ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΑΝΟΙΚΤΑ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ ΜΑΘΗΜΑΤΑ

Τίτλος Μαθήματος: Γενική Μικροβιολογία

Ενότητα: ΚΑΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Διδάσκων: Καθηγητής Ιωάννης Σαββαΐδης

Τμήμα: Χημείας

BY SA

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
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Μεταβολισμός των Βακτηρίων

Ο μεταβολισμός των μικροοργανισμών μπορεί να διαιρεθεί στον καταβολισμό και τον αναβολισμό. Αποτέλεσμα του καταβολισμού είναι αφενός η παραγωγή απλούστερων οργανικών ενώσεων, οι οποίες αποτελούν τους δομικούς λίθους για τη σύνθεση των κυτταρικών πολυμερών (πρωτεϊνών, λιποπολυσακχατιτών, νουκλεϊνικών οξέων, πολυπεπτιδίων του κυτταρικού τοιχώματος) και αφετέρου η παροχή ορισμένων οργανικών ενώσεων υψηλής ενεργειακής στάθμης, όπως η τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP) και οι αναχθείσες μορφές των πυριδινονουκλεοτιδίων. Το ATP είναι απαραίτητο για την ενεργητική είσοδο στα κύτταρα των διαφόρων θρεπτικών ουσιών, για τη φωσφορυλίωση των θρεπτικών υποστρωμάτων, στην αρχή του καταβολισμού τους προς ουσίες μικρού μοριακού βάρους και για τη βιοσύνθεση των κυτταρικών πολυμερών.

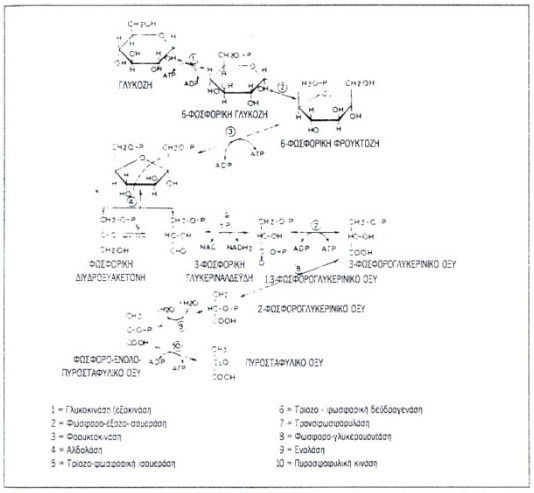
Ο καταβολισμός κάθε οργανικής ουσίας όπως υδατανθράκων, πρωτεϊνών, λιπιδίων, αναφέρεται σε βιολογικές οξειδώσεις και μεταφορά ηλεκτρονίων με δέκτες οργανικές ή ανόργανες ουσίες. Στην περίπτωση που δέκτες ηλεκτρονίων είναι οργανικές ενώσεις η διαδικασία καλείται ζύμωση. Όταν ως δέκτες ηλεκτρονίων χρησιμοποιούνται ανόργανες ουσίες, η διαδικασία του καταβολισμού καλείται αερόβιος αναπνοή (μοριακό οξυγόνο) ή αναερόβιος αναπνοή (ανόργανα άλατα).

ΚΑΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΩΝ

Καταβολισμός των υδατανθράκων με ζύμωση. Οι θρεπτικές ουσίες που ζυμώνονται από την πλειονότητα των μικροοργανισμών είναι υδατάνθρακες. Η ζυμωτική διάσπαση των υδατανθράκων γίνεται με την γλυκόλυση. Γλυκόλυση είναι η μετατροπή της γλυκόλυσης σε πυροσταφυλικό οξύ ανεξάρτητα από την ακολουθούμενη μεταβολική οδό.

Η μεταβολική οδός των Embden-Meyerhof και το παρακύκλωμα της φωσφορικής πεντόζης αποτελούν τις κύριες πηγές της γλυκόλυσης.

Με το μεταβολικό δρόμο των Embden-Meyerhof στους μικροοργανισμούς συνδέονται διάφορες ζυμώσεις που παίρνουν το όνομά τους από τις οργανικές ουσίες που παράγονται με την οξείδωση των πυρινονουκλεοτιδίων (**Σχήμα 8.1**).



Σχήμα 8.1 Είδη ζυμώσεων της οδού Embden-Meyerhof.

Σχήμα 8.1 Είδη ζυμώσεων της οδού Embden-Meyerhof.

Η **γαλακτική ζύμωση** χαρακτηρίζει κυρίως τα βακτήρια που ανήκουν στα γένη: *Streptococcus, Lactobacillus,* και *Peptostreptococcus*.

Η **αλκοολική ζύμωση** δεν παρατηρείται στα βακτήρια αλλά σε ορισμένα είδη μυκήτων (π.χ. *Saccharomyces cerevisiae*).

Η **μικτή όξινη διάσπαση** παρατηρείται σε ορισμένα Εντεροβακτηριοειδή (*Enterobacteriaceae*) όπως Κολοβακτηρίδια, Σαλμονέλλες, Σιγγέλες και Γερσίνιες. Μερικά όμως γένη της ομάδας των Εντεροβακτηριοειδών (Σερράτιες, Πρωτεΐς), καθώς και ορισμένοι άλλοι μικροοργανισμοί ακολουθούν την βουτανεδιολική ζύμωση.

Η **προπιονική ζύμωση** χαρακτηρίζει τα αναερόβια βακτήρια του γένους *Propionibacterium, Veillonella, Clostridium propionicum*. Η παραγωγή προπιονικού οξέος από τη γλυκόζη χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση των

βακτηρίων *Propionibacterium, Veillonella, Clostridium propionicum.* Επίσης η παραγωγή προπιονικού οξέος από το γαλακτικό οξύ χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση πολλών αναεροβίων βακτηρίων.

Η **βουτυρική ζύμωση** χαρακτηρίζει τα αναερόβια Gram-θετικά σπορογόνα βακτήρια (*Clostridia*) και τα αναερόβια βακτήρια *Butyrivibrio* και *Fusobacterium.*

Η **ζύμωση ακετόνης-βουτανόλης** λαμβάνει χώρα κατ' εξοχήν από το βακτήριο *Clostridium acetobutylicum* ενώ σε άλλα βακτήρια παρατηρείται σε μικρό βαθμό.

Η **ζύμωση του ηλεκτρικού οξέος** χαρακτηρίζει τα αναερόβια Gram-αρνητικά βακτήρια που ανήκουν στα γένη *Bacteroides*, *Prevotella* και *Porphyromonas.*

Η **βουτανεδιολική ζύμωση** χαρακτηρίζει ορισμένα γένη της ομάδας των Εντεροβακτηριοειδών όπως τα *Acetobacter, Serratia,* και *Proteus,* και διάφορα άλλα βακτήρια όπως *Erwinia, Aeromonas, Clostridium acetobutylicum, Leuconostoc mesenteroides* και *Bacillus subtilis*. Κατά τη ζύμωση αυτή παράγονται, εκτός από τα προϊόντα που χαρακτηρίζουν την μικτή όξινη διάσπαση, η 2,3 βουτανεδιόλη και συγγενή προς αυτή προϊόντα, όπως η ακετοϊνη.

Πρακτική εφαρμογή των παραπάνω αποτελεί η χρησιμοποίηση στην εργαστηριακή διαγνωστική δύο κλασικών βιοχημικών δοκιμασιών για τη διαφορική διάγνωση των βακτηρίων μεταξύ των Εντεροβακτηριοειδών που ζυμώνουν τη λακτόζη. Η δοκιμασία ερυθρού του μεθυλίου (Methyl Red) έλέγχει το pH της καλλιέργειας και είναι θετική (όξινο pH) στην περίπτωση της μικτής όξινης διάσπασης (*E. coli, Salmonellae, Shigellae, Proteus*), ενώ είναι αρνητική στη βουτανεδιολική ζύμωση (*Aerobacter, Klebsiellae, Serratiae*). Η δοκιμασία Voges-Proskauer συνδυάζεται με την παρουσία της 2,3 βουτανεδιόλης και είναι θετική στην ομώνυμη ζύμωση, ενώ είναι αρνητική στη μικτή όξινη διάσπαση.

Με το **παρακύκλωμα της πεντόζης** συνδέεται η **ετερογαλακτική ζύμωση** κατά την οποία παράγονται γαλακτικό οξύ, αιθανόλη και CO_2. Την ζύμωση αυτή ακολουθούν βακτήρια που ανήκουν στα γένη *Leuconostoc* και *Lactobacillus*. Ορισμένα επίσης εντεροβακτηριοειδή, όπως *Escherichia. coli* και *Enterobacter aerogenes,* ζυμώνουν τη γλυκόζη συγχρόνως με το μεταβολικό δρόμο των Embden-Meyerhof και το παρακύκλωμα της πεντόζης.

ΑΝΑΠΝΟΗ

Αναπνοή. Είναι το σύνολο των μεταβολικών διεργασιών, οι οποίες συντελούν στην παροχή ενέργειας και κατά τις οποίες το μοριακό οξυγόνο ή οξειδωμένες ανόργανες ενώσεις χρησιμεύουν ως τελικοί δέκτες των ηλεκτρονίων που ελευθερώνονται στις βιολογικές οξειδώσεις.

Στην αερόβια αναπνοή το μοριακό οξυγόνο χρησιμεύει ως τελικός δέκτης των ηλεκτρονίων. Στην αναερόβια αναπνοή ως τελικοί δέκτες των ηλεκτρονίων χρησιμεύουν οξειδωμένες ανόργανες χημικές ενώσεις, όπως τα νιτρικά, τα θειικά και τα ανθρακικά άλατα.

Αερόβια αναπνοή. Στην αερόβια αναπνοή ο καταβολισμός της γλυκόζης προχωρεί μέχρι πλήρους μετατροπής της σε CO_2 και H_2O. Αυτή η διεργασία γίνεται με δύο μηχανισμούς: α) τον τρικαρβοξυλιακό κύκλο (κύκλος του Krebs), και το παρακύκλωμα της πεντόζης.

Η λειτουργία του κύκλου Krebs έχει πιστοποιηθεί σε πλήθος βακτηρίων όπως: *Escherichia coli, Salmonella spp, Brucella abortus, Mycobacterium tuberculosis* και *Pasteurella pestis.*

Η μεταβολική οδός του παρακυκλώματος της πεντόζης είναι υπεύθυνη εξ' ολοκλήρου για τη διάσπαση της γλυκόζης από το *Acetobacter xylinum* και για τη διάσπαση του 50% της γλυκόζης από αερόβια βακτήρια όπως π.χ. Ψευδομονάδες. Άλλα βακτήρια (*E. coli, B. subtilis)* μεταβολίζουν μικρότερο ποσοστό της γλυκόζης μέσω αυτής της οδού.

Και στις δύο περιπτώσεις, ο μεταβολικός δρόμος συνδέεται τελικά με την αναπνευστική αλυσίδα μεταφοράς ηλεκτρονίων (φλαβοπρωτεϊνες, κυτοχρώματα και κινόνες) που βρίσκονται στα μεσοσώματα και στην κυτταροπλασματική μεμβράνη.

Αναερόβια αναπνοή. Η επιτέλεση αναερόβιας αναπνοής τελείται κάτω από αυστηρώς αναερόβιες συνθήκες με τη χρησιμοποίηση νιτρικών, θειικών ή ανθρακικών αλάτων σαν τελικών δεκτών ηλεκτρονίων. Στις περιπτώσεις αυτές η αναγωγή των νιτρικών καταλήγει στο σχηματισμό μοριακού αζώτου, των

θειικών στο δισθενές θείο και των ανθρακικών αλάτων στο CH_4. Η λειτουργία της αναπνοής αυτής προϋποθέτει την ύπαρξη κυτοχρωμάτων. Για το λόγο αυτό παρατηρείται σε αερόβια βακτήρια όταν βρεθούν σε αναερόβιες συνθήκες. Σημειώνεται ότι η αναπνοή αυτή δεν λαμβάνει χώρα στα αυστηρώς αναερόβια βακτήρια που στερούνται πλήρως κυτοχρωμάτων.

Η αναερόβια αναπνοή με τα νιτρικά άλατα υπό αναερόβιες συνθήκες σαν τελικούς δέκτες ηλεκτρονίων, παρατηρείται σε δυνητικώς αναερόβια βακτήρια (*Pseudomonas* spp.). Η διαδικασία αυτή λειτουργεί μόνο απουσία οξυγόνου και καλείται **απονιτροποίηση** (denitrification). Απαιτεί την παρουσία ειδικών ενζύμων, τα οποία βρίσκονται συνδεδεμένα με την αναπνευστική αλυσίδα μεταφοράς ηλεκτρονίων.

Η αναερόβια αναπνοή που συνδέεται με την αναγωγή των θειικών αλάτων παρατηρείται σε αυστηρώς αναερόβια βακτήρια του γένους *Desulfovibrio* και ορισμένα είδη κλωστηριδίων.

Η αναπνοή δια των ανθρακικών αλάτων χρησιμοποιεί την αναγωγή των ανθρακικών αλάτων για τη σύνδεση της αναπνοής. Περιορίζεται σε ορισμένη κατηγορία βακτηρίων, που χαρακτηρίζονται από την παραγωγή μεθανίου.

Αναβολισμός. Οι μικροοργανισμοί διαθέτουν τα απαραίτητα ενζυμικά συστήματα για τη βιοσύνθεση απλών μορίων, όπως αμινοξέων, λιπών, σακχάρων, νουκλεϊνικών οξέων και από αυτά συνθέτουν τις μεγαλομοριακές ενώσεις του κυττάρου.

Η σύνθεση του DNA είναι μοναδικής σημασίας για τη ζωή, καθόσον με αυτή επιτυγχάνεται η μεταφορά των γενετικών ιδιοτήτων του μητρικού στα θυγατρικά κύτταρα. Η μετάδοση των χαρακτήρων προϋποθέτει τη σύνθεση της ίδιας δομής DNA, και ο αναδιπλασιασμός του DNA καλείται αντιγραφή (replication). Ο αναδιπλασιασμός του βακτηριακού κυτταρικού DNA γίνεται συνεχώς σε όλη τη διάρκεια του κύκλου διαίρεσης του κυττάρου. Η διαδικασία του αναδιπλασιασμού είναι ταχύτατη. Υπολογίζεται ότι ολόκληρο το γονιδίωμα του βακτηρίου *Escherichia. coli* (4×10^6 ζεύγη βάσεων) αντιγράφεται σε 40 λεπτά με ρυθμό 1700 ζεύγη βάσεων ανά sec.

Διάφοροι παράγοντες παρεμποδίζουν τον αναδιπλασιασμό του DNA όπως π.χ. η υπεριώδης ακτινοβολία (λ = 260) και τα αντιβιοτικά. Επίσης σημαντική

λειτουργία αποτελεί η βιοσύνθεση πρωτεϊνών που λαμβάνει χώρα στα ριβοσώματα και η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως μετάφραση (translation).

Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη 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
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Σημειώματα

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Διδάσκων: Καθηγητής Ιωάννης Σαββαΐδης. «Γενική Μικροβιολογία. ΚΑΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ». Έκδοση: 1.0. Ιωάννινα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: http://ecourse.uoi.gr/course/view.php?id=1151.

Σημείωμα Αδειοδότησης

- Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Παρόμοια Διανομή, Διεθνής Έκδοση 4.0 [1] ή μεταγενέστερη.

[1] https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/.