



Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής
Πανεπιστήμιο Αιγαίου (Λήμνος)

Βιοχημεία Τροφίμων

Μέρος ΙΙΙ: Εφαρμοσμένη Βιοτεχνολογία & Βιομηχανικές Ζυμώσεις

Ακαδημαϊκό Έτος 2014 - 2015

Ενότητα 11^η
Βιοαντιδραστήρες



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Δημήτρης Π. Μακρής *PhD DIC*
Επικουρος Καθηγητής

Άδειες Χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό διατίθεται με τους όρους χρήσης Creative Commons (CC) - Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα.

Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, διαγράμματα, κείμενα, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.

Το έργο «Ανοιχτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου» 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.



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

Τύποι Ζύμωσης

Ζύμωση υγρών μέσων (submerged fermentation - SMF)

Είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη τεχνική για την παραγωγή πολλών προϊόντων, μέσω της χρήσης ενός ευρέος φάσματος μικροοργανισμών. Τα υγρά μέσα που χρησιμοποιούνται για SMF περιέχουν συστατικά σχετικά υψηλής επεξεργασίας.

Η ενεργότητα νερού των μέσων είναι υψηλή, κάτι το οποίο τα καθιστά ευάλωτα σε επιμολύνσεις, εάν δεν διατηρούνται οι ασηπτικές συνθήκες. Εάν υπάρχει υψηλή συγκέντρωση υποστρώματος μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα ρεολογικής φύσεως (υψηλό ιξώδες).

Η μεταφορά μάζας από την αέρια στην υγρή φάση είναι συνήθως ένας περιοριστικός παράγοντας, αλλά χάρη στην καλή ανάδευση, περιορισμοί που σχετίζονται με τη διάχυση θρεπτικών συστατικών δεν συναντώνται στις SMF.

Τύποι Ζύμωσης

Ζύμωση στερεάς φάσης (solid-state fermentation - SSF)

Χρησιμοποιείται για την παραγωγή διάφορων βιο-προϊόντων από μικροοργανισμούς, υπό συνθήκες χαμηλής υγρασίας. Το μέσο που χρησιμοποιείται για SSF είναι συνήθως ένα στερεό υπόστρωμα (π.χ. πίτουρο, σπόροι), για το οποίο δεν απαιτείται επεξεργασία.

Για την βελτιστοποίηση των αναγκών σε ενεργότητα νερού, οι οποίες είναι ύψιστης σημασίας για τη μικροβιακή ανάπτυξη, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη οι ιδιότητες απορρόφησης νερού από το υπόστρωμα κατά τη διάρκεια της ζύμωσης.

Επειδή υπάρχει χαμηλό επίπεδο υγρασίας, δεν παρατηρούνται έντονα φαινόμενα επιμόλυνσης. Επίσης εξαιτίας της μη-πλήρους ομογενοποίησης, τους περιορισμούς στη διάχυση θρεπτικών συστατικών, τη συσσώρευση μεταβολικής θερμότητας και την ανεπάρκεια ελέγχου της διεργασίας, η SSF χρησιμοποιείται κυρίως για χαμηλής αξίας προϊόντα.

Βιοαντιδραστήρες – Τρόπος Λειτουργίας

Βιοαντιδραστήρας διαλείποντος έργου (batch bioreactor)

Σ' αυτόν τον τύπο βιοαντιδραστήρα δεν υπάρχει ούτε τροφοδοσία, ούτε απομάκρυνση προϊόντος κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Το υπόστρωμα και ο μικροοργανισμός εισάγονται στην αρχή της διεργασίας και γίνεται ρύθμιση της θερμοκρασίας.

Στο τέλος της διεργασίας η θερμοκρασία επαναφέρεται με προγραμματισμένο τρόπο σε φυσιολογικά επίπεδα και γίνεται εκκένωση του βιοαντιδραστήρα. Ακολούθως, ο βιοαντιδραστήρας καθαρίζεται και αποστειρώνεται με ατμό ή θερμό νερό και η διεργασία επαναλαμβάνεται.

Οι βιοαντιδραστήρες διαλείποντος έργου έχουν σχετικά απλό σχεδιασμό και είναι κατάλληλοι για μικρή παραγωγή, αλλά μπορεί η συνολική διεργασία να είναι χρονοβόρα, εξαιτίας του χρόνου που απαιτείται για πλήρωση και εκκένωση.

Βιοαντιδραστήρες – Τρόπος Λειτουργίας

Βιοαντιδραστήρας ημι-διαλείποντος έργου (fed batch or semibatch bioreactor)

Αυτός ο τύπος βιοαντιδραστήρα τροφοδοτείται συνεχώς ή κατά διαστήματα, αλλά δεν υπάρχει απομάκρυνση προϊόντος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση όγκου κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Τα προϊόντα απομακρύνονται μετά το πέρας της διεργασίας.

Η τροφοδοσία του αντιδραστήρα μπορεί να παραμένει σταθερή, έτσι ώστε να μην υπάρχουν μεταβολές στη συγκέντρωση του υποστρώματος (extended fed batch). Επίσης, μια μικρή ποσότητα του ζυμωθέντος μέσου (broth) μπορεί να αφηθεί σκόπιμα μέσα στον αντιδραστήρα μετά το πέρας της διεργασίας, έτσι ώστε να λειτουργήσει σαν εμβόλιο για τον επόμενο κύκλο (repeated fed batch).

Ο τρόπος ημι-διαλείποντος έργου είναι επιθυμητός σε ζυμωτήρες, όπου απαιτείται χαμηλή συγκέντρωση γλυκόζης (10–50 mg/L) για να διατηρηθεί η παραγωγικότητα των μικροοργανισμών.

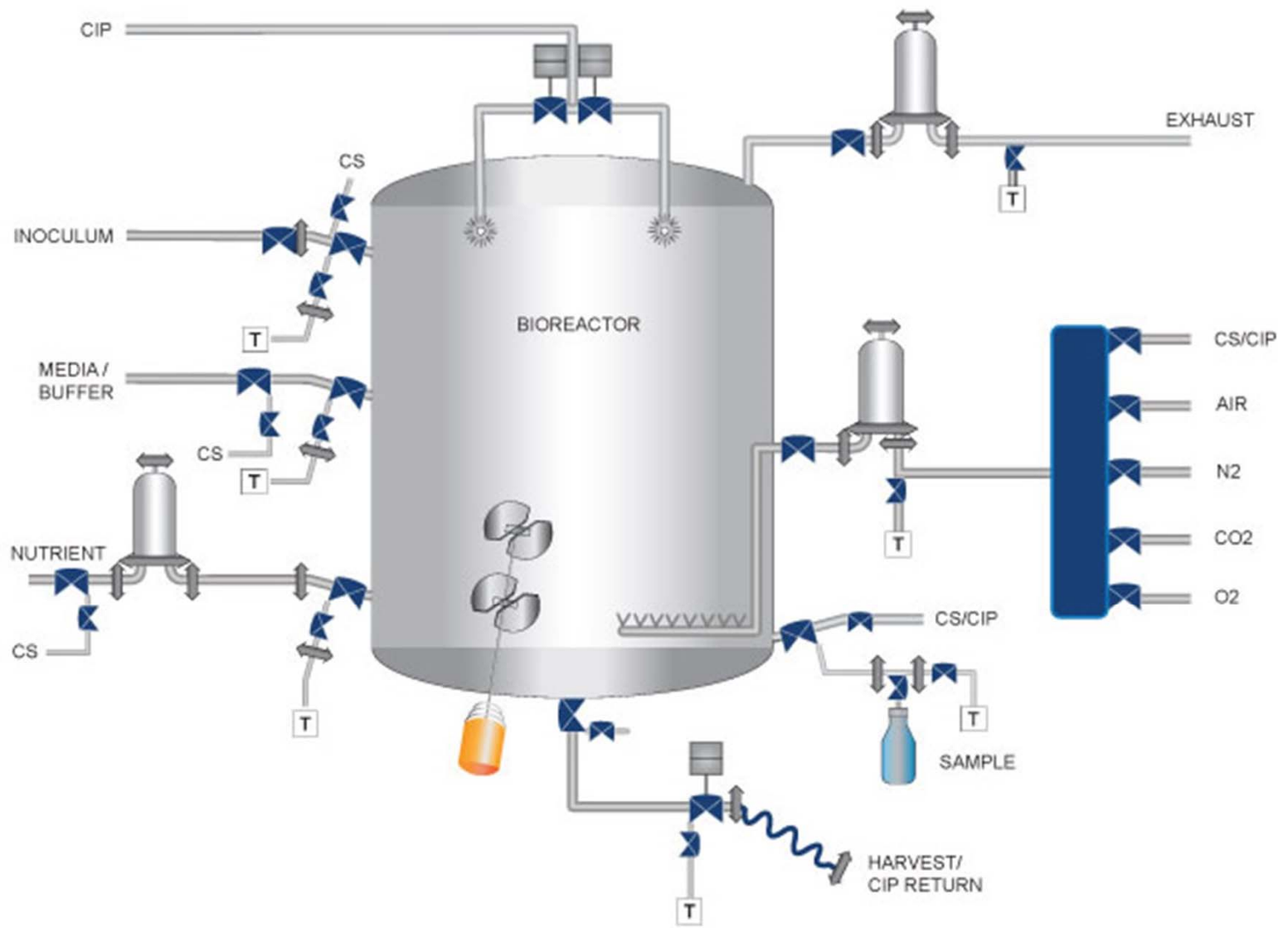
Βιοαντιδραστήρες – Τρόπος Λειτουργίας

Βιοαντιδραστήρας συνεχούς έργου (continuous bioreactor)

Στους βιοαντιδραστήρες συνεχούς έργου, υπάρχει συνεχής τροφοδοσία με υπόστρωμα και μικροοργανισμούς, ενώ υπάρχει και συνεχής απομάκρυνση υγρού μέσου και παραγόμενων αερίων. Έτσι, ο όγκος του αντιδραστήρα διατηρείται σταθερός.

Οι αντιδραστήρες συνεχούς έργου παρέχουν υψηλούς ρυθμούς παραγωγής και καλύτερη ποιότητα προϊόντος, επειδή οι συνθήκες της διεργασίας διατηρούνται σταθερές. Στους σωληνοειδείς αντιδραστήρες (tubular reactors), η τροφοδοσία γίνεται από το ένα άκρο του σωλήνα και το προϊόν εξέρχεται από το άλλο.

Η χρήση των βιοαντιδραστήρων συνεχούς έργου δεν είναι συχνή, εξαιτίας των προβλημάτων επιμόλυνσης και του ελέγχου της καμπύλης ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Όμως, ο γενικότερος έλεγχος της διεργασίας συνολικά είναι υψηλότερος απ' ότι στους άλλους τύπους αντιδραστήρων και η ποιότητα του προϊόντος είναι ομοιόμορφη.



Διάταξη Βιοαντιδραστήρα

Συστήματα ζυμωτήρων υγρών μέσων

Ο ζυμωτήρας (fermentor) είναι η καρδιά οποιασδήποτε βιοχημικής διεργασίας, στην οποία μικροβιακά κύτταρα χρησιμοποιούνται για την οικονομική παραγωγή προϊόντων ζύμωσης.

Ένας σωστά σχεδιασμένος ζυμωτήρας θα πρέπει να εξασφαλίζει ασηπτικό και ελεγχόμενο περιβάλλον, έτσι ώστε να διευκολύνει τη βέλτιστη ανάπτυξη και παραγωγή προϊόντος μέσω ενός συγκεκριμένου κυτταρικού συστήματος.

Οι ζυμωτήρες έχουν ευρεία εφαρμογή και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικροβιακά, φυτικά και ζωικά κύτταρα, γι' αυτό συνήθως αναφέρονται με τον γενικό όρο «βιοαντιδραστήρες».

Η επάρκεια της απόδοσης ενός βιοαντιδραστήρα εξαρτάται από τη συγκέντρωση της βιομάζας, τη διατήρηση ασηπτικών συνθηκών, την επαρκή μεταφορά μάζας και θερμότητας και τη λειτουργία υπό βέλτιστες συνθήκες.

Διάταξη Βιοαντιδραστήρα

Με βάση τη βιοχημική διεργασία, οι βιοαντιδραστήρες μπορούν να ταξινομηθούν σε 3 κατηγορίες:

1. Βιοαντιδραστήρες χωρίς ανάδευση και αερισμό (π.χ. παραγωγή οίνου, μπύρας κτλ.).
2. Βιοαντιδραστήρες με ανάδευση και αερισμό (αερόβια ζύμωση υγρού μέσου, όπως π.χ. παραγωγή κιτρικού οξέως).
3. Βιοαντιδραστήρες με αερισμό αλλά όχι ανάδευση (αερόβια ζύμωση στερεάς φάσης, π.χ. παραγωγή ενζύμων για τρόφιμα).

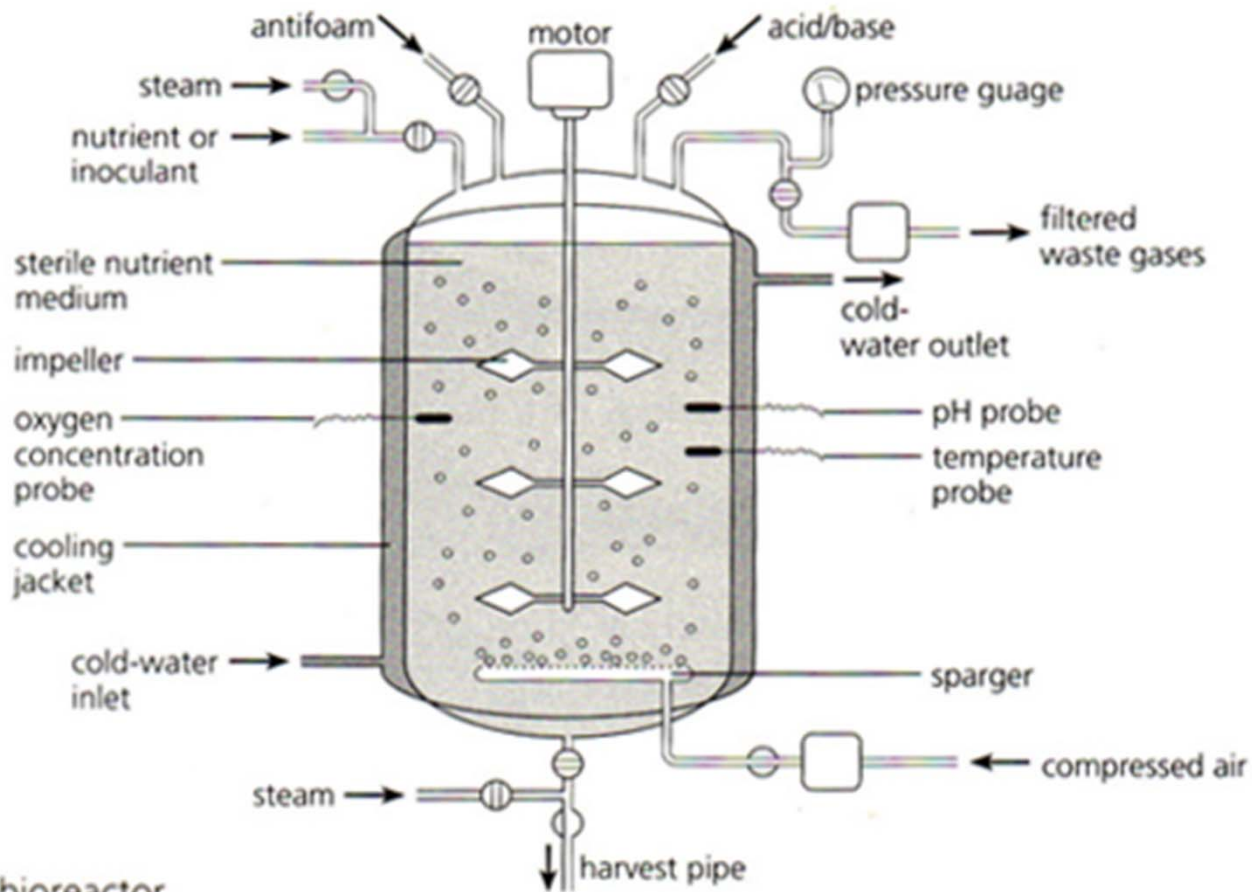
Εντούτοις, στη βιομηχανική πρακτική, οι βιοαντιδραστήρες διακρίνονται από την διάταξη και τον σχεδιασμό.

Διάταξη Βιοαντιδραστήρα

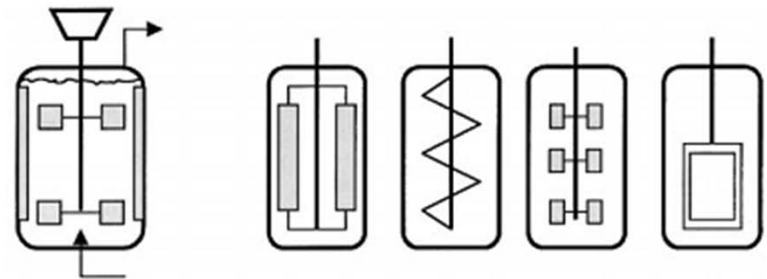
Βιοαντιδραστήρας πλήρους αναμίξεως (*stirred tank bioreactor - STR*): Είναι ο πιο κοινός τύπος βιοαντιδραστήρα για βιομηχανικές εφαρμογές. Τα πλεονεκτήματα του STR είναι ο υψηλός ρυθμός μεταφοράς O_2 , ο οποίος απαιτείται για υψηλή παραγωγικότητα βιομάζας, καθώς και το χαμηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας.

Ένας STR έχει λόγο ύψους-προς-διάμετρο 1:3 έως 1:6. Η λειτουργία του αναδευτήρα μπορεί να γίνεται από την κορυφή ή από τη βάση, ανάλογα με το μέγεθος της διεργασίας ή άλλα κριτήρια που σχετίζονται με τη διεργασία.

Η επιλογή του στροφείου εξαρτάται από τα φυσικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του προς ζύμωση μέσου. Όσον αφορά στην παροχή οξυγόνου, αυτή γίνεται μέσω διάτρητου δακτυλίου στη βάση του αντιδραστήρα.



A bioreactor



Διάταξη Βιοαντιδραστήρα

Στις περισσότερες διεργασίες ζύμωσης χρησιμοποιούνται πολύπλοκα μίγματα συστατικών, όπως μελάσες, σογιάλευρο κτλ., ως φθηνές πηγές θρεπτικών συστατικών (άνθρακα και αζώτου), στις οποίες ενσωματώνονται ζωτικοί παράγοντες ανάπτυξης (αμινοξέα, βιταμίνες κτλ.).

Η υψηλή περιδίνηση που μπορεί να προέλθει από τα στροφεία ενδέχεται να προκαλέσει έντονο αφρισμό, εξαιτίας της παρουσίας πρωτεϊνικών υποστρωμάτων. Σ' αυτήν την περίπτωση μπορούν να προστεθούν αντι-αφριστικές ουσίες, όπως σιλικόνη και προπολενογλυκόλη.

Όμως, αυτές οι ουσίες μπορεί να έχουν επιζήμια αποτελέσματα στην ανάπτυξη των μικροβίων και την ανάκτηση του προϊόντος. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται μηχανικές μέθοδοι καταστολής αφρισμού, όπως π.χ. σαρωτήρες προσαρμοσμένοι στον άξονα των στροφείων, στο πάνω μέρος του αντιδραστήρα.

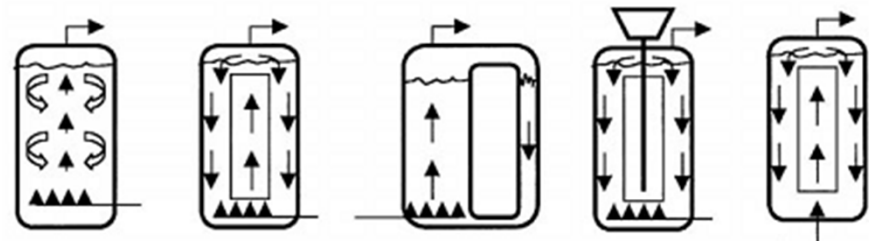
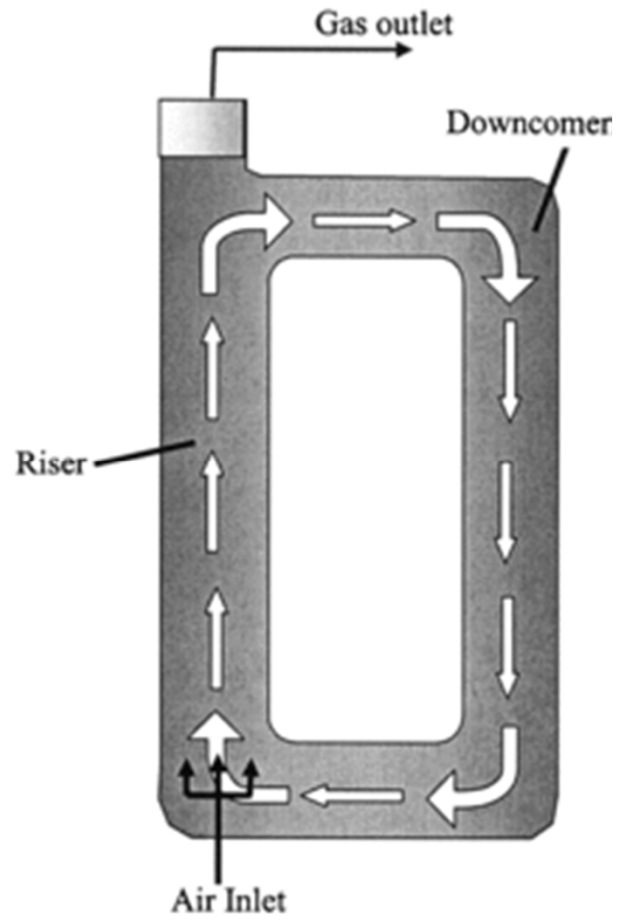
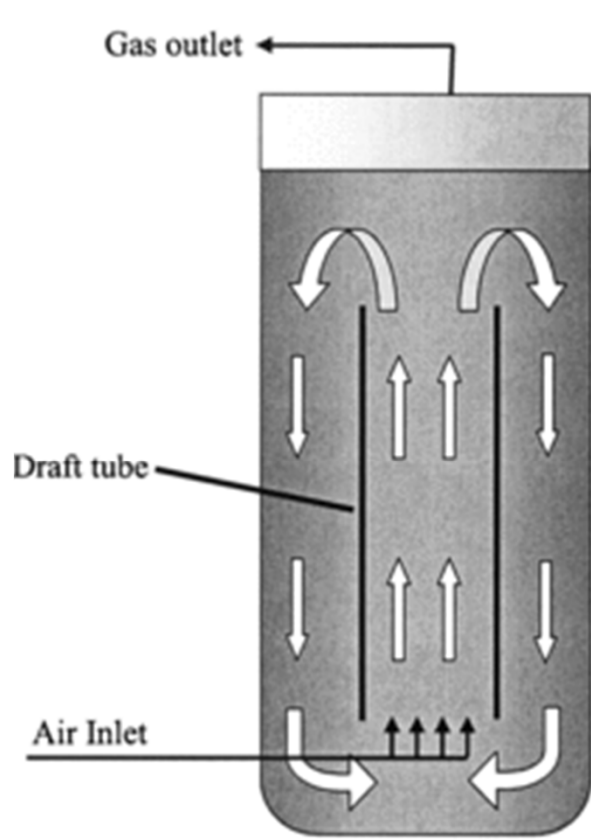
Για να διατηρηθούν ασηπτικές συνθήκες από την αποστείρωση του αντιδραστήρα μέχρι την περάτωση της ζύμωσης, διατηρείται μια ελάχιστη θετική πίεση. Τα σημεία δειγματοληψίας και ελέγχου είναι προσαρμοσμένα έτσι ώστε να μπορούν ν' αποστειρωθούν με ατμό.

Διάταξη Βιοαντιδραστήρα

Βιοαντιδραστήρας αναμίξεως με αέρα (air lift bioreactor): Σ' αυτόν τον τύπο αντιδραστήρων, η ποσότητα αέρα που απαιτείται για τη διεργασία της ζύμωσης είναι συνήθως επαρκής να δράσει ως η μοναδική πηγή ανάμιξης του υγρού μέσου.

Ο αέρας διοχετεύεται μέσω αντλίας από τον πυθμένα του αντιδραστήρα και δημιουργεί πλευστότητα μέσω φυσαλίδων, οι οποίες κινούν το περιβάλλον υγρό. Τα ανοδικά (riser) και καθοδικά (down comer) ρεύματα που δημιουργούνται μέσα στον αντιδραστήρα, προκαλούν ένα μοτίβο κίνησης ενός κυκλοφορούντος ρευστού, το οποίο εξασφαλίζει οξυγόνωση και ανάμιξη του εν ζυμώνει μέσου.

Τα προβλήματα που σχετίζονται με την χρήση αυτού του είδους των αντιδραστήρων σε μεγάλη κλίμακα είναι η ανεπαρκής αποστείρωση, μεγαλύτερο ύψος επένδυσης και απαιτήσεις σε αερισμό.



Διάταξη Βιοαντιδραστήρα

Επειδή η ανάμιξη στους βιοαντιδραστήρες air lift γίνεται μόνο μέσω αερισμού, η ισχύς που απαιτείται για την κυκλοφορία του ρευστού και τη διασπορά μπορεί να είναι υψηλότερη απ' αυτήν που απαιτείται για έναν αναδευτήρα σε βιοαντιδραστήρα πλήρους αναμίξεως.

Ένας βιοαντιδραστήρας air lift εξοπλισμένος με αγωγό εκτοπίσματος (draft tube) έχει ως αποτέλεσμα καλύτερη κυκλοφορία του ρευστού και μεγαλύτερες περιοχές διεπιφάνειας αέριο-προς-ρευστό. Επίσης εξασφαλίζει υψηλότερη επάρκεια ανάμιξης και ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου.

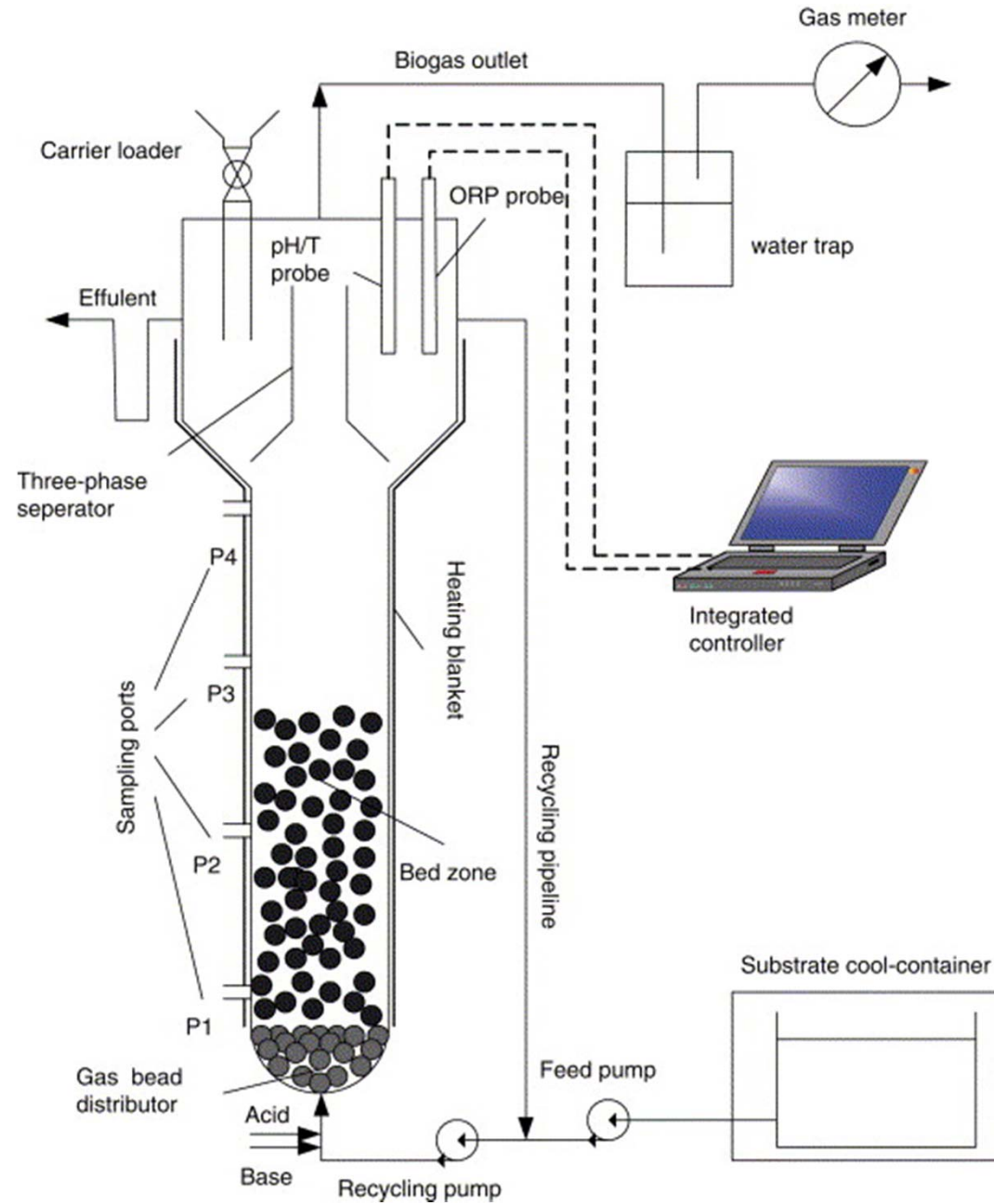
Διάταξη Βιοαντιδραστήρα

Βιοαντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης (*fluidised bed bioreactor*): Αυτού του τύπου οι αντιδραστήρες χρησιμοποιούνται κυρίως για κύτταρα ακινητοποιημένα πάνω σε σωματίδια.

Αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί υψηλή πυκνότητα σωματιδίων. Επίσης, η απαιτούμενη ταχύτητα ροής που απαιτείται για τη ρευστοποίηση μπορεί να επιτευχθεί ανεξάρτητα από την ικανότητα παραγωγής του αντιδραστήρα.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του συστήματος ρευστοποιημένης κλίνης είναι ότι υπερτερεί στα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με μεταφορά μάζας και θερμότητας. Επιπρόσθετα, υπάρχει πολύ καλή ανάμιξη των τριών φάσεων, σχετικά χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια και χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης (*shear rates*).

Οι αντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης χρησιμοποιούνται με κύτταρα προσροφημένα στο εσωτερικό ενός φορέα (π.χ. γυάλινα ή κεραμικά σφαιρίδια). Ο ρυθμός ροής ανοδικής τροφοδοσίας είναι αρκετά υψηλός για να ρευστοποιήσει τον φορέα, με αποτέλεσμα την καλύτερη ανάμιξη και κατανομή του μέσου.



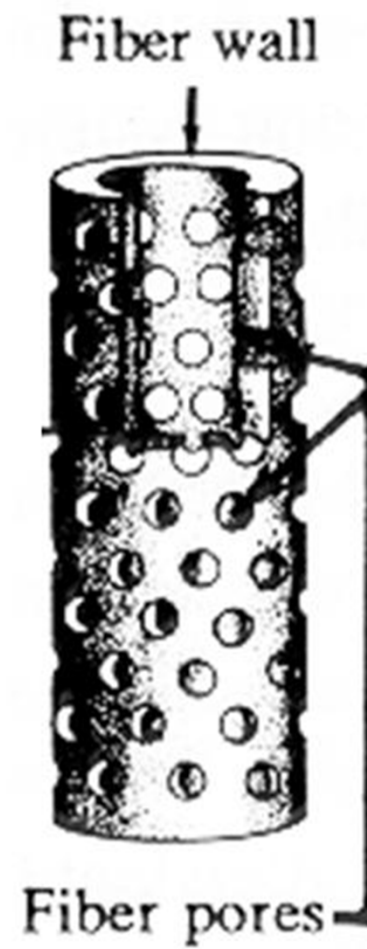
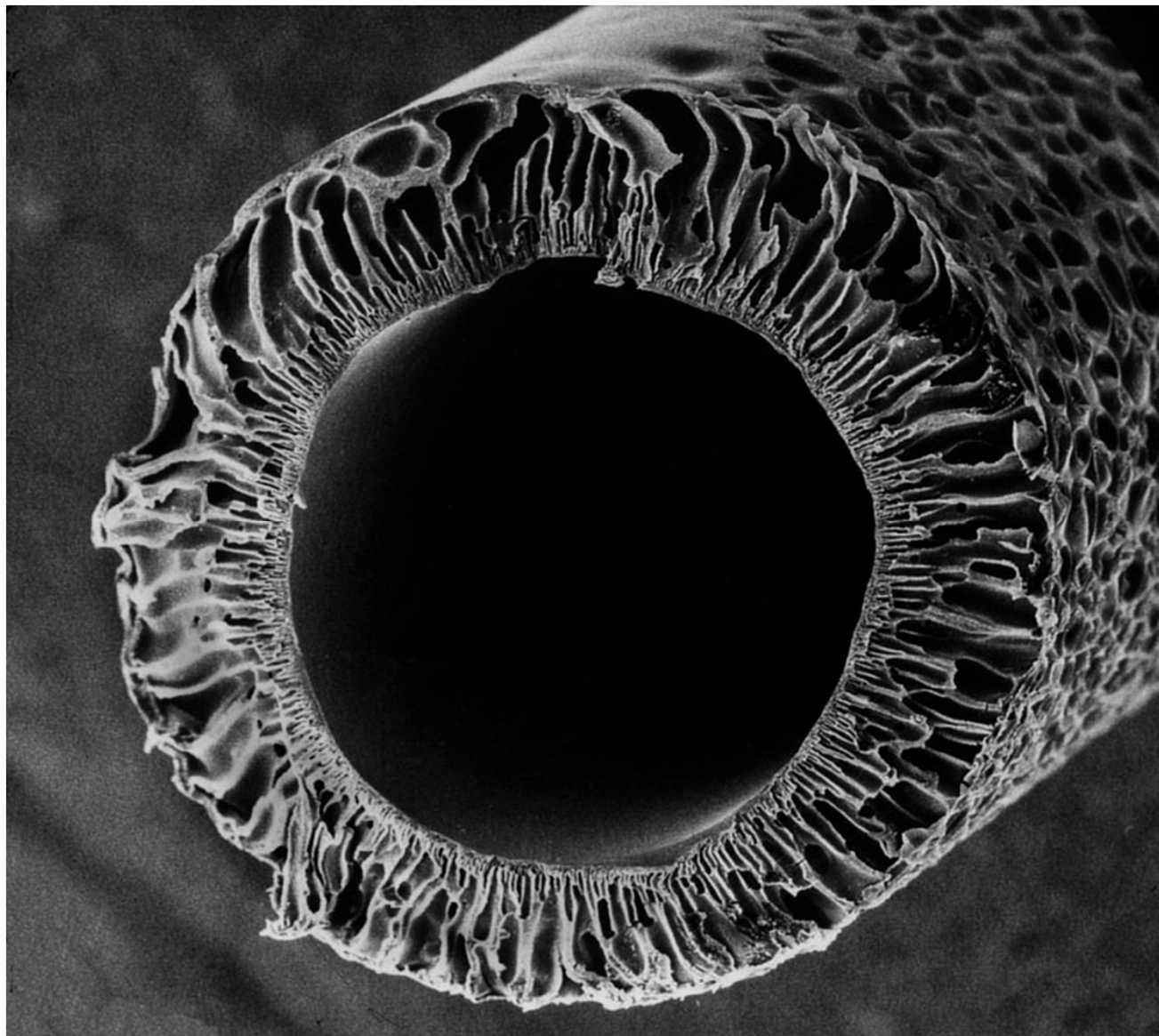
Διάταξη Βιοαντιδραστήρα

Βιοαντιδραστήρας μεμβράνης (*membrane bioreactor*): Βιοαντιδραστήρες μεμβράνης αποτελούμενοι από κοίλες ίνες (*hollow fibres*) χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη ζωικών και φυτικών κυττάρων και την ακινητοποίηση βακτηρίων, ζυμών και ενζύμων.

Οι κοίλες ίνες μπορούν να κατασκευαστούν από οξική κυτταρίνη με ομοιόμορφο τοίχωμα ή από ακρυλικά συμπολυμερή ή πολυσουλφονικές ίνες, με ασύμμετρη διάταξη τοιχώματος.

Αυτές οι ίνες έχουν πολύ πορώδες επιφανειακό τοίχωμα (πάχος τοιχώματος περίπου 70 μm), πάνω στο οποίο αναπτύσσονται τα κύτταρα και μια κυλινδρική κοιλότητα, η οποία έχει διάμετρο περίπου 200 μm .

Η επιφάνεια της κοιλότητας καλύπτεται από ένα λεπτό στρώμα υπερδιήθησης, το οποίο διαχωρίζει τα ακινητοποιημένα κύτταρα από την κοιλότητα. Μέσω του στρώματος υπερδιήθησης, γίνεται ελεύθερη διάχυση ιόντων και μορίων των οποίων το μοριακό βάρος κυμαίνεται από 10 έως 100 kDa.



Διάταξη Βιοαντιδραστήρα

Οι αντιδραστήρες κοίλων ινών αποτελούνται από μια κυλινδρική δέσμη ενός υψηλού αριθμού ξεχωριστών ινών, οι οποίες συγκρατούνται ως σύνολο μέσα σε μια διάταξη ενός κελύφους που φέρει σωληνοειδή εναλλάκτη θερμότητας.

Οι μονάδες βιοαντιδραστήρων κοίλων ινών που είναι εμπορικά διαθέσιμες έχουν χωρητικότητα κοίλης επιφάνειας από 0.01 m^2 έως 1.0 m^2 .

Τα πλεονεκτήματα χρήσης ενός αντιδραστήρα κοίλων ινών για μικροβιακά συστήματα περιλαμβάνουν:

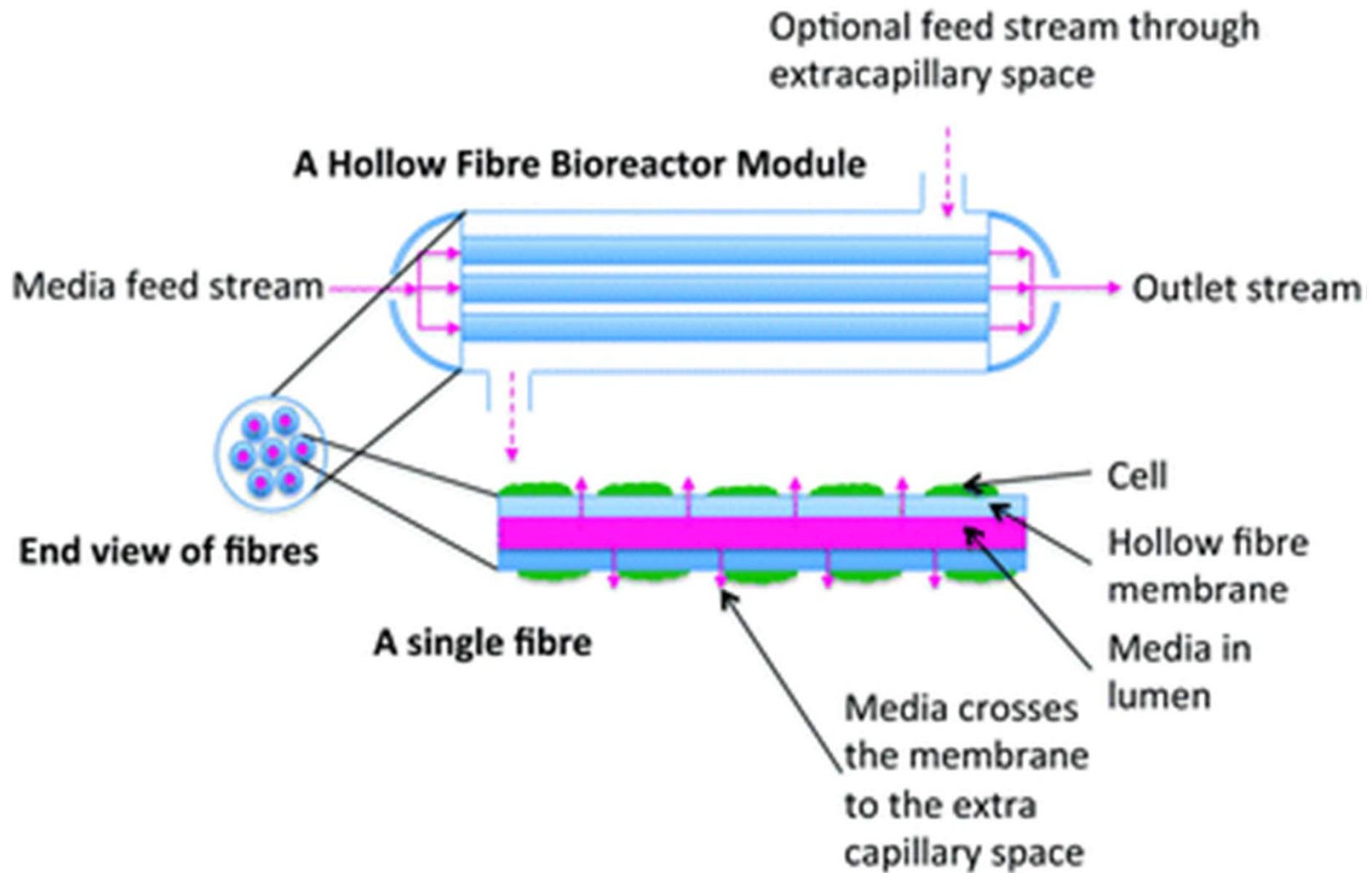
- υψηλή πυκνότητα κυτταρικής ανάπτυξης.
- η χρήση συστήματος διάχυσης για ταυτόχρονο διαχωρισμό προϊόντος και βιομάζας.
- αναγέννηση του βιοκαταλύτη.

Διάταξη Βιοαντιδραστήρα

Εντούτοις, ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι η δυσκολία παρακολούθησης και ελέγχου της ανάπτυξης και μεταβολισμού της μικροβιακής καλλιέργειας.

Άλλοι περιορισμοί της χρήσης μικροβίων σε αντιδραστήρες κοίλων ινών είναι:

- οι χαμηλοί ρυθμοί μεταφοράς οξυγόνου όταν η κυτταρική πυκνότητα είναι υψηλή.
- η διάρρηξη των μεμβρανών εξαιτίας της υπερβολικής μικροβιακής ανάπτυξης.
- η συσσώρευση τοξικών προϊόντων μέσα στις ίνες μπορεί να αναστείλει τη μικροβιακή δραστηριότητα.



Διάταξη Βιοαντιδραστήρα

Συστήματα ζυμωτήρων στερεάς φάσης (solid-state fermentors)

Η διαφορά της SSF με την SMF είναι η ποσότητα του ελεύθερου υγρού στο υπόστρωμα. Στα συστήματα SSF η μεταφορά μάζας από την αέρια φάση στα σωματίδια είναι πολύ περιορισμένη, εν αντιθέσει με την SMF.

Η ύπαρξη μια ποικιλίας συστημάτων SSF σε σχέση με τη σύσταση, το μέγεθος του στερεού υποστρώματος, τη μηχανική αντίσταση στη ροή του αέρα, το πορώδες και την ικανότητα κατακράτησης νερού, καθιστά τον σχεδιασμό και τον έλεγχο βιοαντιδραστήρων πιο δύσκολο, όσον αφορά δύο σημαντικές παραμέτρους: τη θερμοκρασία και την περιεκτικότητα του στερεού μέσου σε νερό.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τον σχεδιασμό βιοαντιδραστήρων SSF είναι τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των μυκήτων, η αντίσταση στη μηχανική ανάδευση και ο βαθμός ασηπτικών συνθηκών που απαιτούνται για τη ζύμωση.

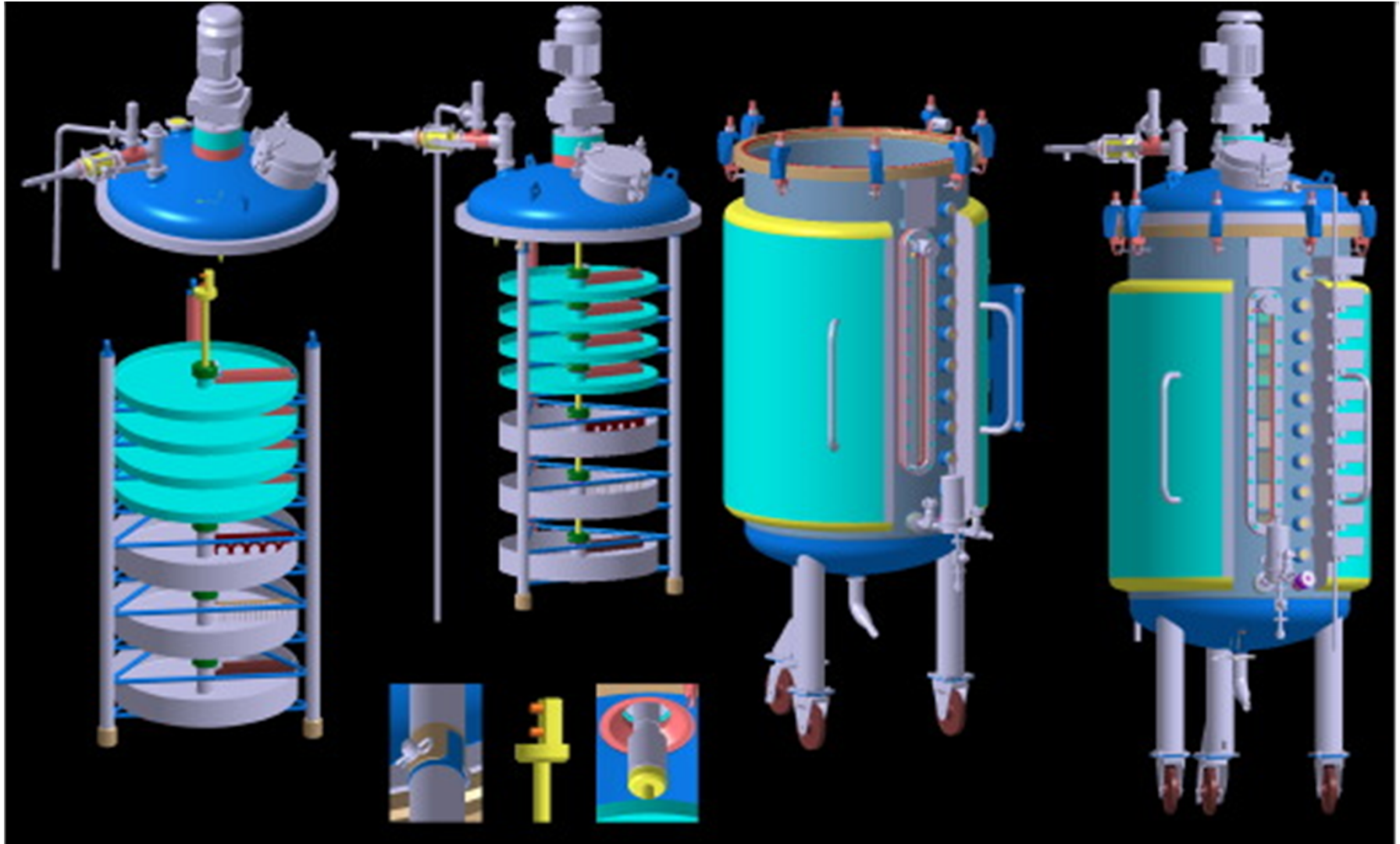
Διάταξη Βιοαντιδραστήρα

Βιοαντιδραστήρας SSF χωρίς βεβιασμένο αερισμό: Σε βιομηχανική κλίμακα, αυτός ο αντιδραστήρας είναι συνήθως ένας ζυμωτήρας με δίσκους (tray fermentor), ο οποίος ονομάζεται κοινώς αντιδραστήρας Koji.

Οι δίσκοι που περιέχουν το στερεό μέσο στοιβάζονται σε βαθμίδες και τοποθετούνται σε θάλαμο όπου ελέγχεται η θερμοκρασία και υγρασία. Αυτή η τεχνολογία έχει τον περιορισμό ότι:

- ❑ Δεν υπάρχουν ασηπτικές συνθήκες
- ❑ Το εργατικό κόστος είναι υψηλό

Εντούτοις, μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί σε μεγαλύτερη κλίμακα με την προσθήκη περισσότερων δίσκων.

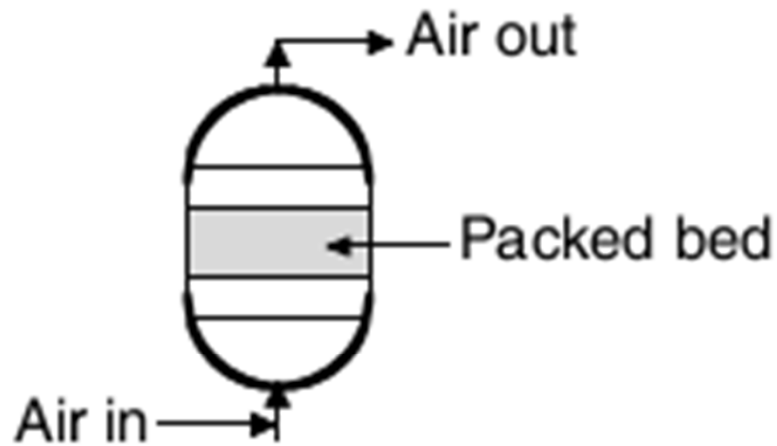


Διάταξη Βιοαντιδραστήρα

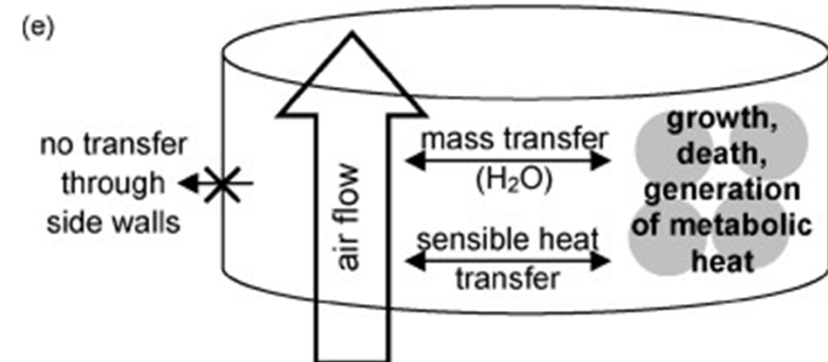
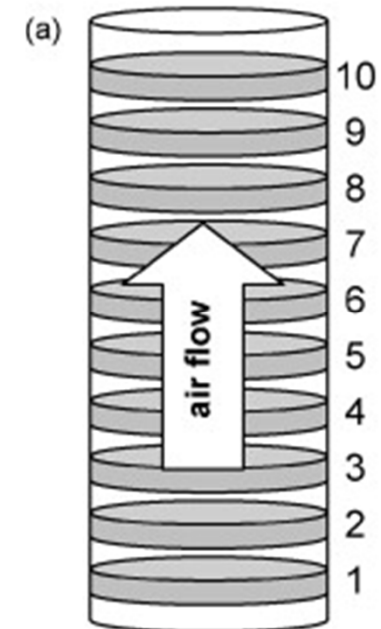
Βιοαντιδραστήρας SSF με βεβιασμένο αερισμό, χωρίς ανάμειξη: Σ' αυτόν τον τύπο αντιδραστήρα δεν υπάρχει μηχανική ανάδευση, αλλά το μέσο μπορεί ν' αναδευτεί επί τόπου χειρονακτικά, ή να μεταφερθεί σε μηχανή μάλαξης και να επανατοποθετηθεί στους δίσκους.

Αυτός ο τύπος αντιδραστήρα έχει τον περιορισμό της μεταβολικής θερμότητας που παράγεται, καθώς μπορούν να υπάρξουν σημαντικές θερμοκρασιακές διαβαθμίσεις μέσα στο υπόστρωμα.

Καθώς η θερμότητα αποβάλλεται και το νερό εξατμίζεται μέσω του βεβιασμένου αερισμού, το υπόστρωμα ξηραίνεται και μειώνεται η αποδοτικότητα της ζύμωσης. Έτσι, απαιτείται περιοδική προσθήκη νερού για να διατηρείται η υγρασία στα επιθυμητά επίπεδα.



SSF bioreactor with forced aeration
no mixing (C)

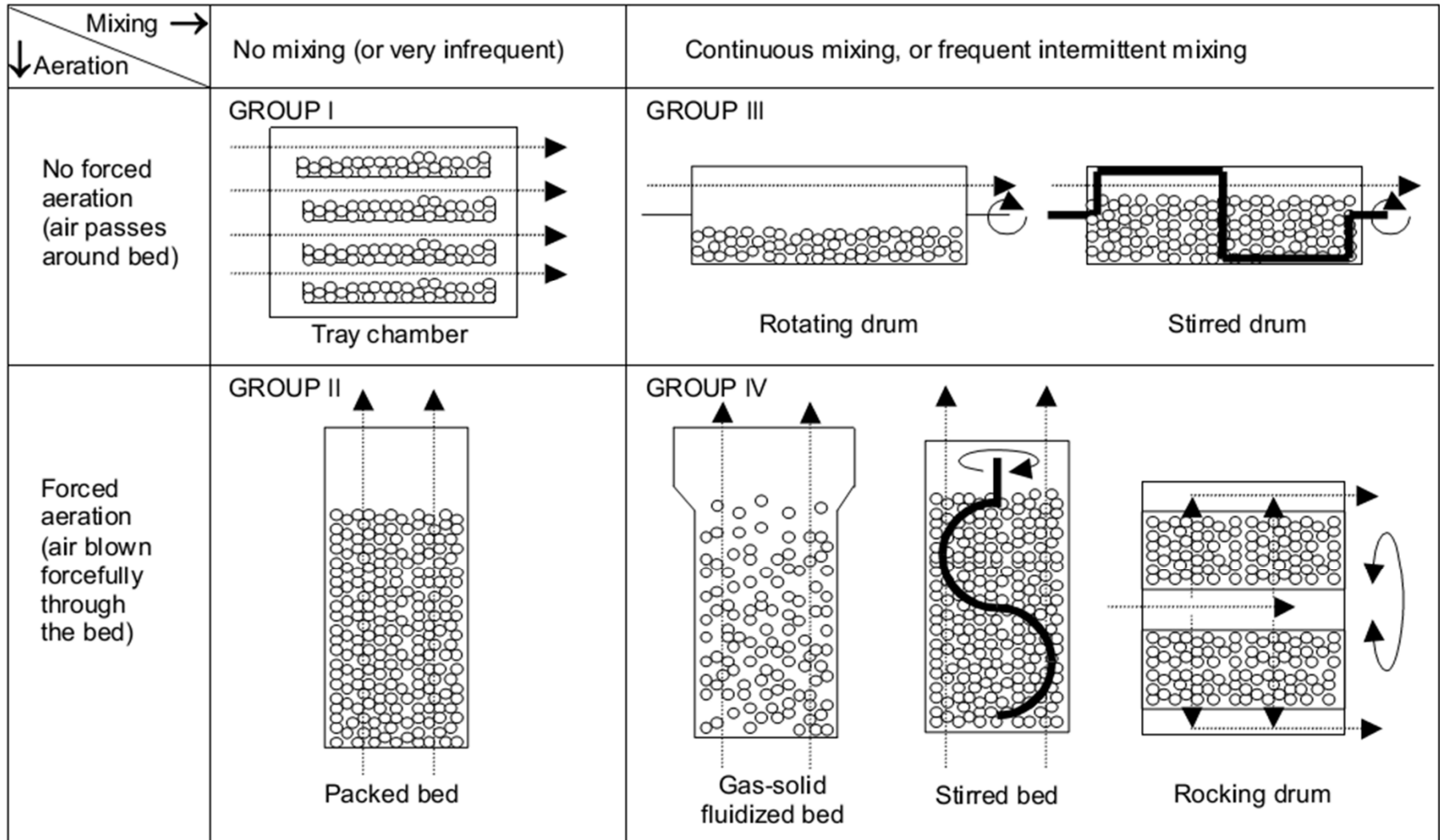


Διάταξη Βιοαντιδραστήρα

Βιοαντιδραστήρας SSF με συνεχή ανάμειξη και βεβιασμένο αερισμό: Είναι βιοαντιδραστήρας περιστρεφόμενου τύμπανου (rotating drum) με συνεχή ανάμειξη, έτσι ώστε να μεγιστοποιεί την έκθεση των σωματιδίων υποστρώματος σε θερμοστατούμενο αέρα που κυκλοφορεί στον υπερκείμενο χώρο.

Τα μεγάλης κλίμακας συστήματα SSF χωρίς ανάδευση είναι περιορισμένα, εξαιτίας της δυσκολίας στη διατήρηση της θερμοκρασίας κατά τη ζύμωση. Εντούτοις, σ' ένα βιοαντιδραστήρα περιστρεφόμενου τυμπάνου, είναι δυνατή η επαρκής μεταφορά θερμότητας, με ψύξη μέσω μεταγωγής και εξάτμισης.

Καθώς αυξάνει η κλίμακα της ζύμωσης, η ψύξη μέσω εξάτμισης είναι πιο σημαντική, επειδή ο λόγος της θερμότητας που παράγεται προς την επιφάνεια που είναι διαθέσιμη για μεταγωγή, μειώνεται.



Βιβλιογραφία

Doble M., Kruthiventi A.K., Gaikar V.G. (2004) Biochemical reactor. In *“Biotransformations and Bioprocesses”*, Marcel Dekker Inc.

Mitchell D., Berovič M., Krieger N. (2006) Introduction to solid-state fermentation bioreactors. In *“Solid-State Fermentation Bioreactors. Fundamentals of Design and Operation”*, Mitchell D., Berovič M., Krieger N. ed., Springer.

Raj A. E., Karanth N. G. (2006) Fermentation technology and bioreactor design. In *“Food Biotechnology”*, 2nd edition, Shetty K., Paliyath G., Pometto A., Levin R.E. ed., CRC Taylor & Francis.