

Χαρακτηριστικά των βακτηρίων (1)

Ονοματολογία

Όλα τα έμβια όντα, άρα και τα βακτήρια, έχουν δύο ονόματα, πρώτο το όνομα του γένους (genus), π.χ. *Staphylococcus*, και μετά το όνομα του είδους (species), π.χ. *aureus*. Το όνομα του γένους συχνά συντομεύεται στο αρχικό γράμμα του, π.χ. *S. aureus*.

Στην ονομασία αυτή μερικές φορές προστίθεται:

- ένα τρίτο όνομα που διακρίνει τις διάφορες ποικιλίες του είδους, π.χ. *Acinetobacter calcoaceticus* var *anitratus* (!)
- ένα κοινό, μη επιστημονικό, ιστορικό όνομα, π.χ. πνευμονιόκοκκος για τον *Streptococcus pneumoniae*, γονόκοκκος για τη *Neisseria gonorrhoeae*, μηνιγγιτιδόκοκκος για τη *Neisseria meningitidis*
- το όνομα ορολογικής ομάδας, π.χ. ο *Streptococcus pyogenes* ονομάζεται και «στρεπτόκοκκος ομάδας Α»
- το όνομα παραγόμενης τοξίνης, π.χ. *Clostridium perfringens* τύπου Α.

Ταξινόμηση

Γνωρίζοντας καλύτερα τις ιδιότητες των βακτηρίων, των μυκήτων, των πρωτοζώων και των φυκών έγινε αντιληπτό ότι θα έπρεπε να αναθεωρηθεί η απλή διάκριση των ζώντων οργανισμών σε δύο βασιλεία: των φυτών και των ζώων. Κατά μία ταξινόμηση που βασίζεται στην κυτταρική τους οργάνωση διακρίνονται: α) Σε αυτούς που η κυτταρική τους οργάνωση περιγράφεται ως προκαρυωτική (βακτήρια και κυανοπράσινα φύκη) και β) Σε αυτούς που η κυτταρική τους οργάνωση περιγράφεται ως ευκαρυωτική.

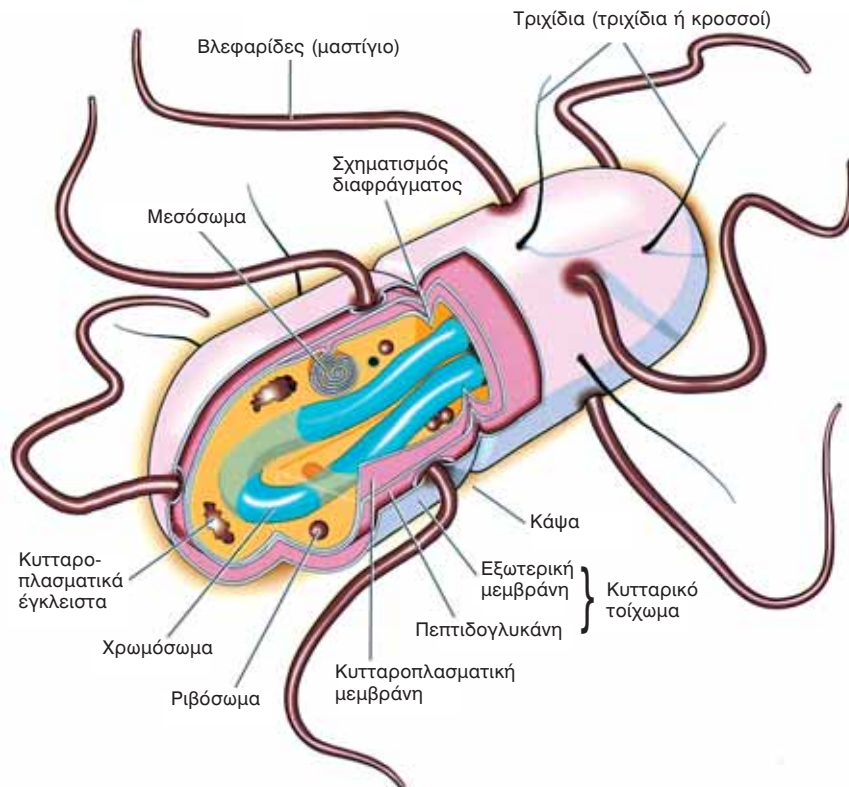
Τα ευκαρυωτικά περιλαμβάνουν τέσσερα βασιλεία: α) Πρωτίστα (πρωτόζωα και φύκη), β) Μύκητες, γ) Ζώα (*Animalia*) και δ) Φυτά (*plantae*). Οι ιοί δε συμπεριλαμβάνονται επειδή στερούνται των απαραίτητων χαρακτηριστικών των ζώντων μικροοργανισμών (ικανότητα ανεξάρτητης αναπαραγωγής ή επιβίωσης).

Τα βακτήρια έχουν προκαρυωτική κυτταρική δομή και έχουν τις παρακάτω βασικές διαφορές από όλους τους άλλους ζώντες οργανισμούς:

- το DNA στα βακτήρια σχηματίζει διπλό βρόχο και δεν περιβάλλεται από πυρηνική μεμβράνη
- υπάρχουν μικρά ριβοσώματα ελεύθερα μέσα στο κυτταρόπλασμα και απουσιάζει το ενδοπλασματικό δίκτυο
- απουσιάζουν τα μιτοχόνδρια και άλλα έγκλειστα σε μεμβράνη οργανίδια
- έχουν σύνθετο κυτταρικό τοίχωμα από πεπτιδογλυκάνη-πρωτεΐνες (απουσιάζει στο *Mycoplasma*).

Τα βακτήρια ταξινομούνται με διάφορα κριτήρια (Πίνακας 1):

- σχήμα
- χρώση
- ικανότητα ανάπτυξης με ή χωρίς οξυγόνο



Εικ. 1 Δομή βακτηρίου.

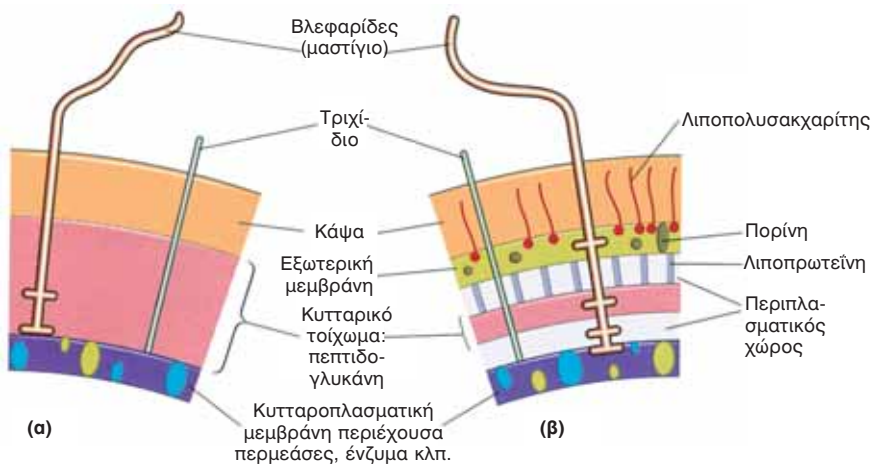
Πίνακας 1 Μείζονα κριτήρια ταξινόμησης σημαντικών για την Ιατρική βακτηρίων		
Κριτήριο	Ομάδες	Παραδείγματα
Σχήμα	Κόκκοι (σφαιρικό) Βακτηρίδια (ραβδία) Σπειρίλλια (καμπύλα ή σπειροειδή ραβδία)	<i>Staphylococcus</i> , <i>Neisseria</i> <i>Bacillus</i> , <i>Listeria</i> , <i>Salmonella</i> <i>Vibrio</i> , <i>Campylobacter</i>
Χρώση	Θετικά κατά Gram Αρνητικά κατά Gram Οξεάντοχα Ειδικές χρώσεις εξειδικευμένων δομών	<i>Staphylococcus</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Bacillus</i> <i>Haemophilus</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Salmonella</i> <i>Mycobacterium</i> Σπόροι από <i>Clostridia</i>
Αναγκαία ατμόσφαιρα	Αυστηρώς αερόβια Δυνητικώς αναερόβια Αυστηρώς αναερόβια Καπνόφιλα (χρειάζονται πολύ CO ₂)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Clostridium</i> spp. <i>Neisseria</i> spp.
Ειδικά χαρακτηριστικά	Σπόροι Ένζυμα Αντίσταση στα αντιβιοτικά Αντιγόνα	<i>Clostridium</i> spp. Σταφυλόκοκκοι παράγοντες πηκτάσης Ανθεκτικός στη μεθικιλίνη <i>S. aureus</i> (MRSA) <i>Streptococcus</i> (ομάδες Lancefield), <i>Chlamydia</i>
Νουκλεϊκά οξέα	Ανιχνευτές DNA Ενίσχυση DNA	Εντεροτοξική <i>E. coli</i> : ταχεία διάγνωση της λοίμωξης από μηνιγγιτιδόκοκκο <i>Mycobacterium leprae</i>

- μέγεθος
- χαρακτηριστικά της ανάπτυξης
- περιεχόμενο DNA και ομοιότητα ακολουθιών.

Η χρώση κατά Gram είναι η πιο σημαντική χρώση στην ιατρική μικροβιολογία. Οι θετικοί κατά Gram μικροοργανισμοί διατηρούν το ιώδες χρώμα της πρώτης χρωστικής του κρυσταλλικού ιώδους μετά τη μονιμοποίηση με ιώδιο και την έκπλυση με αλκοόλη, ενώ οι αρνητικοί κατά Gram μικροοργανισμοί αποχρωματίζονται με την αλκοόλη και χρωματίζονται κόκκινοι από τη δεύτερη κόκκινη

χρωστική (σαφρανίνη). Οι μικροοργανισμοί με ασυνήθιστα κυτταρικά τοιχώματα απαιτούν ειδικές χρώσεις, π.χ. οξεάντοχες χρώσεις για τα μυκοβακτηρίδια.

Μολονότι τα χαρακτηριστικά της χρώσης και της ανάπτυξης αποτέλεσαν τη βάση της διαγνωστικής μικροβιολογίας, η ανακάλυψη τεχνικών που χρησιμοποιούν ανιχνευτές και ενίσχυση του DNA καθώς και πολυκλωνικά και μονοκλωνικά αντισώματα αύξησε σε μεγάλο βαθμό την ταχύτητα, το εύρος και την ευαισθησία των διαγνωστικών εξετάσεων.



Εικ. 2 Δομή των θετικών (α) και αρνητικών (β) κατά Gram βακτηρίων.

Μέγεθος και δομή (Εικ. 1)

Τα παθογόνα βακτήρια εμφανίζουν ποικιλία μεγεθών: από τα μυκοπλάσματα (διάμετρο 0,2–0,8 μm) μέχρι τα αρνητικά κατά Gram βακτηρίδια (0,5–6,0 μm). Τα θετικά και τα αρνητικά κατά Gram βακτηρίδια διαφέρουν στη σύνθεση του κυτταρικού τοιχώματος αλλά διαθέτουν τυπική προκαρυωτική εσωτερική δομή.

Κιτταροπλασματική μεμβράνη

Η κιτταροπλασματική μεμβράνη αποτελείται από πρωτεΐνες και φωσfolιπίδια, αλλά όχι (εκτός από το *Mycoplasma*) από στερόλες, όπως στα ευκαρυωτικά κύτταρα. Αποτελεί ωσμωτικό φράγμα μεταξύ κυττάρου και περιβάλλοντος και στις βασικές της λειτουργίες περιλαμβάνονται: 1. μεταφορά ηλεκτρονίων, 2. ύπαρξη ενζύμων συστημάτων σαν αυτών των ευκαρυωτικών μιτοχονδρίων, 3. μεταφορά διαλυμένων ουσιών, 4. μεταφορά κυτταρικών προϊόντων.

Κιτταρικό τοίχωμα (Εικ. 2)

Το κιτταρικό τοίχωμα έχει πολλές λειτουργίες, απορρέουσες από τη δομή του:

- με την ακαμψία του προστατεύει την κυτταρική μεμβράνη από ωσμωτική ή μηχανική ρήξη προσδίδει το σταθερό σχήμα στα βακτήρια
- περιέχει πολλά χαρακτηριστικά αντιγόνα, σημαντικά τόσο για τη λοιμογόνο δύναμη του βακτηρίου και τις ενδοτοξίνες όσο και για τον σχηματισμό αντισωμάτων από τον ξενιστή
- δημιουργεί σταθερή βάση για τα τριχίδια (κροσσοί) και τα μαστίγια.

Θετικά κατά Gram κύτταρα

Το κιτταρικό τοίχωμα των Gram-θετικών βακτηρίων (Εικ. 2α) σχηματίζεται κυρίως από πολλές στιβάδες πεπτιδογλυκάνης (μуреΐνης), ενός σύνθετου πολυμερούς από μεγάλες πολυσακχαρτικές αλυσίδες εναλλασσόμενων μορίων N-ακετυλογλυκοζαμίνης και N-ακετυλομουραμινικού οξέος, με μικρές πλάγιες πενταπεπτιδικές αλυσίδες αλληλοσυνδεδεμένες με πεπτιδικούς δεσμούς μεταξύ μορίων λυσίνης και D-αλανίνης· με τον τρόπο αυτόν σχηματίζεται ένα άκαμπτο πολικό τοίχωμα. Τα άλλα πολυμερή του τοιχώματος περιέχουν τειχοϊκά

οξέα και αλυσίδες γλυκερόλης ή ριβιτόλης συνδεδεμένες με φωσφοδιεστερικούς δεσμούς.

Αρνητικά κατά Gram κύτταρα

Το κιτταρικό τοίχωμα των Gram-αρνητικών μικροοργανισμών (Εικ. 2β) σχηματίζεται από λεπτότερη στιβάδα της ίδιας πεπτιδογλυκάνης, αλλά οι διασυνδέσεις των πλάγιων αλυσίδων πραγματοποιούνται μεταξύ D-αμινοπιμελικού οξέος και D-αλανίνης. Η στιβάδα της πεπτιδογλυκάνης βρίσκεται σε περιπλασματικό χώρο μεταξύ της εσωτερικής κιτταροπλασματικής μεμβράνης και μιας ιδιότυπης δίστιβης φωσfolιπιδικής εξωτερικής μεμβράνης, η οποία στην εσωτερική της επιφάνεια έχει λιποπρωτεΐνη συνδεδεμένη με την πεπτιδογλυκάνη και στην εξωτερική της επιφάνεια έχει ειδικό λιποπολυσακχαρίτη (LPS).

Ο ειδικός πολυσακχαρίτης (LPS) αποτελείται από τρία συστατικά: α) το λιπίδιο A που αποτελεί κύριο στοιχείο της ενδοτοξίνης και σημαντικό παράγοντα για την πρόκληση σηπτικής καταπληξίας, β) πολυσακχαριτικό πυρήνα και γ) μεταβλητή υδατανθρακική αλυσίδα το διακριτικό σωματικό αντιγόνο O που ανιχνεύεται ορολογικώς. Ο LPS είναι υδρόφοβος και παρέχει αντίσταση στα αντιβιοτικά και στα χολικά άλατα.

Μυκοβακτηρίδια

Το κιτταρικό τοίχωμα των μυκοβακτηριδίων και άλλων οξείαντοχων μικροοργανισμών χαρακτηρίζεται περιέχει κηρούς και εστέρες λιπαρών οξέων με αλκοόλες. Έτσι σχηματίζεται ένα σχεδόν αδιαπέραστο περίβλημα, το οποίο εμποδίζει την

απομάκρυνση των χρωστικών με οξέα και προσφέρει αντοχή στην αποξήρανση και σε πολλά απολυμαντικά, απορρυπαντικά και αντιβιοτικά. Επιβραδύνει επίσης την είσοδο θρεπτικών ουσιών.

Έλυτρο (κάψα)

Το έλυτρο ή κάψα αποτελείται από βλενώδη πολυσακχαρίτη και προφυλάσσει το κυτταρικό τοίχωμα πολλών βακτηρίων από αντίξοες συνθήκες· μπορεί να εξαφανιστεί στις εργαστηριακές καλλιέργειες. Στις λοιμώξεις αυξάνει την ανθεκτικότητα στη φαγοκυττάρωση από τα λευκά αιμοσφαίρια και διευκολύνει την προσκόλληση του μικροοργανισμού σε ιστούς, καθετήρες και προθέσεις.

Φίμπριες (τριχίδια ή κροσσοί)

Τα τριχίδια (κροσσοί) μοιάζουν με τριχες και είναι τουλάχιστον δύο τύπων:

- Συζευκτικά (φυλετικά) τριχίδια: εξειδικευμένες δομές για τη μεταφορά DNA μετά τη σύζευξη κυττάρων
- Κοινά τριχίδια: είναι μικρότερα και διευκολύνουν την προσκόλληση στα κύτταρα του ξενιστή, αυξάνουν την ανθεκτικότητα στη φαγοκυττάρωση και με ταχείες αλλαγές της αντιγονικής τους πρωτεΐνης (πιλίνη) αποφεύγουν την αντισωματική απάντηση του ξενιστή.

Βλεφαρίδες (μαστίγια)

Οι βλεφαρίδες έχουν πολύ μεγαλύτερο μήκος από τις φίμπριες και κινούν τα βακτήρια, τα οποία μπορεί να είναι μονότριχα (μία βλεφαρίδα στο ένα ή και στα δύο άκρα), λοφιοτρίχα (πολλές βλεφαρίδες στο ένα ή και στα δύο άκρα) ή περίτριχα (βλεφαρίδες σε όλη την επιφάνεια). Η σταθερή, αντίθετη προς τη φορά των δεικτών του ωρολογίου, περιστροφή των μαστιγίων, λόγω της παρόμοιας ελικοειδούς δομής της πρωτεΐνης τους, δημιουργεί ευθεία κολυμβητική κίνηση, σαν τη χημειοταξία προς ελκυστικό παράγοντα, ενώ η περιστροφή κατά τη φορά των δεικτών του ωρολογίου κινεί το βακτήριο με τούμπες, όπως στην περίπτωση των απωθητικών παραγόντων.

Σπόροι

Οι σπόροι σχηματίζονται κυρίως από τα είδη *Clostridium* και *Bacillus* και είναι συμπυκνωμένο μικροβιακό DNA περιβαλλόμενο από εξαιρετικά ανθεκτικό πρωτεϊνικό στρώμα. Το κύτταρο είναι μεταβολικώς αδρανές και ικανό να αντέξει σε ξηρασία, θερμότητα και πολλές χημικές ουσίες επί μήνες ή έτη.

Χαρακτηριστικά των βακτηρίων (1)

- Το πρώτο όνομα των βακτηρίων δείχνει το γένος και το δεύτερο όνομα το είδος.
- Τα βακτήρια αρχικά ταξινομήθηκαν βάσει σχήματος, χρώσης κατά Gram και αναγκών σε οξυγόνο, σε συνδυασμό με βιοχημικούς και ορολογικούς χαρακτήρες. Σήμερα χρησιμοποιείται η γενετική για να βρεθούν θεμελιώδεις σχέσεις μεταξύ τους.
- Τα βακτήρια είναι προκαρυωτικοί μικροοργανισμοί με ελεύθερο κυκλικό DNA, ριβοσώματα, καθόλου μιτοχόνδρια και κιτταρικό τοίχωμα από πεπτιδογλυκάνη.
- Η δομή των βακτηρίων περιλαμβάνει:
 - εσωτερική δομή: πυρηνικό υλικό, ριβοσώματα, κυτταρική μεμβράνη
 - κιτταρικό τοίχωμα: πεπτιδογλυκάνη (επιπλέον περιπλασματικό χώρο και εξωτερική μεμβράνη στα Gram-αρνητικά βακτήρια)
 - εξωτερικές δομές: κάψα, τριχίδια, μαστίγια
- Οι σπόροι είναι μεταβολικώς ανενεργοί εντός προστατευτικού περιβλήματος.

Χαρακτηριστικά των βακτηρίων (2)

Ενέργεια, διατροφή και ανάπτυξη

Ενεργειακές πηγές και διεργασίες

Τα βακτήρια χρησιμοποιούν για τις ενεργειακές τους ανάγκες τρεις πηγές: α) χημικές αντιδράσεις (χημικοτροφία), β) φως (φωτοτροφία) και γ) παρασιτισμός στα κύτταρα του ξενιστή (παρατροφία). Όταν οι αντιδράσεις που αποδίδουν ενέργεια χρησιμοποιούν οργανικές ενώσεις χρησιμοποιείται ο όρος οργανοτροφία, ενώ για τις ανόργανες αντιδράσεις ο όρος λιθοτροφία. Συνεπώς, η ενέργεια που προέρχεται από δότες οργανικού υδρογόνου υπό την επίδραση του φωτός θα ονομάζονταν φωτο-οργανοτροφία (σε μερικά αναερόβια βακτήρια).

Διατροφή

Τα βακτήρια παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία θρεπτικών απαιτήσεων. Τα αυτότροφα μπορούν να ζήσουν σε τελείως ανόργανο περιβάλλον· ζουν ελεύθερα και σπανίως έχουν ιατρική σημασία. Τα ετερότροφα χρειάζονται εξωγενή προσφορά ενός ή περισσότερων μεταβολιτών. Τα περισσότερα βακτήρια που ενδιαφέρουν την Ιατρική ανήκουν σ' αυτήν την ομάδα· άλλα από αυτά διαθέτουν μεγάλη συνθετική ικανότητα (π.χ. *Escherichia coli*) και άλλα χρειάζονται εξωγενείς αυξητικούς παράγοντες για να αναπτυχθούν (π.χ. βιταμίνες για μερικούς στρεπτοκόκκους). Τέλος, μερικά από τα παρασιτικά και παθογόνα είδη μπορούν να επιβιώσουν μόνο εντός των κυττάρων (αυτοτροφία)· διαθέτουν DNA και RNA, αλλά περιορισμένη έκταση ανεξάρτητη μεταβολική δραστηριότητα.

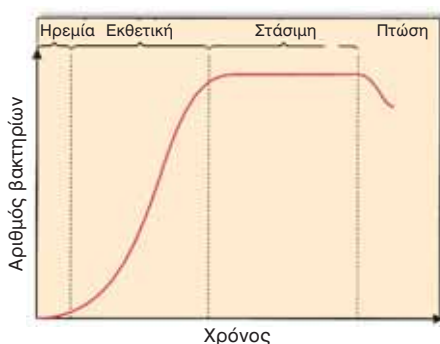
Ανάπτυξη

Χρόνος διπλασιασμού ή χρόνος γενεάς είναι αυτός που παρεμβάλλεται μεταξύ των δύο διαδοχικών (με διχοτόμηση) διαιρέσεων ενός βακτηρίου και κυμαίνεται από περίπου 20 λεπτά για την *E. coli* και παρεμφερή βακτήρια όταν καλλιεργούνται σε εργαστηριακές συνθήκες στα κατάλληλα θρεπτικά υλικά και μέχρι 24 ώρες για τα βακτηρίδια της φυματίωσης. Ισορροπία ανάπτυξη επιτυγχάνεται όταν υπάρχουν όλες οι αναγκαίες θρεπτικές ουσίες, ενώ συνθετικότερη στη φύση είναι η μη ισορροπημένη ανάπτυξη, λόγω εναλλαγών του περιβάλλοντος και μη ελλειπών εφοδιασμού με θρεπτικές ύλες. Οι φάσεις της ανάπτυξης βακτηρίων που βρίσκονται σε αφθονία θρεπτικών υλών παρουσιάζονται στην Εικ. 1. Τα κύτταρα στην εκθετική φάση ανάπτυξης είναι τα περισσότερο λοιμογόνα.

Μεταβολισμός

Εξετάζεται καλύτερα σε τρία στάδια:

- **Ενδιάμεσος μεταβολισμός:** χρησιμοποίηση κάποιας πηγής άνθρακα, π.χ. γλυκόζης, για προσπορισμό ενέργειας και μικρών μορίων όπως το πυροσταφυλικό.
- **Βιοσυνθετικές οδοί:** σύνθεση αμινοξέων, πουρινών, πυριμιδινών, πολυσακχαριτών και λιπιδίων από τα μικρά αυτά μόρια με άζωτο, θείο και άλλα ανόργανες ουσίες.



Εικ. 1 Φάσεις της καμπύλης ανάπτυξης των βακτηρίων.

- **Γενετικές εντολές:** εισαγωγή τους σε μακρομόρια και οργανίδια του βακτηρίου έτοιμα για την κυτταρική διαίρεση.

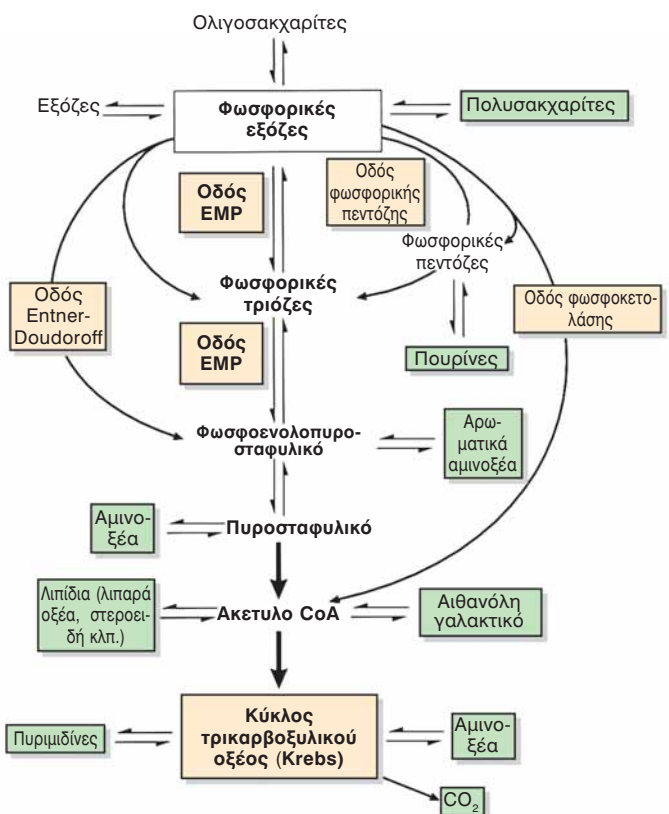
Ενδιάμεσος μεταβολισμός

Τα βακτήρια έχουν προσαρμοστεί στη χρησιμοποίηση τεράστιου πλήθους ουσιών ως πηγών ενέργειας και είναι ικανά για ποικίλες μεταβολικές δραστηριότητες. Σχεδόν όλα τα βακτήρια χρησιμοποιούν τη γλυκόζη και είναι συνήθως η διασύνδεση οδών ανεξαρτήτως μεταβολικής ικανότητας (Εικ. 2). Οι δύο βασικές μεταβολικές οδοί είναι:

- **Γλυκολυτική οδός Embden–Meyerhof–Parnas (EMP)**, για τη μετατροπή γλυκόζης σε πυροσταφυλικό με παραγωγή ενέργειας υπό τη μορφή του ATP.
- **Κύκλος τρικαρβοξυλικού οξέος (TCA) ή κύκλος Krebs:** χρησιμοποιεί κατόπιν το πυροσταφυλικό και το ATP τόσο για παραγωγή επιπλέον ενέργειας όσο και το σχηματισμό ενδιάμεσων προϊόντων της βιοσύνθεσης αμινοξέων και λιπαρών οξέων.

Διάφορα βακτήρια χρησιμοποιούν επιπλέον οδούς, όπως:

- **Κύκλος φωσφορικής πεντόζης**, για τη χρησιμοποίηση πεντοζών (αντί εξοζών, όπως η γλυκόζη) ως πηγής ενέργειας για σχηματισμό ATP και NADPH και ανθρακικών ενώσεων για τη σύνθεση νουκλεοτιδίων (πουρίνης και πυριμιδίνης).
- **Αναερόβια οδός Entner–Doudoroff**, για τη μετατροπή γλυκόζης σε πυροσταφυλικό μέσω 6-φωσφογλυκονικού οξέος αντί της αερόβιας οδού EMP. Την χρησιμοποιούν και οι σημαντικές για ενδοσποριομεικές λοιμώξεις ψευδομονάδες για να μεταβολίσουν το γλυκονικό και συναφείς ενώσεις εξωκυτταρίως, χρησιμοποιώντας ένζυμα της κυτταρικής τους μεμβράνης και αποφεύγοντας να χρησιμοποιήσουν ενέργεια για τη μεταφορά γλυκόζης.
- **Μετατροπή ενώσεων με 4 άτομα άνθρακα σε ενώσεις με 3 άτομα**, όπως το μηλικό σε πυροσταφυλικό και το ακετοξικό σε πυροσταφυλικό μέσω φωσφοενολοπυροσταφυλικού.



Εικ. 2 Ενδιάμεσος μεταβολισμός και μείζονες βιοσυνθετικές οδοί.

- Οδός φωσφοκετολάσης, για τη ζύμωση γλυκόζης ή πεντοζών προς πυροσταφυλικό, γαλακτικό, οξικό ή αιθανόλη, όταν λείπουν μερικά ένζυμα της γλυκολυτικής οδού EMP.
- Μεταβολισμός πυροσταφυλικού προς γαλακτικό, ηλεκτρικό (σουξινικό), προπιονικό, ακετόνη, οξικό, ακετόνη, βουτανόλη και αιθανόλη.

Βιοσυνθετικές οδοί

Σύνθεση πουρινών

Οι πουρίνες συντίθενται από 5-φωσφορική ριβόζη, η οποία παράγεται στον κύκλο φωσφορικής πεντόζης ή στην οδό φωσφοκετολάσης.

Σύνθεση πυριμιδινών από RNA

Η αμινοομάδα της γλουταμίνης μαζί με CO₂ και ασπαρτικό σχηματίζουν καρβαμυλο-ασπαρτικό οξύ, το οποίο χάνει νερό και μετατρέπεται σε διυδροροτικό οξύ, πρόδρομη ουσία των πυριμιδινών ουριδίνης και κυτιδίνης.

Σύνθεση αμινοξέων

Βασικό χαρακτηριστικό των αμινοξέων είναι ο ανθρακικός σκελετός τους· η βιοσύνθεση αρχίζει από τέσσερα ενδιάμεσα προϊόντα του μεταβολισμού (Εικ. 3) και δημιουργεί τέσσερις οικογένειες.

Χρησιμοποίηση σύνθετων υποστρωμάτων

Τα βακτήρια μπορούν να χρησιμοποιήσουν πολλά μεγάλα μόρια ως υποστρώματα, τα οποία αποσυνθέτουν με οξείδωση, αναγωγή και με ειδική ενζυμική δράση για να ανακυκλωθεί ο άνθρακας και το άζωτο προς παραγωγή ενεργείας. Τα βακτήρια είναι ικανά για μεγαλύτερο φάσμα τέτοιων διεργασιών απ' ό,τι οι μύκητες, ενώ αμφότερα επιτελούν χημικές αντιδράσεις αδύνατες για φυτά και ζώα.

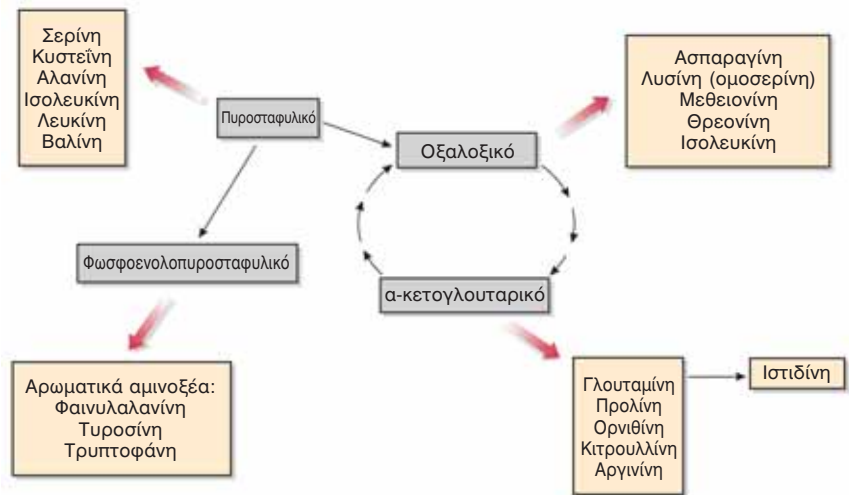
Τα βακτήρια και οι μύκητες μπορούν να χρησιμοποιήσουν όχι μόνο τα νιτρικά, αλλά και νιτρώδη, αμμωνία, ακόμη και άζωτο για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους σε άζωτο. Μερικά βακτήρια μπορούν να αντιστρέψουν αυτή τη διεργασία, παράγοντας άζωτο από νιτρικά.

Γενετική

Το γονιδίωμα (γενετικό υλικό) των βακτηρίων αποτελείται από DNA ευρισκόμενο μέσα σε ένα μακρύ «κυκλικό» χρωμόσωμα, υπερελικωμένο από το ένζυμο DNA γυράση. Το χρωμόσωμα απαρτίζεται από 3000 έως 6000 γονίδια, τα οποία είναι συγκεκριμένες αλληλουχίες του DNA, κωδικογραφημένες σε κωδικόνια εκ τριών νουκλεοτιδικών ζευγών βάσεων του αγγελιαφόρου RNA, για συγκεκριμένα αμινοξέα που σχηματίζουν πολυπεπτίδια. Δεν υπάρχουν ιντρόνια (αλληλουχίες μεταξύ των γονιδίων) όπως στα ευκαρυωτικά κύτταρα. Η πλήρης έκφραση του γονιδιώματος αποτελεί το γονότυπο, αλλά αυτά που φαίνονται – ο φαινότυπος – συχνά είναι λιγότερα, λόγω λανθανουσών και ανέκφραστων ιδιοτήτων.

Γενετικές αλλαγές των βακτηρίων

Επειδή τα βακτήρια είναι απλοειδή, δεν υπάρχει ανταλλαγή γενετικού υλικού με μείωση και σχηματισμός ζυγώτη όπως στους ευκαρυωτικούς οργανισμούς. Η γενετική αλλαγή πραγματοποιείται μόνο



Εικ. 3 Βιοσύνθεση αμινοξέων.

με τυχαίες μεταλλάξεις ή με έναν από τρεις τύπους ανταλλαγής γονιδίων. Η αναλογία των τυχαίων μεταλλάξεων είναι περίπου 1 ανά 107 έως 108 κυτταρικές διαιρέσεις και μπορεί να οδηγήσει, για παράδειγμα, σε αλλαγή του χρώματος των αποικιών, απώλεια κάποιας βιοχημικής δράσης ή αντίστασης σε αντιβιοτικό. Το αποτέλεσμα της εισαγωγής μέρους γονιδιώματος (εξωγενετικό) από μικροβιακό δότη σε ανέπαφο λήπτη είναι ένας μεροζυγώτης, παράγωγο του ανασυνδυασμού γονιδίων δότη και λήπτη.

Οι τρεις τύποι ανταλλαγής γονιδίων είναι:

- **Μεταμόρφωση:** η μεταφορά ελεύθερου θραύσματος του DNA από ένα βακτήριο σε άλλο του ίδιου γένους, π.χ. όπως συμβαίνει σε *Strep. pneumoniae*, *H. influenzae*.
- **Μεταγωγή:** θραύσμα μικροβιακού DNA

μεταφέρεται μέσω βακτηριοφάγου (ιού που προσβάλλει βακτήρια) από ένα βακτήριο σε άλλο.

- **Σύζευξη:** μεταβίβαση σε βακτήρια που διαθέτουν πλασμίδια μετάδοσης του παράγοντα γονιμότητας (F, fertility). Τα βακτήρια F+ συνδέονται με βακτήρια F- και μεταφέρουν μέρος του χρωμοσώματος του κυττάρου-δότη, περίπου 1% κατά λεπτό (η διακοπή αυτής της διεργασίας σε διάφορους χρόνους επιτρέπει τη χαρτογράφηση του χρωμοσώματος του δότη).

Πολλά βακτήρια περιέχουν πλασμίδια, μικρότερα κυκλικά τεμάχια DNA περιέχονται 1000 έως 25.000 ζεύγη βάσεων. Τα πλασμίδια μεταφέρουν πολύ σημαντικές γενετικές πληροφορίες, συμπεριλαμβανομένης της αντίστασης σε αντιβιοτικά. Είναι επίσης δυνατόν να ενσωματωθούν στο χρωμόσωμα ως τρανσποζόνια.

Χαρακτηριστικά των βακτηρίων (2)

- Η ενέργεια των βακτηρίων προέρχεται από τρεις πηγές: φως, χημικές αντιδράσεις (στα περισσότερα παθογόνα) ή κύτταρο του ξενιστή.
- Τα περισσότερα παθογόνα βακτήρια είναι ετερότροφα και έχουν ανάγκη από εξωτερική πηγή για μερικούς απαραίτητους μεταβολίτες.
- Ο χρόνος διπλασιασμού (χρόνος μεταξύ των κυτταρικών διαιρέσεων) των περισσότερων παθογόνων είναι περίπου 20 λεπτά, αλλά στο *M. tuberculosis* φθάνει τις 24 ώρες.
- Τα βακτήρια που διεισδύουν να αυξηθούν αρχίζουν την ισόρροπη αύξηση με φάση ηρεμίας και ακολουθεί η φάση εκθετικής αύξησης και η στατική φάση, όταν εξαντληθούν μερικές απαραίτητες θρεπτικές ύλες.
- Ο ενδιάμεσος μεταβολισμός των βακτηρίων ποικίλλει ευρέως, αλλά βασίζεται σε δύο κύριες οδούς: τη γλυκολυτική οδό EMP από γλυκόζη σε πυροσταφυλικό και τον κύκλο TCA του Krebs.
- Τα βακτήρια διαθέτουν ισχυρές και ποικίλες καταβολικές οδούς για τη διάσπαση μακρομορίων και την ανακύκλωση του άνθρακα και του αζώτου.
- Το μικροβιακό γονιδίωμα βρίσκεται σ' ένα μονήρες υπερελικωμένο χρωμόσωμα, μη περιβαλλόμενο από πυρηνική μεμβράνη, το οποίο κωδικογραφεί με τρία νουκλεοτιδικά ζεύγη τη σύνθεση αμινοξέων μέσω mRNA.
- Γενετικές αλλαγές λαμβάνουν χώρα μέσω μεταλλάξεων, μετατοπίσεων θραυσμάτων ελεύθερου DNA, μεταγωγής από βακτηριοφάγους ή σύζευξης, μιας μορφής σεξουαλικής μεταφοράς μικρών ελεύθερων τεμαχίων DNA, αποκαλούμενων πλασμιδίων.

Χαρακτηριστικά των μυκήτων (1)

Ονοματολογία

Οι μύκητες, όπως τα βακτήρια, έχουν δύο ονόματα κατά το σύστημα του Λινναίου, με πρώτο του γένους (με κεφαλαίο το αρχικό και πλάγια γράμματα) και δεύτερο του είδους (πλάγια, χωρίς κεφαλαίο γράμμα). Όλοι οι μύκητες αναπαράγονται ασεξουαλικά με αποτέλεσμα την ανάμορφη κατάσταση (ατελείς μύκητες), ενώ πολλοί αναπαράγονται και σεξουαλικά με αποτέλεσμα την τελειόμορφη κατάσταση (τέλειοι μύκητες). Δυστυχώς, πολλά ζεύγη τέτοιων καταστάσεων περιγράφηκαν και ονομάστηκαν πριν γίνει αντιληπτό ότι ήταν διαφορετικές μορφές του ίδιου μύκητα, π.χ. *Cryptococcus neoformans* (ανάμορφος) και *Filobasidiella neoformans* (τελειόμορφος). Οι κλινικοί χρησιμοποιούν την ονομασία της ιστικής (ανάμορφης) μορφής.

Οι μύκητες μπορεί να είναι φυσιολογικοί άποικοι του στόματος και του εντέρου. Όταν υπάρχει προδιαθέτουσα κατάσταση (π.χ. εγκυμοσύνη, διαβήτης, ανοσοκαταστολή, θεραπεία με ευρέως φάσματος αντιβιοτικά), οι μύκητες είναι δυνατόν να πολλαπλασιαστούν και να προκαλέσουν νόσο, π.χ. στοματίτιδα ή ακόμα και ενδοκαρδίτιδα.

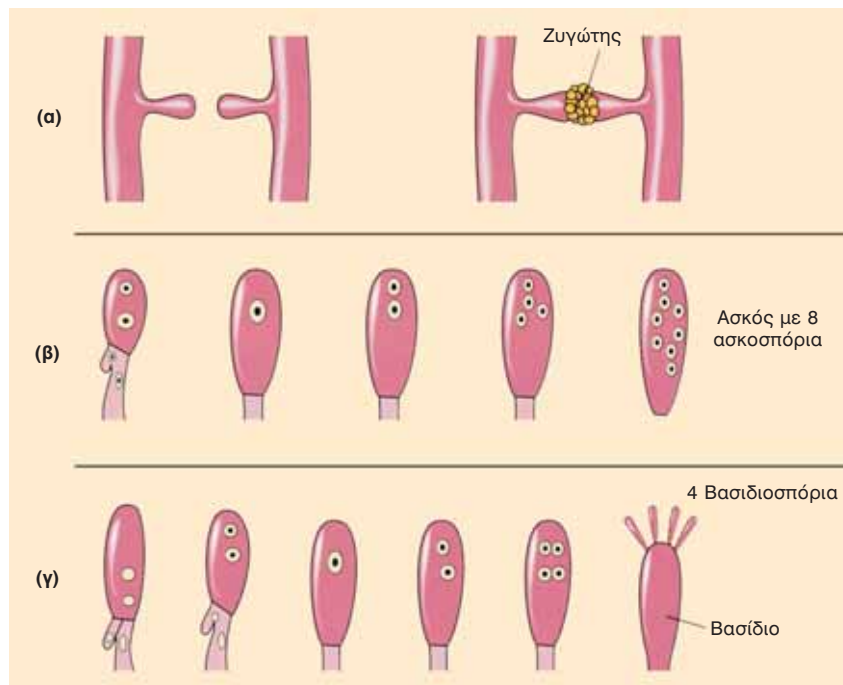
Ταξινόμηση

Το βασίλειο των μυκήτων περιλαμβάνει δύο φυλές:

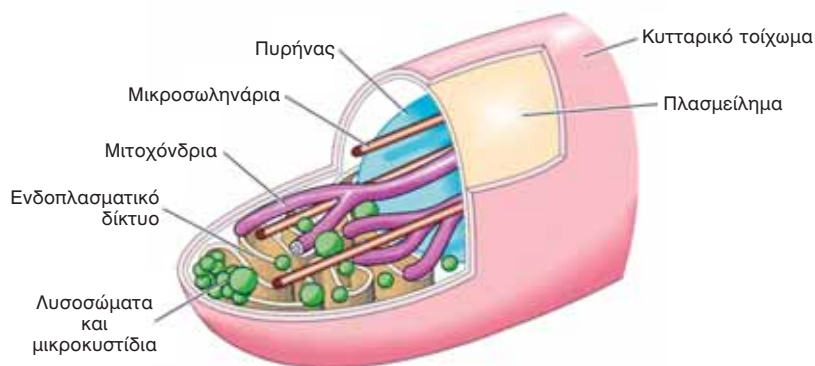
- Ζυγομύκητες (Zygomycota), οι οποίοι ταχέως παράγουν σεξουαλικά διπλοειδή ζυγώτη και ασεξουαλικά σπορογχειοσπόρια. Π.χ., *Rhizopus*, *Mucor* και άλλα είδη που προκαλούν ζυγομυκητίαση (Εικ. 1α).
- Δικαρυομύκητες (Dicaryomycota), στους οποίους οι απλοειδείς πυρήνες δεν συντήκονται ταχέως, με αποτέλεσμα την εμφάνιση παρατεταμένου δικαρυωτικού σεξουαλικού κύκλου.

Η φυλή Dicaryomycota έχει δύο υποφυλές: Ασχομύκητες (Ascomycotina) και Βασιδιομύκητες (Basidiomycotina). Στην πρώτη φυλή, η οποία περιλαμβάνει όλους τους μύκητες που προκαλούν τριχοφυτίες, ο κύκλος αυτός λαμβάνει χώρα αποκλειστικά εντός σάκου (ασκός) και παράγονται ασκοσπόρια (Εικ. 1β). Στη φυλή των βασιδιομυκήτων, η οποία περιλαμβάνει τον *Cryptococcus*, ο κύκλος αυτός αρχίζει μέσα σε σάκο (βασίδιο) και ολοκληρώνεται με ωρίμανση στο εξωτερικό του βασιδίου, παράγοντας βασιδιοσπόρια (Εικ. 1γ).

Οι μύκητες στους οποίους ακόμη δε βρέθηκε σεξουαλική μορφή, και γι' αυτό δεν είναι δυνατόν να ταξινομηθούν οριστικά, αποκαλούνται ατελείς μύκητες· σε αυτούς περιλαμβάνονται πολλά παθογόνα: *Candida*, *Torulopsis* και είδη *Epidermophyton*.



Εικ. 1 Ταξινόμηση με βάση τον τρόπο αναπαραγωγής. (α) Σχηματισμός ζυγώτη στους Ζυγομύκητες, π.χ. είδη *Mucor*. (β) Σχηματισμός ασκού στους Ασχομύκητες, π.χ. είδη *Trichophyton*. (γ) Σχηματισμός βασιδίου στους Βασιδιομύκητες, π.χ. *Cryptococcus*.



Εικ. 2 Δομή μυκητικού κυττάρου.

Δομή

Οι μύκητες, ως ευκαρυωτικοί μικροοργανισμοί, έχουν δομή (Εικ. 2) πολύ διαφορετική από τα προκαρυωτικά βακτήρια (βλέπε σ. 2–3). Οι μύκητες έχουν πυρήνα ο οποίος περιέχει το χρωμοσωματικό τους DNA και έναν πυρηνικό πλούσιο σε RNA εντός της πυρηνικής μεμβράνης.

Το κυτταρόπλασμα, εκτός από τα ριβοσώματα, περιέχει μιτοχόνδρια, λυσοσώματα και μικροκυτίδια, μικροσωληνάρια, συσκευή Golgi και ενδοπλασματικό δίκτυο με διπλή μεμβράνη. Οι ανωτέρω δομές (κυτοσόλη) περικλείονται στην κυτταρική μεμβράνη ή πλασμίδη, η οποία, εκτός από λιπίδια και γλυκοπρωτεΐνες, περιέχει

και εργοστερόλη. Τα βακτήρια (πλην του *Mycoplasma*) δεν περιέχουν στερόλες, ενώ τα κύτταρα των θηλαστικών περιέχουν χοληστερόλη αντί της εργοστερόλης, γι' αυτό η τελευταία αποτελεί στόχο των αντιμυκητικών φαρμάκων.

Εξωτερικώς του πλασμιδήματος υπάρχει ένα άκαμπτο κυτταρικό τοίχωμα, αποτελούμενο από πολυμερές της N-ακετυλογλυκοζαμίνης, τη χιτίνη, καλυπτόμενο από στιβάδες πολυπεπτιδίων με σύνθετους πολυσακχαρίτες, οι οποίοι περιλαμβάνουν μαννάνες και γλυκάνες. Μερικοί μύκητες, π.χ. τα είδη *Cryptococcus*, διαθέτουν μία επιπλέον στιβάδα, την πολυσακχαριτική κάψα. Το κυτταρικό τοίχωμα και η κάψα έχουν πολλαπλές λειτουργίες,