



# Αρχές Βιοτεχνολογίας Τροφίμων

## Ενότητα 6: Συνεχής Καλλιέργεια (Continuous Culture)(2/5), 2ΔΩ

Τμήμα: Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Διδάσκων: Δρ. Σεραφείμ Παπανικολαου



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ





# Μαθησιακοί Στόχοι

- Ημισυνεχής τροφοδοτούμενη καλλιέργεια
- Συνεχής καλλιέργεια
- Στοιχεία τεχνολογίας
- Στοιχεία ενζυμικών διεργασιών
- Προτυποποίηση (μοντελοποίηση) βιοδιεργασιών



# Λέξεις Κλειδιά

- Ημισυνεχής τροφοδοτούμενη καλλιέργεια
- Συνεχής καλλιέργεια
- Ενζυμική τεχνολογία
- Προτυπτοποίηση (μοντελοποίηση) βιοδιεργασιών



# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 1/1

- Τεχνική κατά την οποία υπάρχει συνεχής προσθήκη θρεπτικού διαλύματος με τον ίδιο ρυθμό με τον οποίο μίγμα καλλιέργειας (βιομάζα, μη καταναλωθέν υπόστρωμα, προϊόντα) απομακρύνεται από το βιολογικά αντιδραστήρα.



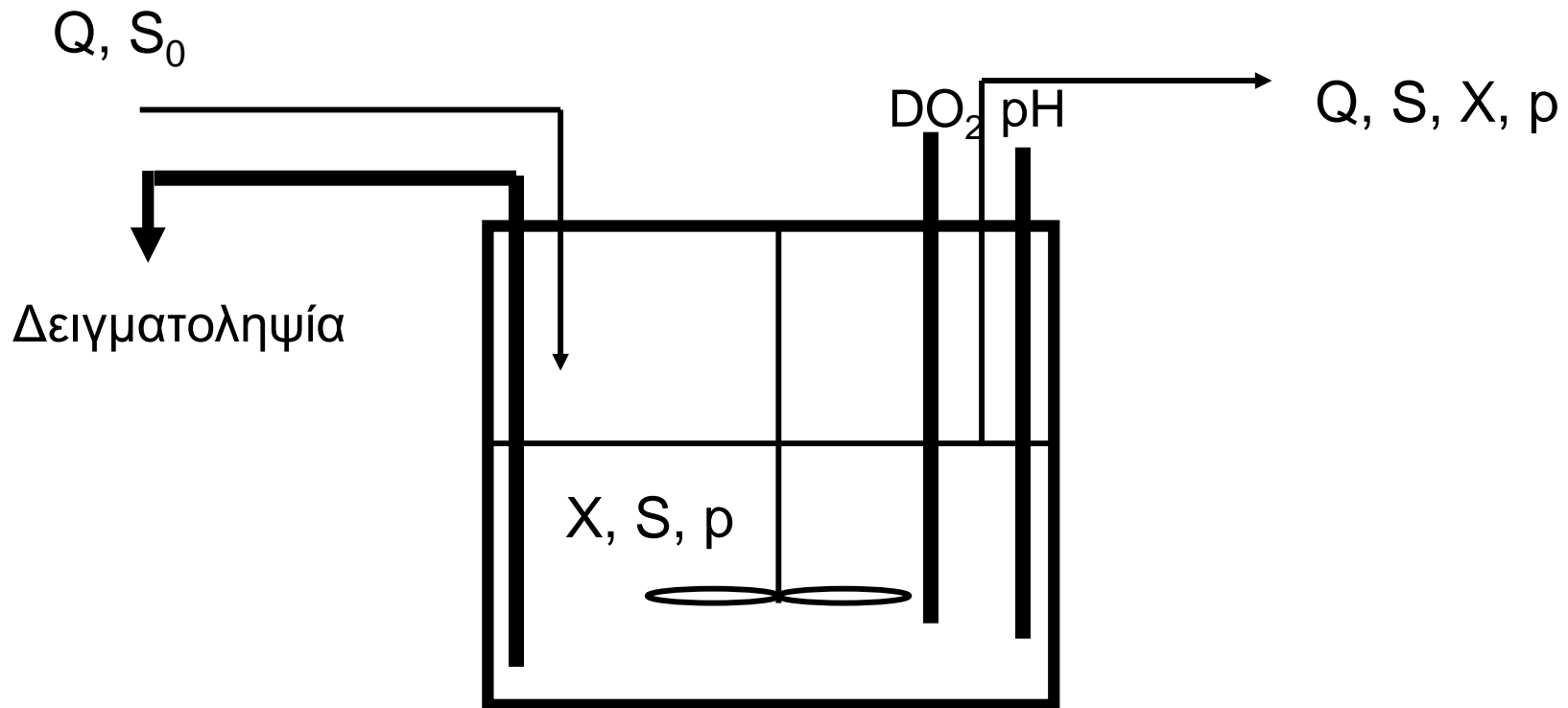
- Πληθυσμός δεχόμενος:
  - Ευνοϊκή επίδραση καινούργιου στείρου θρεπτικού υλικού
  - Δυσμενή επίδραση απορροής καλλιέργειας από την έξοδο



*Κατάσταση Δυναμικής Ισορροπίας (Κ.Δ.Ι.) (Steady-State)*



# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 2/1



- Ο ενεργός όγκος της ζύμωσης πρέπει να παραμένει σταθερός.



# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 3/1

- Αναλόγως με τον τρόπο επίτευξης Κ.Δ.Ι. έχουμε δύο τύπους συνεχούς καλλιέργειας:
  - **Νεφελοστάτης (Θολοστάτης) (Turbidostat)**
  - **Χημειοστάτης (Chemostat)**



# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 4/1

## Νεφελοστάτης

- Είσοδος στο βιοαντιδραστήρα ενός υλικού πλήρους (χωρίς περιοριστικό παράγοντα).
- Ροή εισόδου ρυθμιζόμενη από πυκνότητα καλλιέργειας.
- Ύπαρξη φωτοηλεκτρικού κυττάρου **διεγχειρόμενου αναλόγως της πυκνότητας μικροβιακής καλλιέργειας:**

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΥΘΜΟΥ ΑΡΑΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟ

- Όταν Ο. D. ↑ ενεργοποίηση αντλίας εισόδου υλικού.



# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 5/1

## Χημειοστάτης

- Είσοδος στο βιοαντιδραστήρα ενός υλικού με περιοριστικό παράγοντα και σταθερή ροή ( $Q$ ).
- Κάποια στιγμή επέρχεται Κ.Δ.Ι.
- Χρόνος παραμονής ( $tr$  – residence time)

$$tr = V/Q \quad (7)$$

- **Επίτευξη Κ.Δ.Ι. μετά από παρέλευση 5  $tr$**

## ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

$$E + Cr = S + \frac{d[\quad]}{dt} \quad (2)$$





# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 6/1

- Τύχη M/B Πληθυσμού Εξαρτώμενη από Τιμές  $\mu$  Και  $D$

$$r_x''' \cdot V = Q \cdot X + \frac{d[X \cdot V]}{dt} \Rightarrow \mu \cdot X = D \cdot X + \frac{dX}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{dX}{dt} = (\mu - D) \cdot X \quad (8)$$

- Για  $\mu > D$

- Πληθυσμός συσσωρευόμενος στο δοχείο καλλιέργειας

- Για  $\mu < D$

- Πληθυσμός εκπλυνόμενος (wash-out) από το δοχείο καλλιέργειας



# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 7/1

## Ισοζύγιο Υποστρώματος

- Για  $\frac{dX}{dt} = 0$

$$-\mu = D$$

–Πληθυσμός σε Κ.Δ.Ι. στο δοχείο καλλιέργειας

$$E + Cr = S + \frac{d[\ ]}{dt} \quad (2)$$

$$QS_0 - r_s''' \cdot V = QS + \frac{d(SV)}{dt} \Rightarrow r_s''' = D \cdot (S_0 - S) \quad (9)$$



# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 8/1

$$Y_{X/S} = \frac{r_X}{r_S} \Rightarrow r_S = \frac{r_X}{Y_{X/S}} \Rightarrow r_S = \frac{\mu \cdot X}{Y_{X/S}} \quad (10)$$

Εκ των (9) & (10) λαμβάνεται:

$$D \cdot (S_0 - S) = \frac{\mu \cdot X}{Y_{X/S}} \quad (11)$$

η οποία στην Κ.Δ.Ι. δίδει:

$$X = Y_{X/S} \cdot (S_0 - S) \quad (12)$$



# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 9/1

- Η τελική συγκέντρωση της βιομάζας ρυθμίζεται από τη **συγκέντρωση εισόδου του περιοριστικού της αύξησης παράγοντα**.
- Η βασική εξίσωση του *Monod* στην Κ.Δ.Ι. παίρνει την εξής μορφή:

$$D = D_c \cdot \frac{S}{K_s + S} \quad (13)$$

όπου  $D_c$  ο ρυθμός αραίωσης που αντιστοιχεί στο **μέγιστο ειδικό ρυθμό αύξησης**.

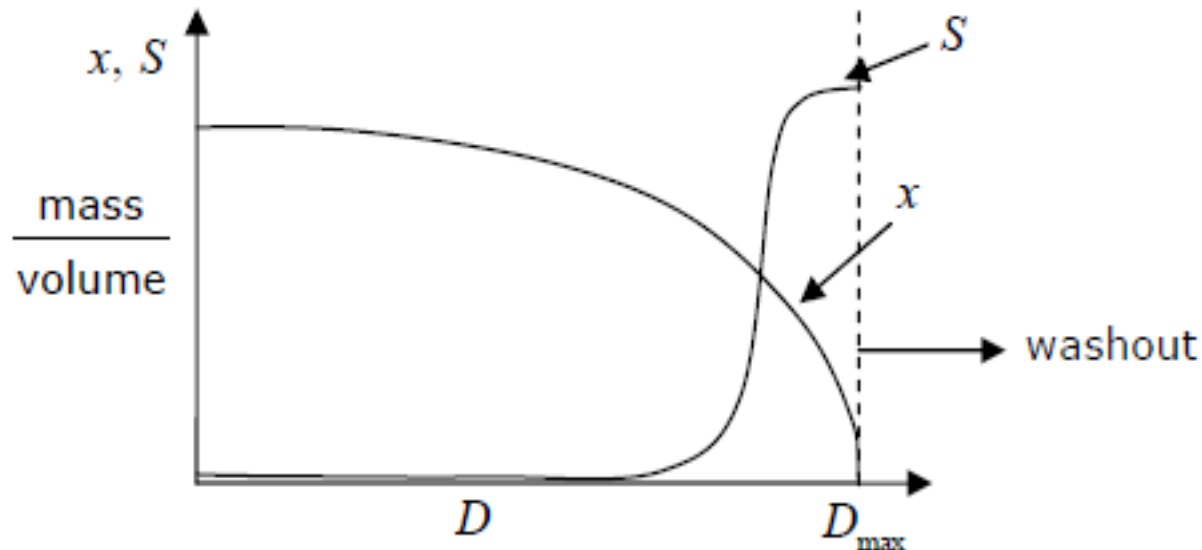


# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 10/

Εκ των Σχέσεων (12) και (13) Λαμβάνεται ότι

$$X = Y_{X/S} \cdot \left( S_0 - \frac{K_S \cdot D}{D_c - D} \right) \quad (14)$$

## Γραφική απεικόνιση





# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 11/1

- Είναι προφανές ότι η καλλιέργεια δεν μπορεί να «τρέξει» με  $D > D_c (= \mu_{\max})$



- «Έκπλυση» (wash-out) της καλλιέργειας από το δοχείο καλλιέργειας.
- Παραγωγικότητα βιομάζας ή μεταβολικού προϊόντος ( $P_P$  ή  $P_X$ ).
- Γινόμενο  $[ ] X$  ή  $P$  επιτευχθέν στην Κ.Δ.Ι. επί τον αντίστοιχο ρυθμό αραίωσης (μονάδες  $g/l \times h$ ).



# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 12/

Ισοζύγιο Μεταβολικού Προϊόντος

$$P_X = X \cdot D(15)$$

$$P_P = P \cdot D(16)$$

Χαρακτηριστική σχέση συνεχούς συστήματος

$$E + Cr = S + \frac{d[\ ]}{dt} (2)$$

$$r_P''' \cdot V = QP + \frac{d(PV)}{dt} \Rightarrow r_P''' = D \cdot P(17)$$



K.Δ.Ι.



# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 13/

- Ειδικοί ρυθμοί κατανάλωσης υποστρώματος & παραγωγής μεταβολικού προϊόντος ( $q$ ) για το συνεχές σύστημα στην Κ.Δ.Ι., απευθείας επαγόμενοι από τα ισοζύγια μάζας.

Ειδικοί ρυθμοί ( $q$ )

Χαρακτηριστική σχέση συνεχούς συστήματος

$$q_P = \frac{r_P'''}{X} = \frac{D \cdot P}{X} \quad (18)$$

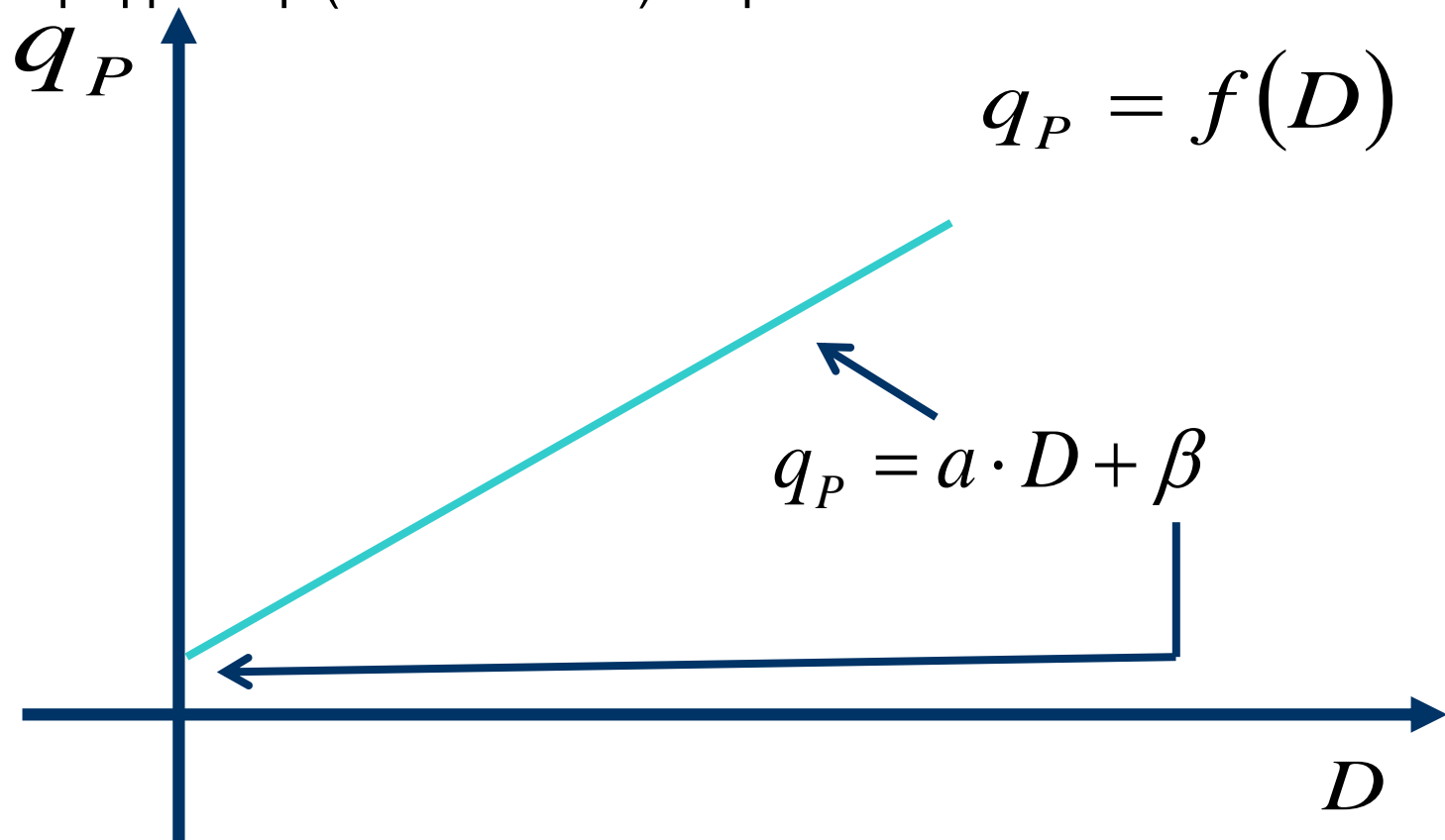
$$q_S = \frac{r_S'''}{X} = \frac{D \cdot (S_0 - S)}{X} \quad (19)$$





# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 14/

- Με βάση τα προηγούμενα, μπορεί να γίνει γραφικός προσδιορισμός του κατά πόσο ένα προϊόν είναι συνδεδεμένο ή όχι με την αύξηση αφού θα εκφράζαμε το  $q_p$ , το οποίο προσδιορίζεται εύκολα σε συνάρτηση με το  $\mu$  (το οποίο =  $D$ ) στην Κ.Δ.Ι.





# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 15/

- Στα συνεχή συστήματα καλλιέργειας ενίοτε υπάρχει απόκλιση από το πρότυπο του Monod, όταν έχουμε περιοριστικό για την αύξηση παράγοντα το **άζωτο, κάλιο, μαγνήσιο** κλπ.
- Ενδέχεται να ακολουθείται επίσης διαφορετικό πρότυπο από αυτό του Monod
- Υπάρχει περίπτωση στη Βιοχημική Μηχανική να εφαρμοστεί **χημειοστατικό σύστημα 2 βαθμίδων**



- Η 2η βαθμίδα χρησιμοποιείται για την αύξηση της [ ] προϊόντος, ενώ η 1η είχε βοηθήσει στην αύξηση της παραγωγικότητας
- Οι εξισώσεις στη 2η βαθμίδα γίνονται αντιστοίχως ως προς την 1η



# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 16/

- Για να αυξηθεί [ ] βιομάζας & παραγωγικότητα του συστήματος δύναται να εφαρμοστεί χημειοστατικό σύστημα με ανακύκλωση κυττάρων.



- «Ένεση» της καλλιέργειας με συγκέντρωση κυττάρων προερχομένων από το διαχωριστήρα



- Δυνάμενος να εργάζεται σε  $D > \mu_{max}$ .
- Αυξημένη κατανάλωση υποστρώματος λόγω  $\uparrow$  [ ] βιομάζας.

**Χρήση στην επεξεργασία των αποβλήτων**



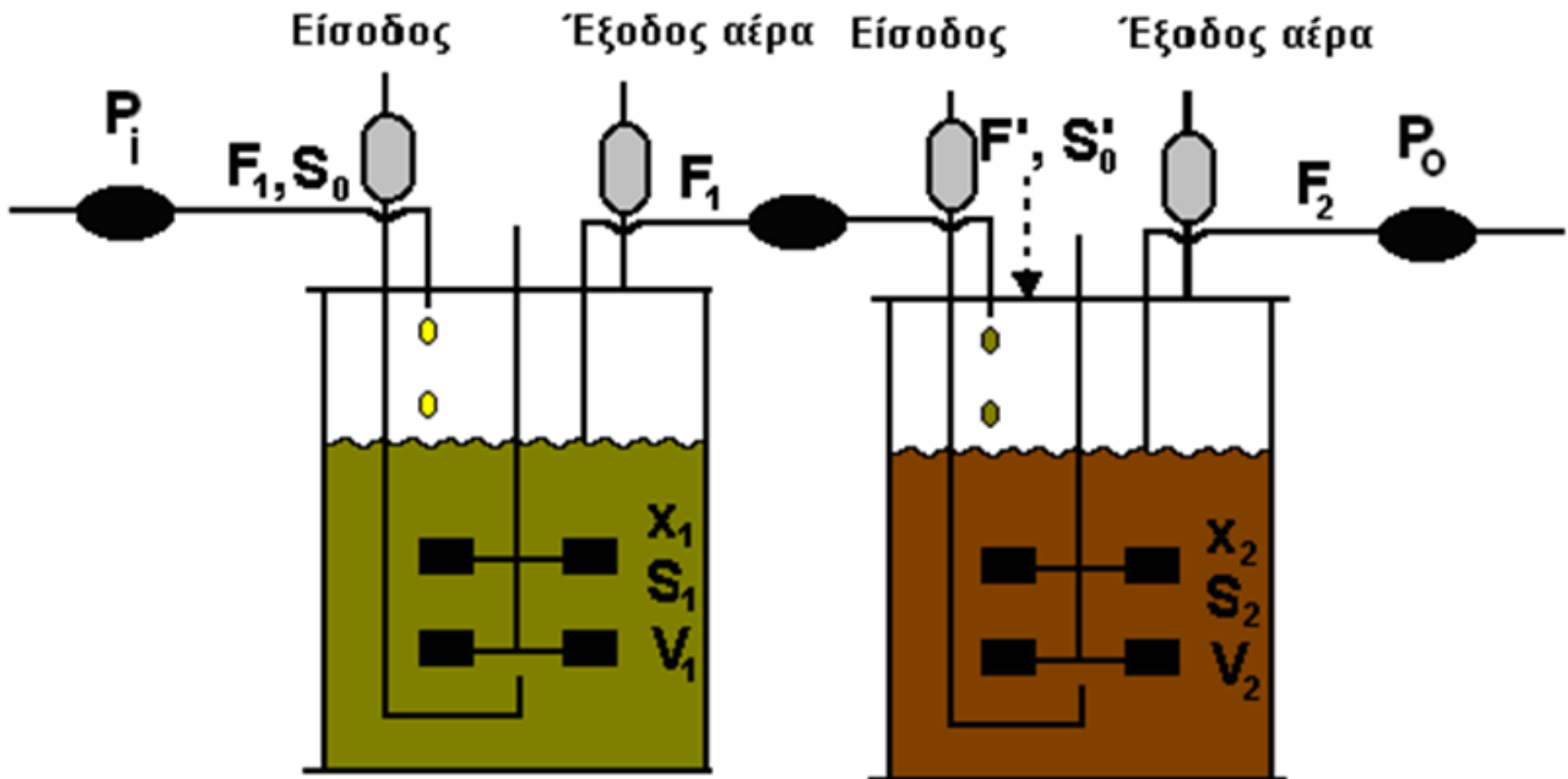
# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 17/

## Πολυβάθμιος Χημειοστάτης





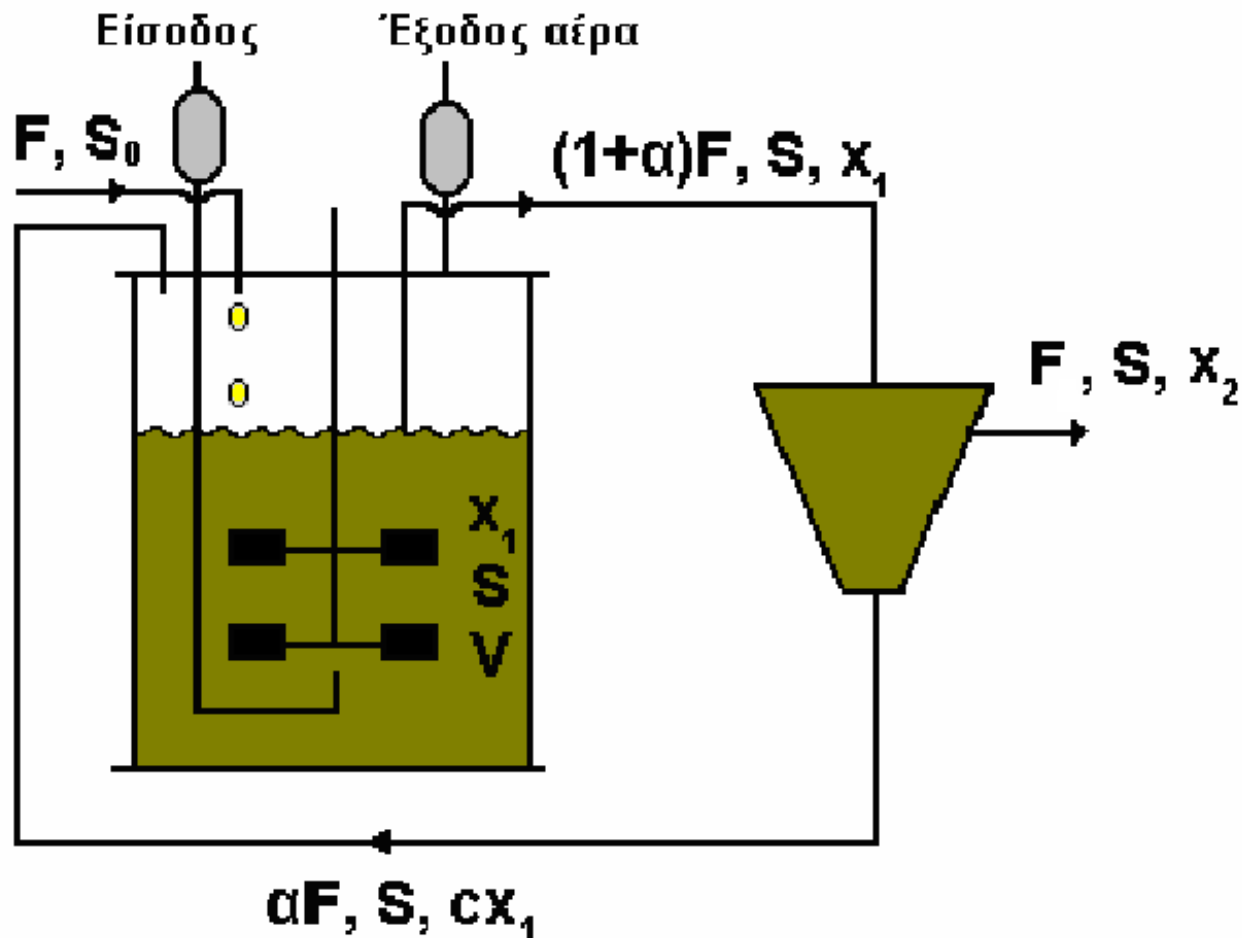
# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 18/





# Τύποι Μικροβιακής Καλλιέργειας 19/

## Μονοβάθμιος Χημειοστάτης με Ανακύκλωση Κυττάρων





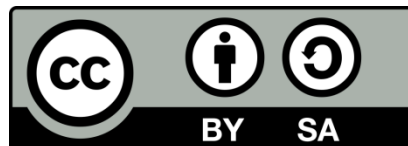
# Βιβλιογραφία

- Αγγελής (2007) Μικροβιολογία και Μικροβιακή Τεχνολογία, 1η έκδοση, Α. Σταμούλης.
- Shuler, Kargi (2002) Bioprocess Engineering, Basic Concepts Second Edition, Prentice Hall (Editions)



# Άδειες Χρήσης

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







# Χρηματοδότηση

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





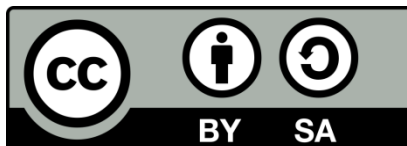
# Σημείωμα Αναφοράς

- Copyright Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Σεραφείμ Παπανικολάου, «Αρχές Βιοτεχνολογίας Τροφίμων». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014.  
Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:  
<http://mediasrv.aua.gr/eclass/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων, π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Η άδεια αυτή ανήκει στις άδειες που ακολουθούν τις προδιαγραφές του Ορισμού Ανοικτής Γνώσης [2], είναι ανοικτό πολιτιστικό έργο [3] και για το λόγο αυτό αποτελεί ανοικτό περιεχόμενο [4].

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

[2] <http://opendefinition.org/okd/ellinika/>

[3] <http://freedomdefined.org/Definition/EI>

[4] <http://opendefinition.org/buttons/>



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
  - το Σημείωμα Αδειοδότησης
  - τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
  - το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)
- μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.