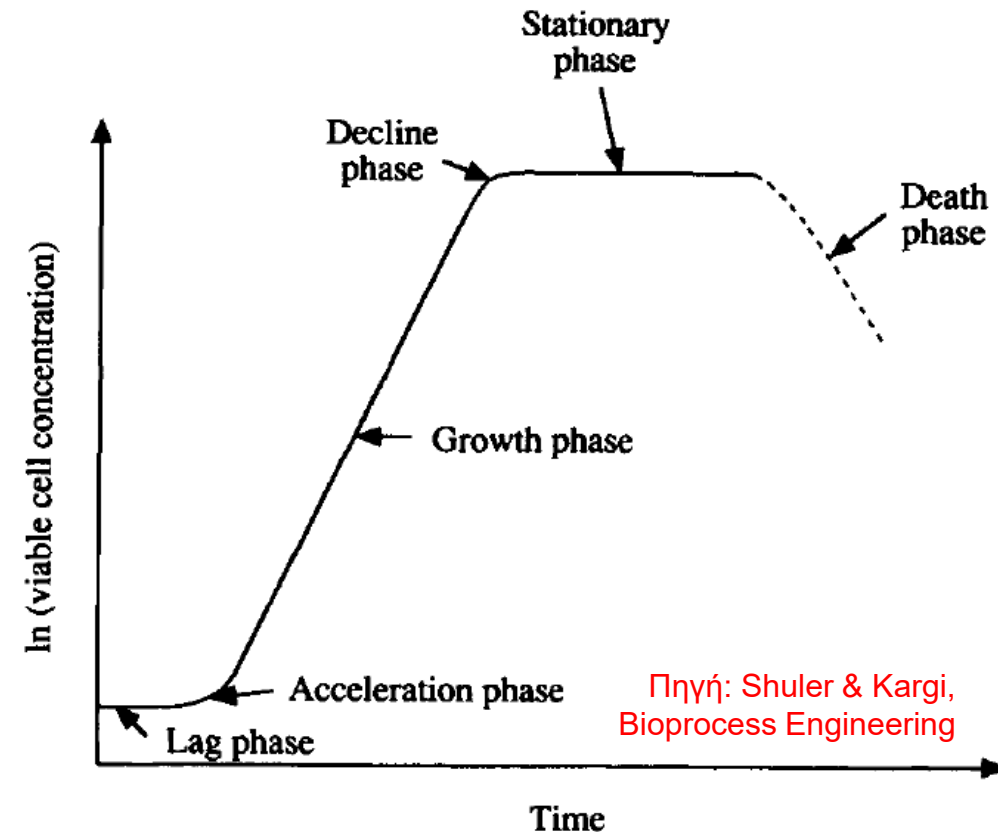
Τυπική καμπύλη ανάπτυξης

- (1) Λανθάνουσα φάση
- (2) Φάση εκθετικής ανάπτυξης
- (3) Στάσιμη φάση
- (4) Φάση απόκλισης (θανάτου)



Φάση απόπτωσης ή θανάτου (death phase)

- ❖ λύση των μικροοργανισμών
- ❖ μείωση της βιομάζας
- ❖ συνήθως κινητική πρώτης τάξης (μ = αρνητικός)



Phase	Description	Specific growth rate
Lag	Cells adapt to the new environment; no or very little growth	$\mu \approx 0$
Acceleration	Growth starts	$\mu < \mu_{\max}$
Growth	Growth achieves its maximum rate	$\mu \approx \mu_{\max}$
Decline	Growth slows due to nutrient exhaustion or build-up of inhibitory products	$\mu < \mu_{\max}$
Stationary	Growth ceases	$\mu = 0$
Death	Cells lose viability and lyse	$\mu < 0$

Ταξινόμηση μοντέλων μικροβιακής ανάπτυξης

Ισορροπημένη ανάπτυξη δλδ σταθερή κυτταρική σύσταση			
«Μέσο» κύτταρο (ηλικιακά)		ΜΗ ΔΟΜΗΜΕΝΑ (unstructured)	ΔΟΜΗΜΕΝΑ (structured)
	ΜΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ (non-segregated)	- Ο κυτταρικός πληθυσμός είναι μία μεταβλητή ενός και μόνο συστατικού. - Όλα τα κύτταρα έχουν την ίδια ηλικία.	- Διακρίνουμε πολλά συστατικά που απαρτίζουν την κυτταρική μάζα. - Όλα τα κύτταρα έχουν την ίδια ηλικία.
	ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ (segregated)	- Θεωρούμε την κυτταρική μάζα ως μία μεταβλητή. - Διακρίνουμε κατανομή ηλικίας κυττάρων.	- Διακρίνουμε πολλά συστατικά που απαρτίζουν την κυτταρική μάζα. - Διακρίνουμε κατανομή ηλικίας κυττάρων.

Μη δομημένα, μη κατανεμημένα μοντέλα κινητικής

- Το πιο απλό μοντέλο είναι το μοντέλο του **Malthus** $\rightarrow r = \mu X$

r : Ο ρυθμός ανάπτυξης μικροοργανισμών

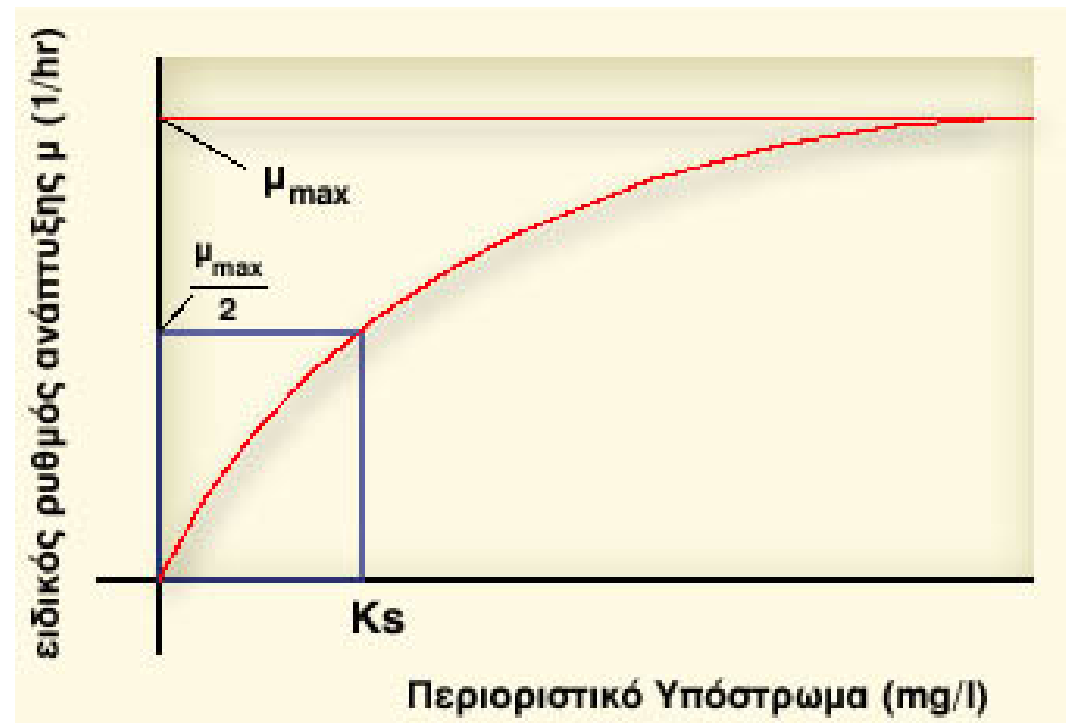
(όταν V :σταθερό $r=dX/dt \rightarrow$ με ολοκλήρωση $X=X_0 e^{\mu t}$)

X : Συγκέντρωση μικροοργανισμών σε g-κυτταρικής μάζας/L

μ : Ο ειδικός ρυθμός μικροβιακής ανάπτυξης (microbial specific growth rate)

Μοντέλο Monod

$$\mu = \frac{\mu_{\max} S}{K_S + S}$$



Όπου:

S : περιοριστικό υπόστρωμα (mg/L)

K_S : σταθερά κορεσμού (ίση με την συγκέντρωση του υποστρώματος στην οποία ο ρυθμός ανάπτυξης είναι ίσος με το ήμισυ του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης)

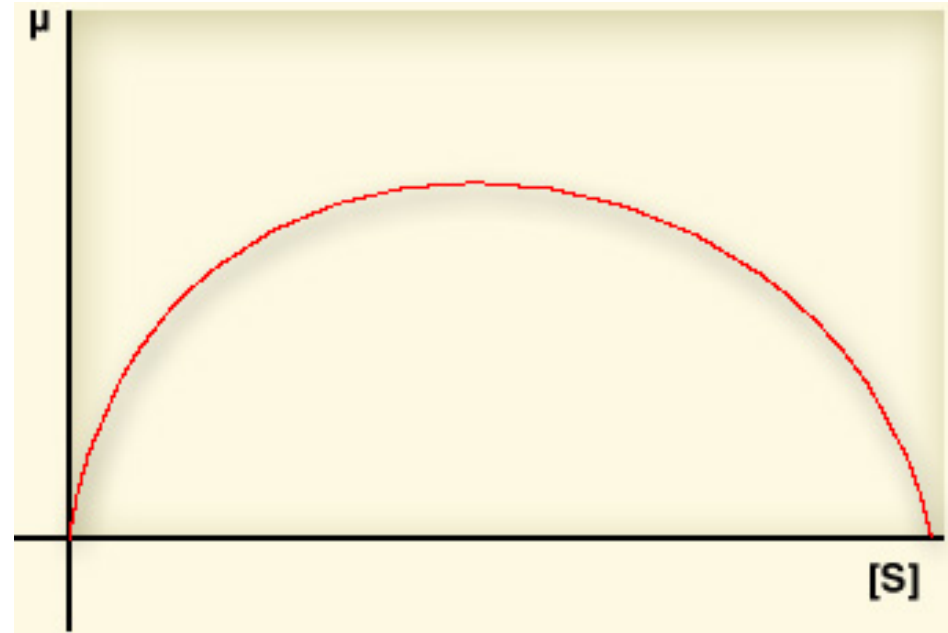
$$K_S = [S] \text{ όταν } \mu = \frac{1}{2} \mu_{\max}$$

$\mu_{\max}$: μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης επιτυγχάνεται όταν $[S] \gg K_S$

Μοντέλο παρεμπόδισης υποστρώματος

Μοντέλο Haldane - Andrews (1968)
Εισαγωγή της σταθεράς
παρεμπόδισης του υποστρώματος K_I

$$\mu = \frac{\mu_{\max}}{1 + \frac{K_S}{S} + \frac{S}{K_I}}$$

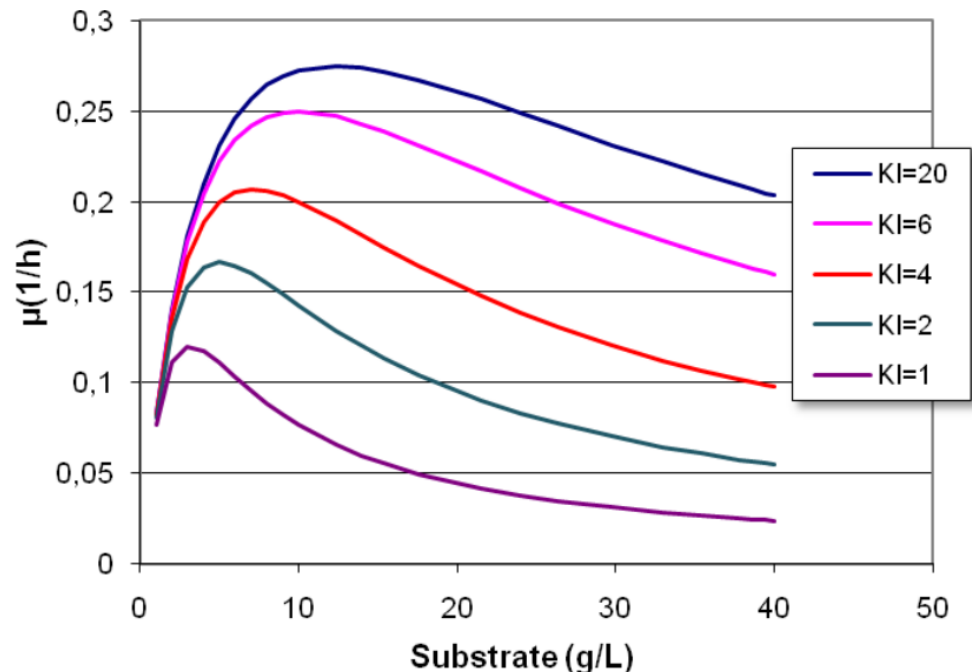


- Μερικές φορές σε **υψηλές συγκεντρώσεις υποστρώματος**, η ανάπτυξη αναστέλλεται και ο ρυθμός ανάπτυξης επηρεάζεται από το $[S]$.
- Το μοντέλο αναστολής (ή παρεμπόδισης) της μικροβιακής ανάπτυξης είναι **ανάλογο του μοντέλου ενζυμικής αναστολής**.

Μοντέλο παρεμπόδισης υποστρώματος

- Η συμπεριφορά της **εξίσωσης Haldane** απεικονίζεται στο γράφημα
 - για **διαφορετικές** σταθερές αναστολής υποστρώματος (K_I) σε μονάδες g/L)
 - ενώ η σταθερά κορεσμού υποστρώματος (K_S) παραμένει σταθερή.
- Καθώς το K_I αυξάνει το αποτέλεσμα αναστολής υποστρώματος μειώνεται και η εξίσωση Haldane **συγκλίνει στην εξίσωση Monod**
 - Δλδ ο όρος S^2 / K_I συγκλίνει στο μηδέν.

$$\mu_g = \frac{\mu_m S}{K_s + S + S^2 / K_I}$$

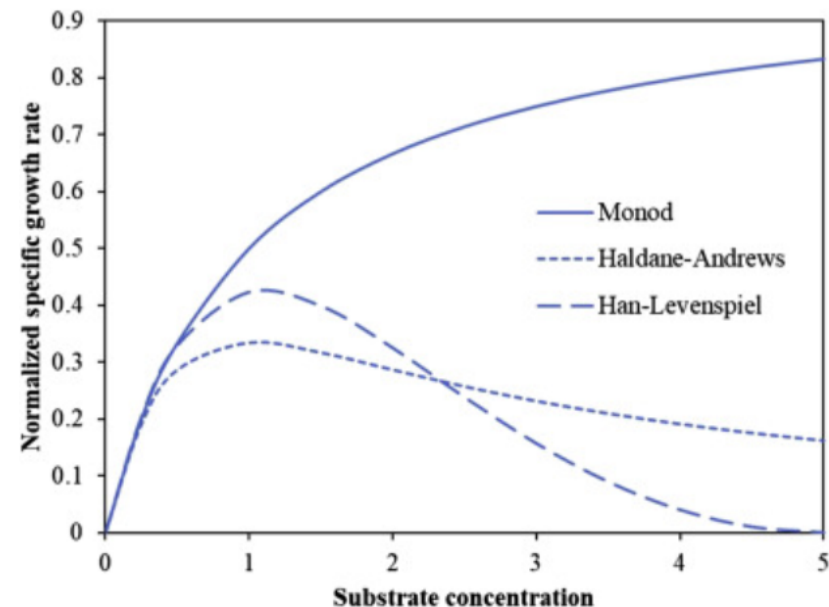


Μοντέλο παρεμπόδισης υποστρώματος

- Το μοντέλο του Han–Levenspiel περιγράφει την παρεμπόδιση υποστρώματος:

$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{S+K_S} \left(1 - \frac{S}{S_{max}}\right)^n$$

- Όπου το S_{max} είναι η μέγιστη συγκέντρωση υποστρώματος όπου το $\mu = 0$
- Ενώ το m και n είναι σταθερές παράμετροι της εξίσωσης παρεμπόδισης



Η αναστολή από το υπόστρωμα μπορεί να αποφευχθεί με αργή, σταδιακή προσθήκη του υποστρώματος στο θρεπτικό υλικό.

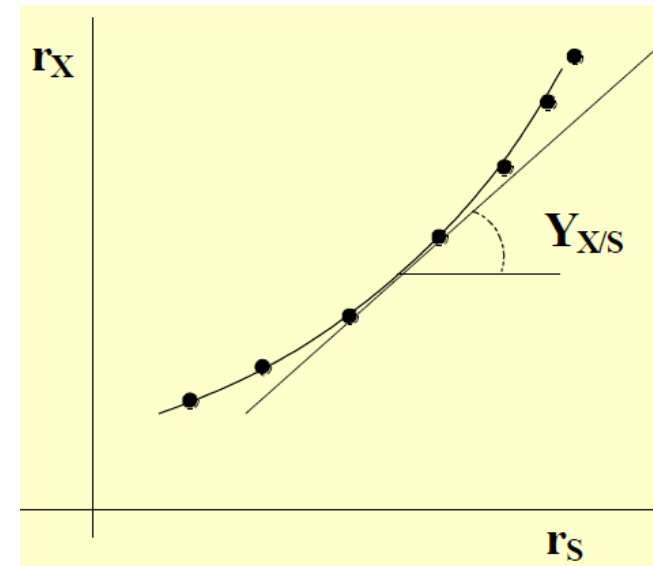
✓ Ο περισσότερο γνωστός συντελεστής απόδοσης είναι ο **συντελεστής απόδοσης ανάπτυξης** $Y_{X/S}$

$$Y_{X/S} = \rightarrow \frac{g_{(\text{δημιουργηθείσας βιομάζας})}}{g_{(\text{καταναλωθέντος υποστρώματος})}} = \frac{\Delta X}{\Delta S} = \frac{\Delta X / \Delta t}{\Delta S / \Delta t} = \frac{r_X}{r_S}$$

$$\rightarrow r_S = \frac{r_X}{Y_{X/S}} = \frac{\mu X}{Y_{X/S}}$$

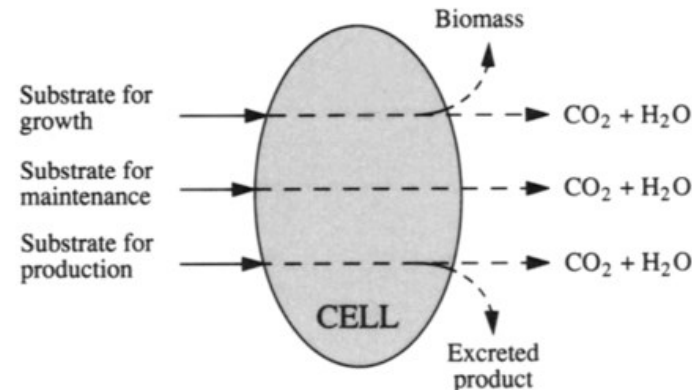
Ο συντελεστής $Y_{X/S}$ **δεν παραμένει σταθερός** αλλά **αλλάζει όταν αλλάζουν οι συνθήκες ανάπτυξης**. Λόγω:

- Μέρος για βιοσύνθεση νέων κυττάρων και εκλυόμενων κυτταρικών προϊόντων
- Μέρος του υποστρώματος για συντήρηση των μικροοργανισμών
- Μέρος για την παραγωγή ενέργειας (ATP)

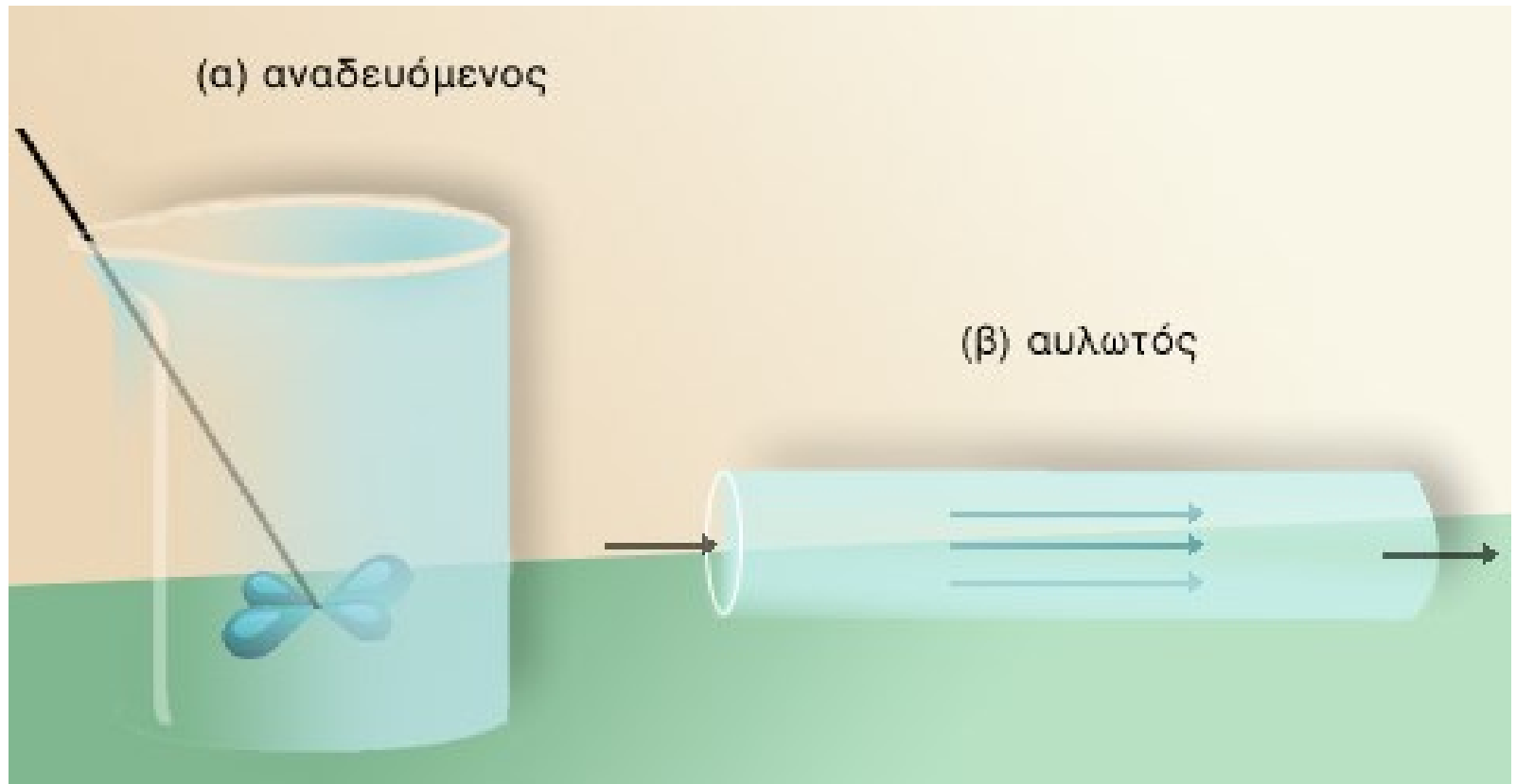


$$\Delta S = \Delta S_{\text{assimilation into biomass}} + \Delta S_{\text{assimilated into an extracellular product}} + \Delta S_{\text{growth energy}} + \Delta S_{\text{maintenance energy}}$$

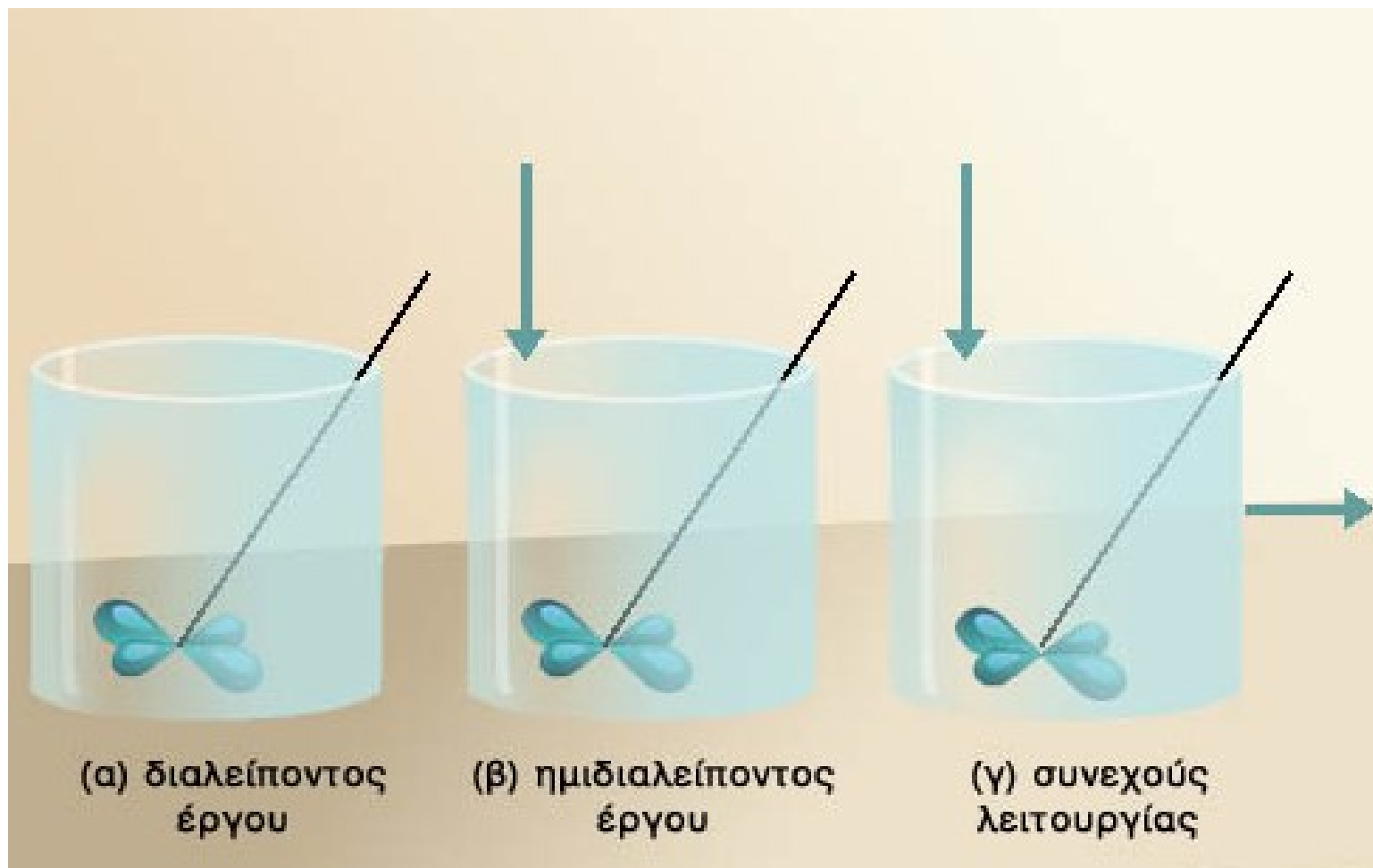
Ως υπόστρωμα S θεωρούμε το περιοριστικό θρεπτικό συστατικό, το οποίο θα εκλείψει πρώτο αν η αντίδραση προχωρήσει μέχρι τέλους.



Τύποι ιδανικών βιοαντιδραστήρων



Τρόποι λειτουργίας αναδευόμενων βιοαντιδραστήρων

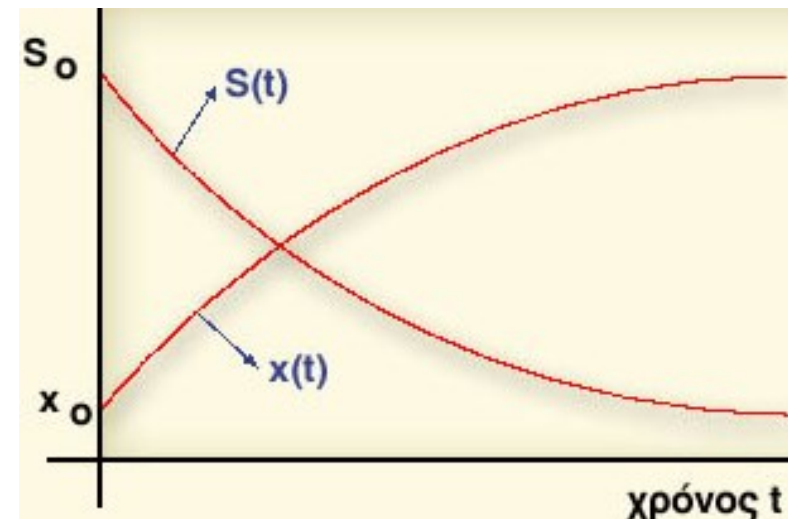
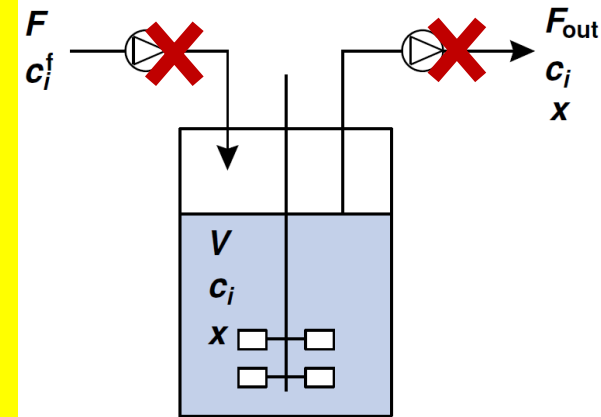


Αντιδραστήρας Διαλείποντος Έργου

Τα ισοζύγια για την βιομάζα και το υπόστρωμα παίρνουν την μορφή:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} x - k_d x \quad \frac{dS}{dt} = - \frac{1}{Y} \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} x$$

με αρχικές συνθήκες $x(0) = x_0$, $S(0) = S_0$



Αντιδραστήρας Συνεχούς Λειτουργίας (CSTR)

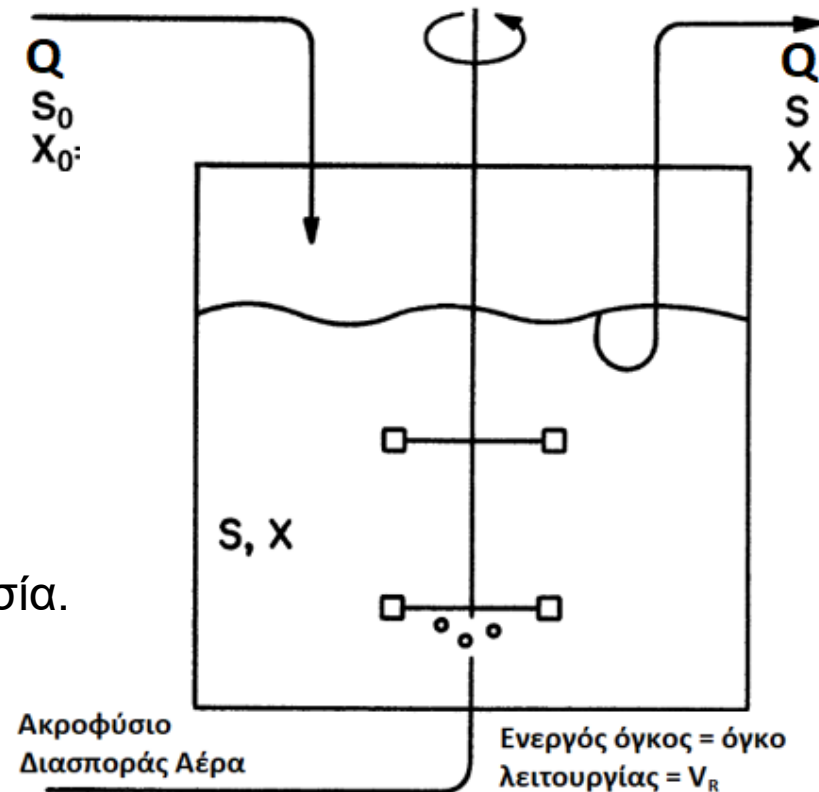
Τα ισοζύγια μάζας σ' αυτή την περίπτωση είναι:

$$V \frac{dX}{dt} = QX_0 - QX + \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} X \cdot V - k_d X \cdot V$$

$$V \frac{dS}{dt} = QS_0 - QS - \frac{1}{Y_{X/S}} \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} X \cdot V$$

όπου S_0 και X_0 οι συγκεντρώσεις στην τροφοδοσία.

Η παραγωγή εξωκυτταρικού προϊόντος είναι αμελητέα.



Διαιρώντας με τον όγκο, V τις παραπάνω σχέσεις και ορίζοντας τον ρυθμό αραίωσης:

$$D = \frac{Q}{V} = \frac{1}{\theta}$$

Dilution rate: αντίστροφος του χρόνου παραμονής θ .

Για μόνιμη κατάσταση: $\frac{dS}{dt} = \frac{dX}{dt} = 0$

$$V \frac{dS}{dt} = QS_0 - QS - \frac{1}{Y_{X/S}} \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} X \cdot V \quad \xrightarrow{\quad} \quad D(S_0 - S) - \frac{1}{Y_{X/S}} \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} X = 0$$

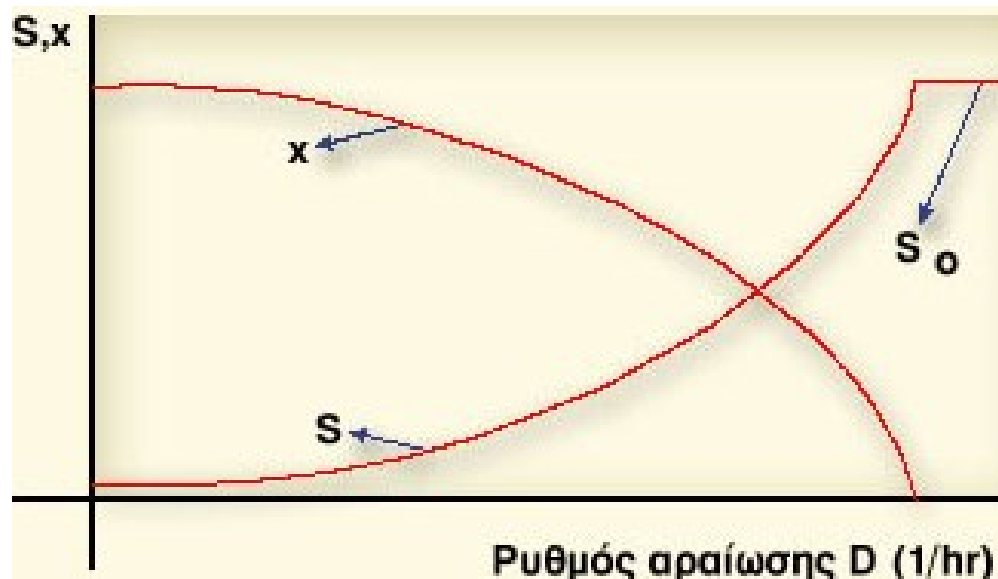
$$V \frac{dX}{dt} = QX_0 - QX + \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} X \cdot V - k_d X \cdot V \quad \xrightarrow{\quad} \quad D(X_0 - X) + \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} X - k_d X = 0$$

Αν δεν περιέχονται οργανισμοί στην τροφοδοσία ($X_0=0$) έχουμε:

$$D(X_0 - X) + \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} X - k_d X = 0 \quad \xrightarrow{X_0=0} \quad D = \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} - k_d \Rightarrow S = \frac{(D + k_d) K_s}{\mu_{\max} - (D + k_d)}$$

Συνάρτηση του D με το S

Εάν $D > D_w$ οι οργανισμοί δεν μπορούν να αναπτυχθούν στον αντιδραστήρα μιας και αφαιρούνται με **ρυθμό μεγαλύτερο** απ' ότι μπορούν να **αναπτυχθούν** (D_w ρυθμός αραίωσης έκπλυσης).



Συγκεντρώσεις
υποστρώματος και
βιομάζας για διάφορα
D σε CSTR

Βιοαντιδραστήρας Συνεχούς Λειτουργίας

Βέλτιστος ρυθμός αραίωσης (Π.7.1)

- Η παραγωγικότητα κυτταρικής μάζας (Q_X) ενός χημειοστάτη υπολογίζεται:

- $Q_X = (Q/V) \cdot X = D \cdot X$

- $Q_X = D \left(S_0 - \frac{DK_S}{\mu_{max} - D} \right) Y_{X/S}$ για μόνιμες συνθήκες $\frac{dS}{dt} = \frac{dX}{dt} = 0$

$$\left. \begin{aligned}
 D(S_0 - S) &= \frac{1}{Y_{X/S}} \frac{\mu_{max} S}{K_s + S} X \xrightarrow{\mu=D} X = Y_{X/S} (S_0 - S) \\
 S &= \frac{(D + k_d) K_s}{\mu_{max} - (D + k_d)} \xrightarrow{\text{Για } k_d \sim 0} S = \frac{D K_s}{\mu_{max} - D}
 \end{aligned} \right\} X = \left(S_0 - \frac{DK_S}{\mu_{max} - D} \right) Y_{X/S}$$

Βιοαντιδραστήρας Συνεχούς Λειτουργίας

Βέλτιστος ρυθμός αραίωσης (Π.7.1)

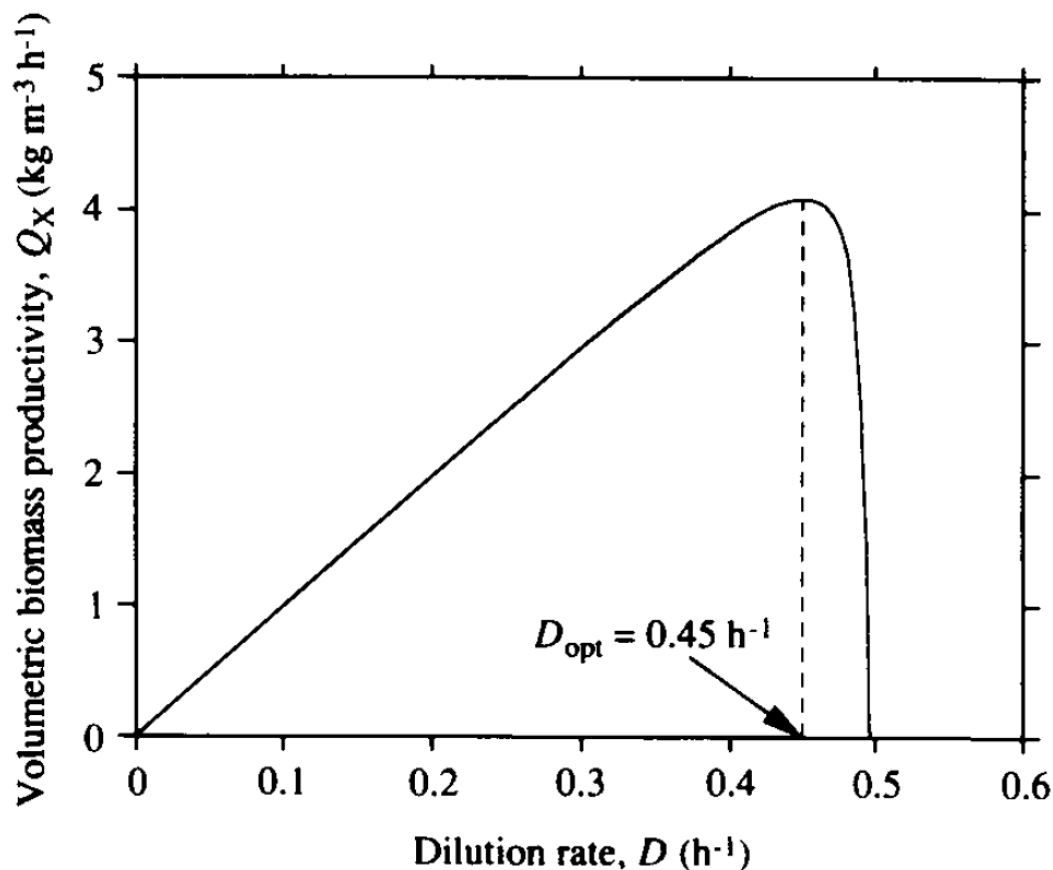
Παραγωγικότητα κυτταρικής μάζας (Q_X)

$$Q_X = D \left(S_0 - \frac{DK_S}{\mu_{max} - D} \right) Y_{X/S}$$

- Η τιμή της **ταχύτητας της αραίωσης** του αντιδραστήρα που **μεγιστοποιεί** την παραγωγικότητα προκύπτει όταν η παράγωγος του Q_X ως προς D τεθεί ίση με το 0 ($dQ_X/dD = 0$)
- D_{opt} για βέλτιστο ρυθμό παραγωγής βιομάζας Q_{Xopt} :

$$D_{opt} = \mu_m \left(1 - \sqrt{\frac{K_s}{K_s + S_0}} \right)$$

Ογκομετρική παραγωγικότητα βιομάζας σε σταθερή κατάσταση ως συνάρτηση του ρυθμού αραίωσης σε χημειοστάτη



Η καμπύλη υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες παραμέτρους:

$$\mu_{\max} = 0.5 \text{ h}^{-1},$$

$$K_S = 0.2 \text{ kg m}^{-3},$$

$$Y_{x/s} = 0.5 \text{ kg kg}^{-1} \text{ and}$$

$$S_0 = 20 \text{ kg m}^{-3}.$$

$$D_{\text{opt}} = \mu_m \left(1 - \sqrt{\frac{K_s}{K_s + S_0}} \right)$$

Ορισμοί

Ο ρυθμός χρήσης υποστρώματος για CSTR: $r_{su} = -\frac{1}{Y} \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} X = D(S - S_0)$

Ο Ειδικός ρυθμός χρήσης υποστρώματος (ανά g βιομάζας):

$$U = \frac{D(S_0 - S)}{X}$$

Παρατηρούμενη απόδοση:

$$Y_{\text{obs}} = \frac{YU - k_d}{U} = \frac{DY}{D + k_d}$$

Λόγος τροφής/μικροοργανισμών:

$$F / M = \frac{DS_0}{X}$$

Αποδοτικότητα διεργασίας:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100$$

Προσδιορισμός κινητικών παραμέτρων

- Σε CSTRs μετρώντας για διάφορα D τα S και X
- Θα χρειαστούμε τα διαγράμματα:

$$-D \quad V_S \quad -r_{su}/X \qquad D = -\frac{r_{su}}{X} Y - k_d$$

$$-1/\mu \quad V_S \quad 1/S \qquad \frac{X}{D(S_0 - S)Y} = \frac{K_s}{\mu_{\max}} \frac{1}{S} + \frac{1}{\mu_{\max}}$$

$X : [VSS]$

Παράδειγμα 1

- Βρείτε τις τιμές των συντελεστών $\mu_{\max}$, K_S , $Y_{X/S}$ και k_d από τα παρακάτω δεδομένα σε ένα CSTR με $S_0=300\text{mg/L}$ (BOD_5).

	D (d ⁻¹)	S (mg/L)	X (mg/L)
1	0.031	7	128
2	0.500	13	125
3	0.625	18	133
4	0.909	30	129
5	0.909	41	121

Λύση Παραδείγματος

	D (d ⁻¹)	S (mg/L)	X (mg/L)
1	0.031	7	128
2	0.500	13	125
3	0.625	18	133
4	0.909	30	129
5	0.909	41	121

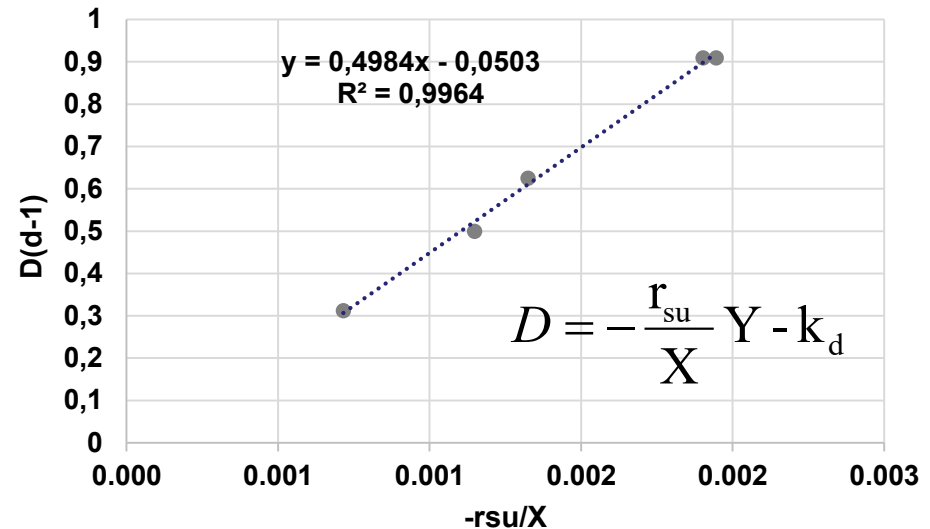
- Κατασκευάζω το διάγραμμα D vs $-r_{su}/X = D(S_0 - S)/X$

	D (d ⁻¹)	D(S ₀ -S)/X (d ⁻¹)
1	0.313	0.072
2	0.500	1.148
3	0.625	1.325
4	0.909	1.903
5	0.909	1.946

$$Y_{X/S} = 0,498$$

$$K_d = 0,05$$

Μονάδες;;;



- Κατασκευάζω το διάγραμμα $1/\mu = X/(DY(S_0 - S))$ vs $1/S$

	1/S (mg/L) ⁻¹	1/μ (d)
1	0.143	2.938
2	0.077	1.830
3	0.056	1.586
4	0.033	1.105
5	0.024	1.080

$$\mu_{max} = 1/0,64 = 1,56 \text{ d}^{-1}$$

$$K_S/\mu_{max} = 16,01 \Rightarrow K_S = 1,56 * 16,01 = 24,96 \text{ mg/L}$$

