



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

ΕΝΟΤΗΤΑ

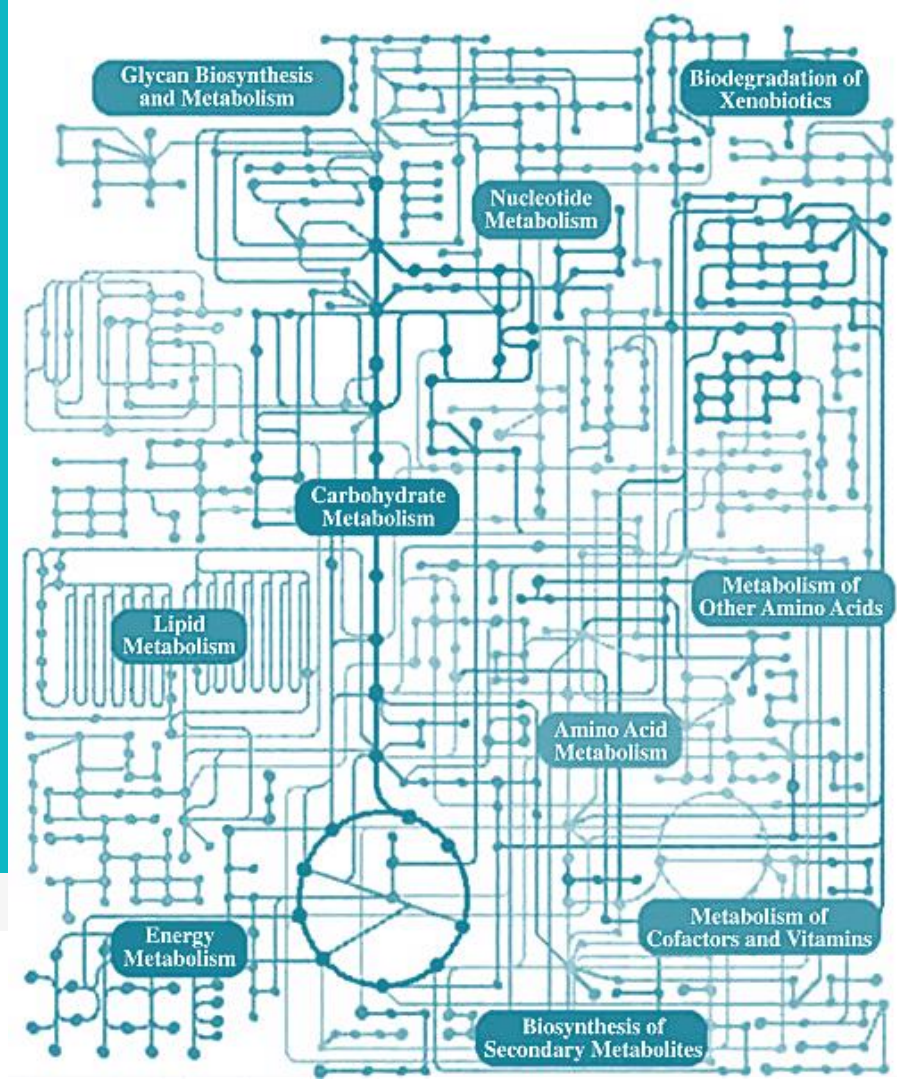
03

ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΥ

2022-2023

ΕΚΔΟΣΗ 01

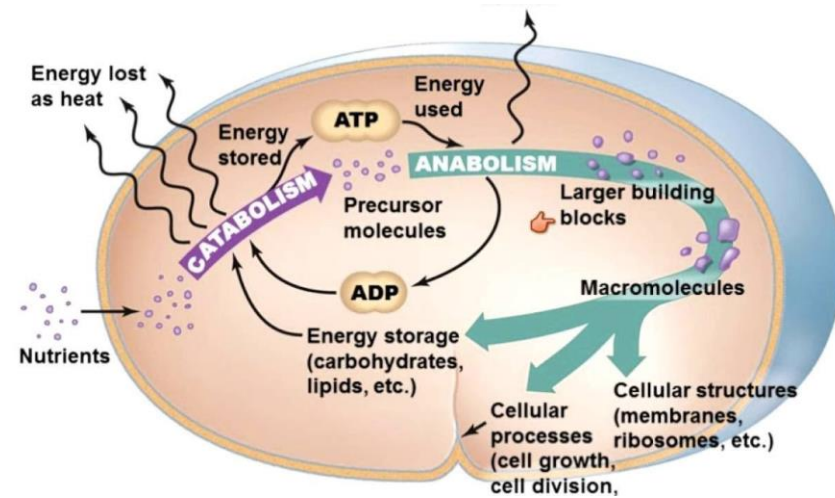
ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ



ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Ο **μεταβολισμός** είναι το άθροισμα όλων των χημικών διεργασιών που πραγματοποιούνται από ζωντανούς οργανισμούς.

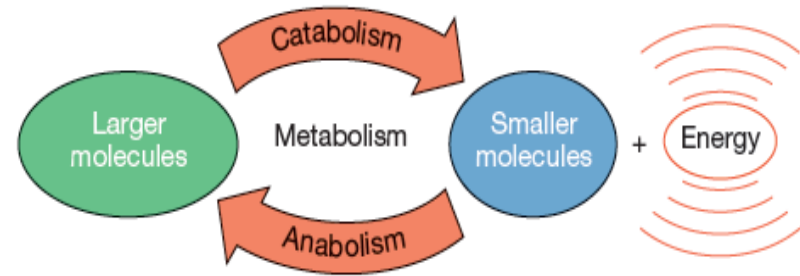
Περιλαμβάνει **αναβολισμό**, που είναι αντιδράσεις που απαιτούν ενέργεια για τη σύνθεση πολύπλοκων μορίων από απλούστερα, και **καταβολισμό**, που είναι αντιδράσεις που απελευθερώνουν ενέργεια σπάζοντας πολύπλοκα μόρια σε απλούστερα που μπορούν στη συνέχεια να επαναχρησιμοποιηθούν ως δομικά στοιχεία.



ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Ο **αναβολισμός** είναι απαραίτητος για την ανάπτυξη, την αναπαραγωγή και την επισκευή των κυτταρικών δομών.

Ο **καταβολισμός** παρέχει σε έναν οργανισμό ενέργεια για τις διεργασίες της ζωής του, συμπεριλαμβανομένης της κίνησης, της μεταφοράς και της σύνθεσης πολύπλοκων μορίων—δηλαδή του αναβολισμού.



ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Το βακτηριακό κύτταρο είναι ένας εξαιρετικά εξειδικευμένος μετασχηματιστής ενέργειας και συστατικών.

Η χημική ενέργεια που παράγεται από **οξειδώσεις υποστρώματος** διατηρείται με το σχηματισμό ενώσεων υψηλής ενέργειας όπως η διφωσφορική αδενοσίνη (ADP) και η τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP) ή ενώσεις που περιέχουν τον θειοεστερικό δεσμό (ακετύλιο ~ SCoA) ή ηλεκτρώλιο ~ SCoA.

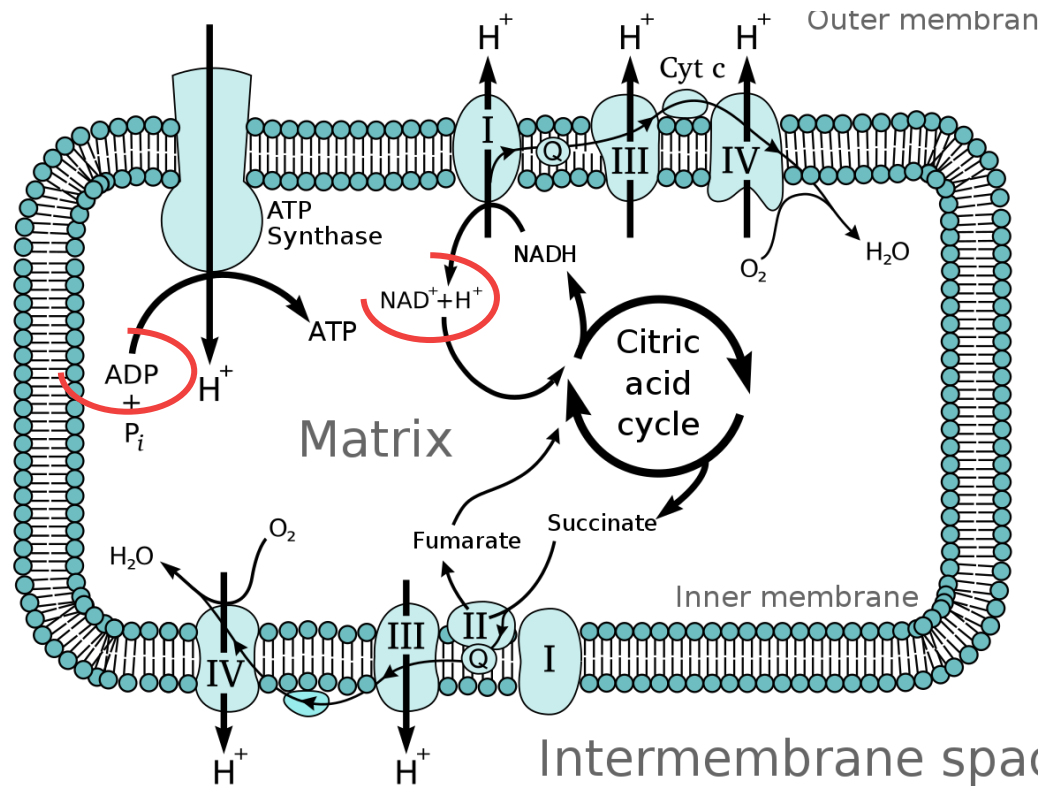
ΜΟΡΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ

Το κύτταρο χρησιμοποιεί μόρια **φορείς ηλεκτρονίων** για να μεταφέρει ηλεκτρόνια μεταξύ περιοχών μέσα στο κύτταρο. Τα μόρια φορείς είναι απαραίτητα επειδή το κυτταρόπλασμα του κυττάρου δεν περιέχει ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Τα σημαντικότερα μόρια φορείς ηλεκτρονίων είναι:

- ✓ νικοτινάμιδο αδένινο δινουκλεοσίδιο (**NAD+**)
- ✓ φλάβινο αδένινο δινουκλεουτίδιο (**FAD**),
- ✓ νικοτιναμίδο αδένινο φωσφορικό δινουκλεοσίδιο (**NADP+**)

ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ



ΕΤΕΡΟΤΡΟΦΙΚΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ

Τα ετερότροφα βακτήρια, που περιλαμβάνουν όλα τα παθογόνα, λαμβάνουν ενέργεια από την **οξείδωση των οργανικών ενώσεων**.

ΜΟΡΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι υδατάνθρακες (ιδιαίτερα η γλυκόζη), τα λιπίδια και οι πρωτεΐνες είναι οι πιο συχνά οξειδωμένες ενώσεις.

Η βιολογική οξείδωση αυτών των οργανικών ενώσεων από βακτήρια έχει ως αποτέλεσμα τη σύνθεση του ATP ως χημικής πηγής ενέργειας

• ΠΡΟΔΡΟΜΑ ΜΟΡΙΑ

Αυτή η διαδικασία επιτρέπει επίσης τη δημιουργία απλούστερων οργανικών ενώσεων (πρόδρομα μόρια) που χρειάζονται το βακτηριακό κύτταρο για βιοσυνθετικές ή αφομοιωτικές αντιδράσεις.

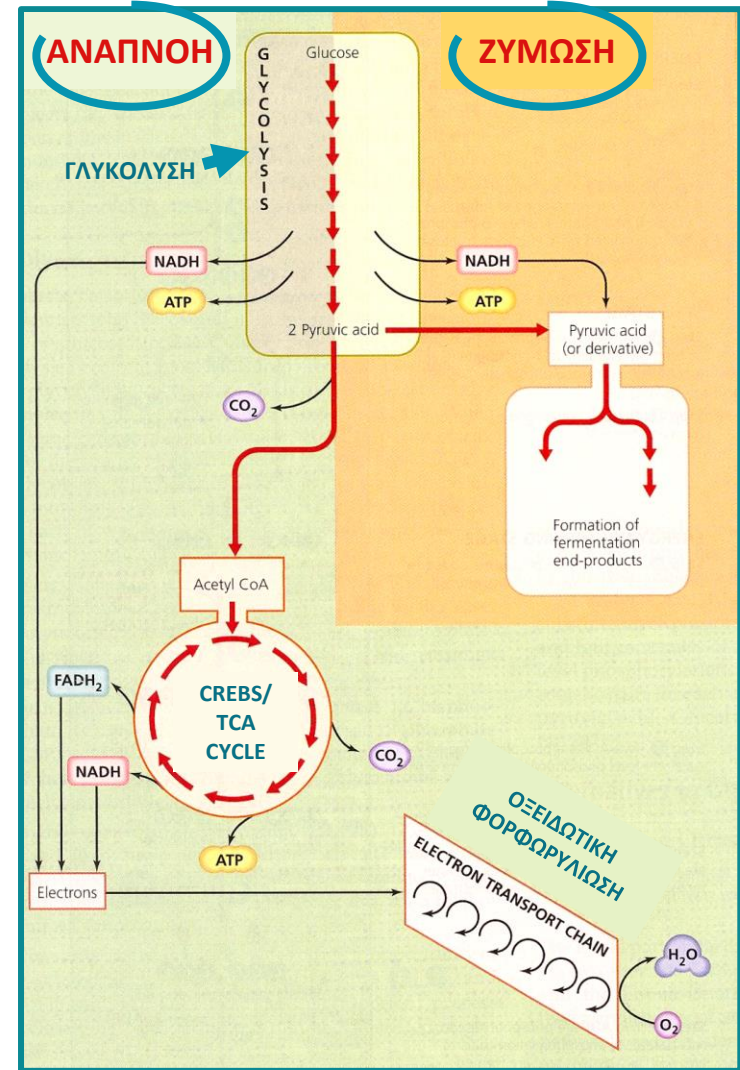
ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΩΝ

ΟΞΕΙΔΟΑΝΑΓΩΓΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ – ΤΕΛΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ

Οξειδωτικό και Ζυμωτικό Μεταβολικό Μονοπάτι

Η ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ ΕΙΝΑΙ ΚΟΙΝΟ
ΜΟΝΟΠΑΤΙ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ
ΤΟΥ ΤΕΛΙΚΟΥ ΔΕΚΤΗ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ

Η ΤΥΧΗ ΤΟΥ
ΠΥΡΟΥΒΙΚΟΥ
ΟΞΕΟΣ?



ΟΞΕΙΔΟΑΝΑΓΩΓΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ – ΤΕΛΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ

Κατά την εξέλιξη των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων υπάρχει παραγωγή και **ροή ηλεκτρονίων (e⁻)**.



ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ

ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ

Κλασσικός και Εναλλακτικές οδοί

Ο μεταβολισμός της γλυκόζης οδηγεί πάντοτε σε **πυρουβικό οξύ** ΑΛΛΑ δεν είναι πάντοτε ο μοναδικός δρόμος της ΓΛΥΚΟΛΥΣΗΣ – υπάρχουν και ορισμένες φορές συνυπάρχουν ακόμα δυο **εναλλακτικοί δρόμοι** (1,3):

1 η οδός των **φωσφορικών πεντοζών**

• **ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ**

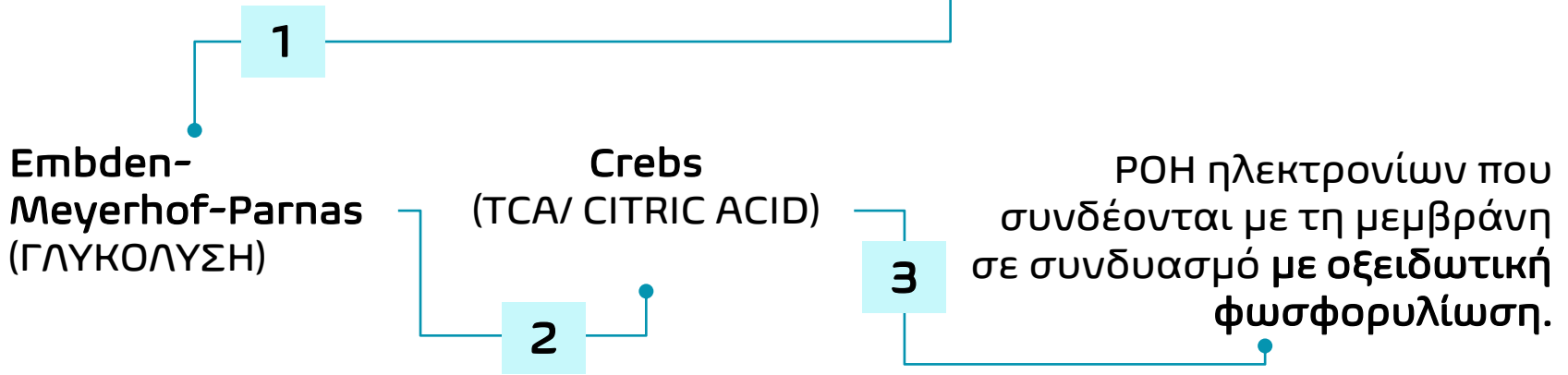
3 η οδός **Entner-Doudoroff**

*σχεδόν αποκλειστικά σε υποχρεωτικά αερόβια βακτήρια *Pseudomonas ssp.**

ΑΕΡΟΒΙΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

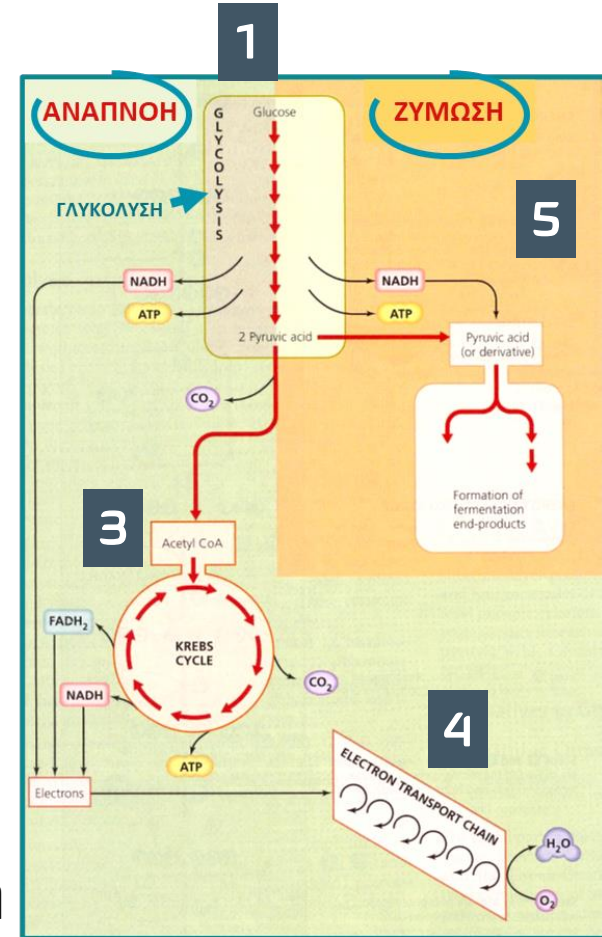
Η οξείδωση της γλυκόζης είναι η πιο συχνά μελετημένη αντίδραση που οδηγεί σε παραγωγή ενέργειας και σύνθεση ATP.

Η πλήρης οξείδωση της γλυκόζης συνήθως περιλαμβάνει **τρεις** θεμελιώδεις βιοχημικές οδούς.



ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ

1. Είναι το πρώτο βήμα προς τον μεταβολισμό της γλυκόζης.
2. Εμφανίζεται τόσο σε αερόβιες όσο και σε αναερόβιες συνθήκες.
3. Σε αερόβιες καταστάσεις, το πυροσταφυλικό οξύ εισέρχεται στον κύκλο του κιτρικού οξέος.
4. Ακολουθεί η οξειδωτική φωσφορυλίωση που οδηγεί στην παραγωγή ATP.
5. Σε αναερόβιες καταστάσεις, το πυροσταφυλικό οξύ μετατρέπεται σε γαλακτικό οξύ (**ZYMΩΣΗ**) και λαμβάνει χώρα η καθαρή παραγωγή 2 μορίων ATP.



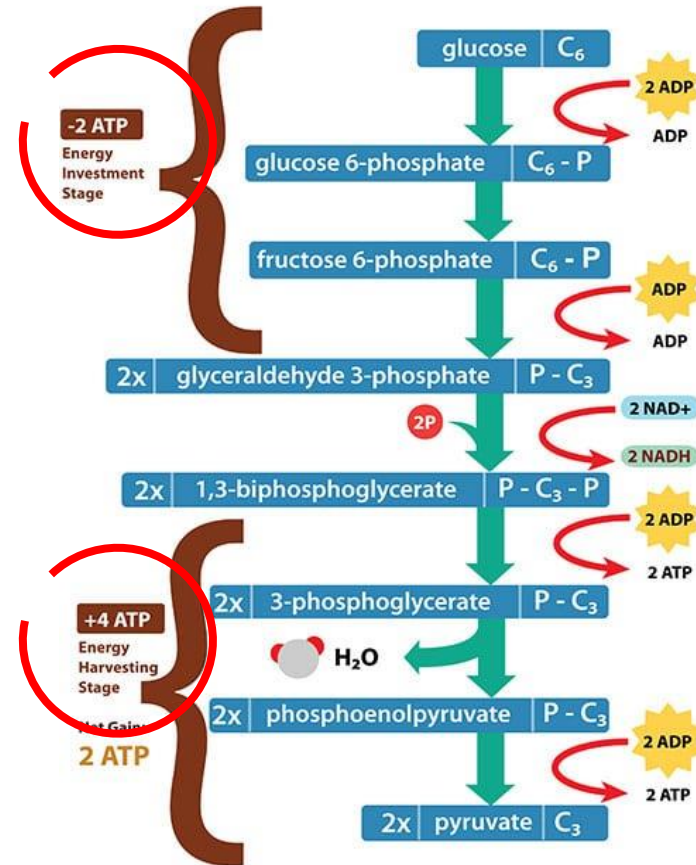
ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ

ΟΙ ΔΥΟ ΦΑΣΕΙΣ ΓΛΥΚΟΛΥΣΗΣ

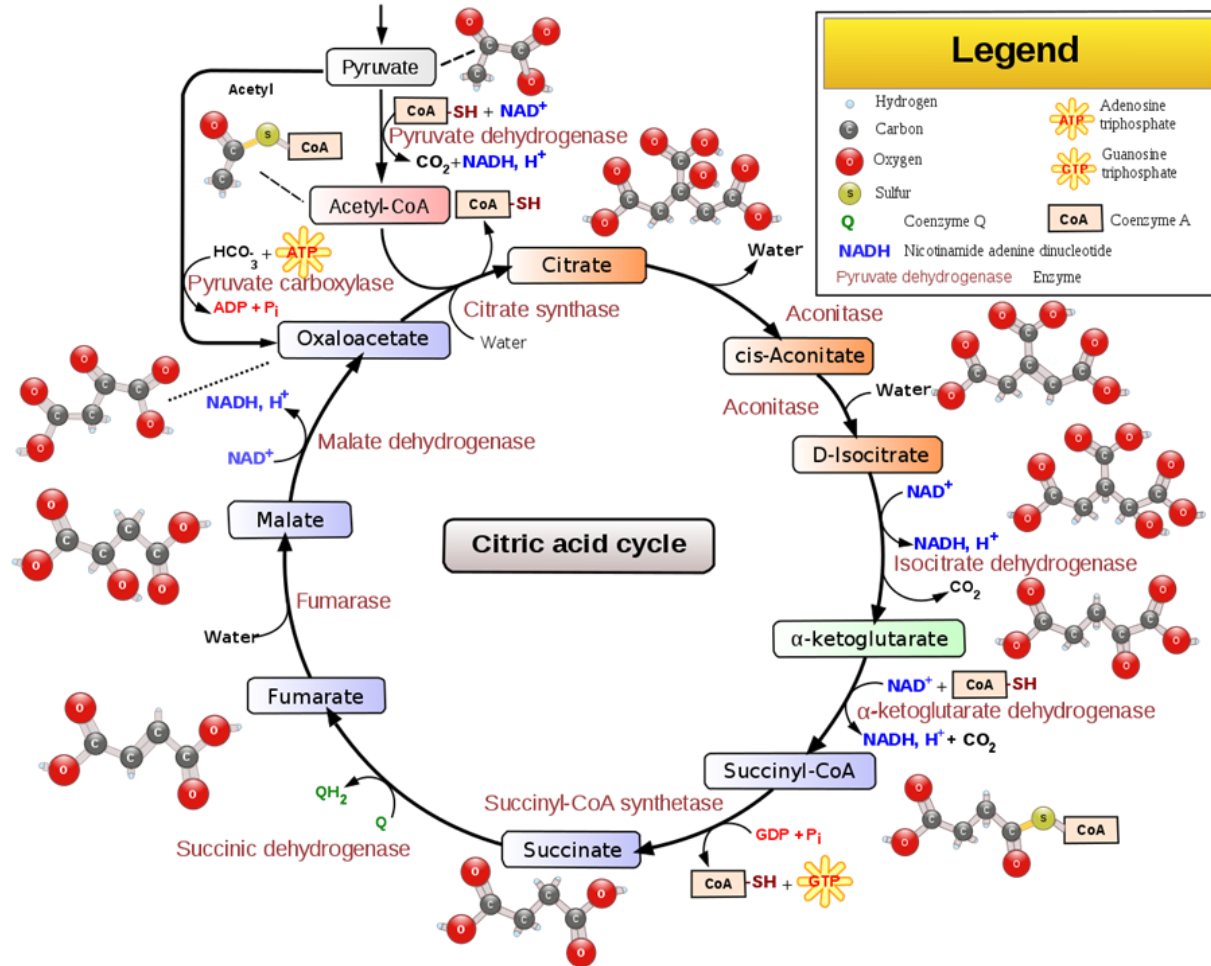
1/ Η φάση που απαιτεί ενέργεια
(προπαρασκευαστική φάση)

2/ Η φάση απελευθέρωσης ενέργειας
(Φάση αποπληρωμής)

Glycolysis in the Cytoplasm



ΚΥΚΛΟΣ KREBS ή TCA ή ΚΙΤΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ



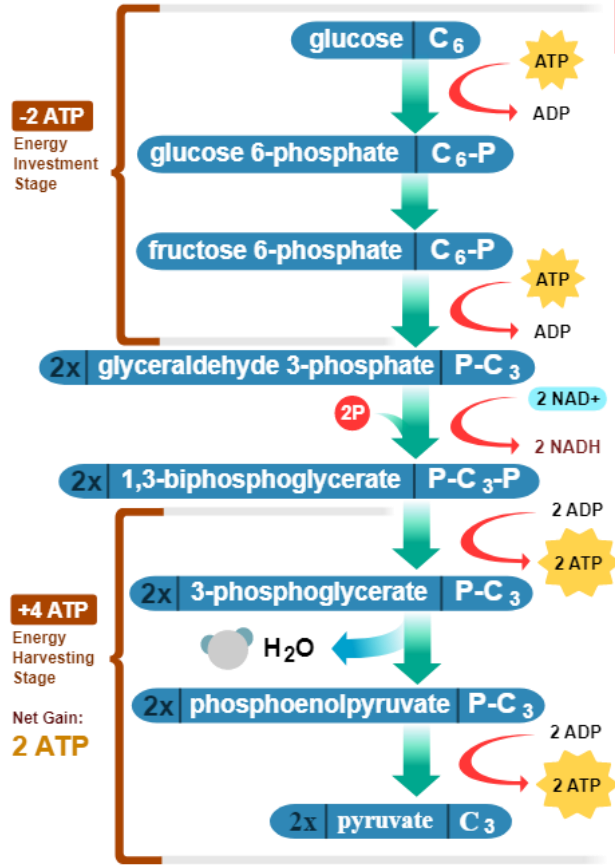
ΚΥΚΛΟΣ CREBS ή TCA ή ΚΙΤΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ

ΟΙ ΡΟΛΟΙ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ TCA

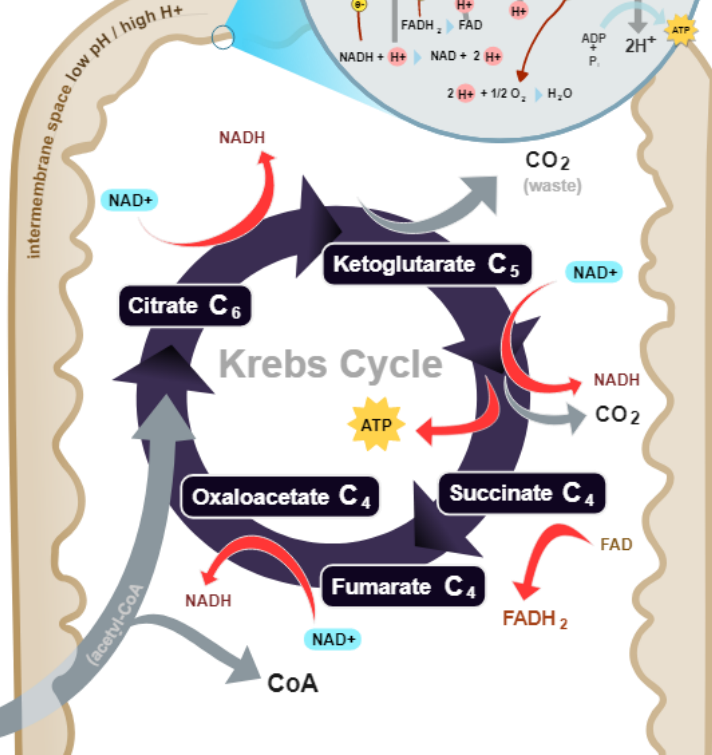
- 1.** Συμμετέχει στην παραγωγή ενέργειας, που αποθηκεύεται και μεταφέρεται ως ATP ή GTP.
- 2.** Σε **συνδυασμό** με τη διαδικασία της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης, ο κύκλος του Krebs παράγει την πλειονότητα της ενέργειας.
- 3.** Ο κύκλος είναι επίσης κεντρικός σε άλλες βιοσυνθετικές αντιδράσεις όπου τα ενδιάμεσα που παράγονται απαιτούνται για τη δημιουργία άλλων μορίων, όπως αμινοξέα, νουκλεοτιδικές βάσεις και χοληστερόλη

GLYCOLYSIS + KREBS + ELECTRON TRANSPORT CHAIN

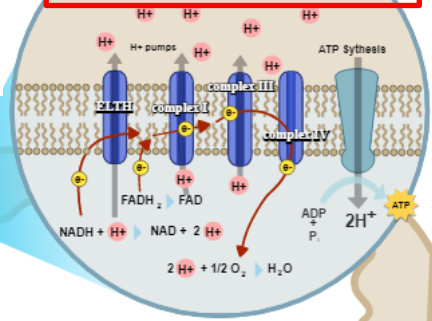
1 Glycolysis in the Cytoplasm

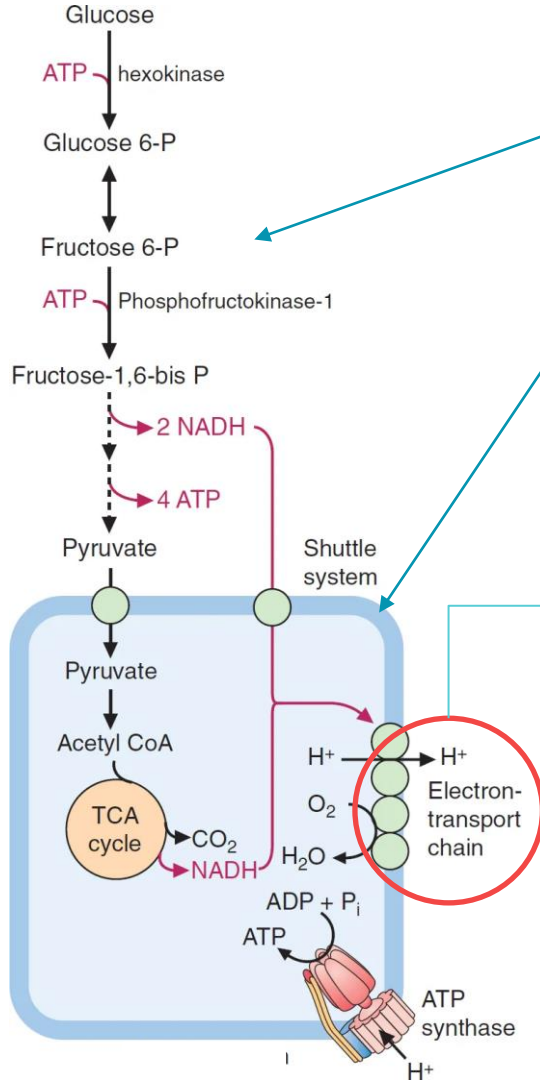


2 Krebs Cycle in the Cytoplasm



3 Electron Transport Chain

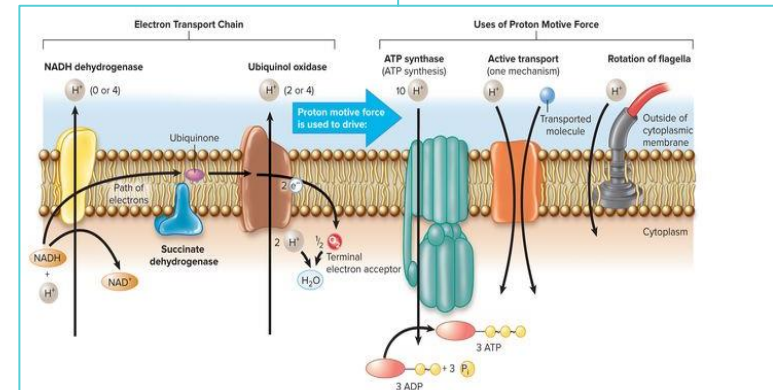




ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ

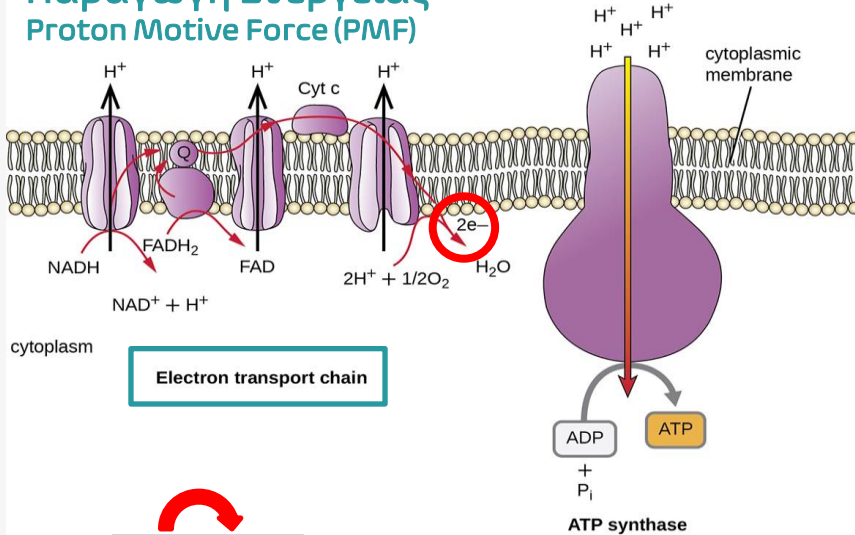
ΚΡΕΒΣ

ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ



ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ

Παραγωγή Ενέργειας Proton Motive Force (PMF)



Electron transport chain



“ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ” H^+

1 Ηλεκτρόνια (e^-) παράγονται από τον καταβολισμό του κυττάρου

2 Τα ηλεκτρόνια (e^-) ρέουν κατά μήκος της μεμβράνης μέσω μορίων μεταφοράς

3 Η ροή ηλεκτρονίων «κινεί» ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που παράγουν ενέργεια

4 Η ενέργεια μετακινεί H^+ προς το εξωτερικό του κυττάρου

6 Τελικά παράγεται ATP που είναι το ενεργειακό νόμισμα του κυττάρου

5 Το H^+ επανεισάγεται στο εξωτερικό του κυττάρου μέσω του μορίου της ATP-άσης

ZYMΩΣH

ΖΥΜΩΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ

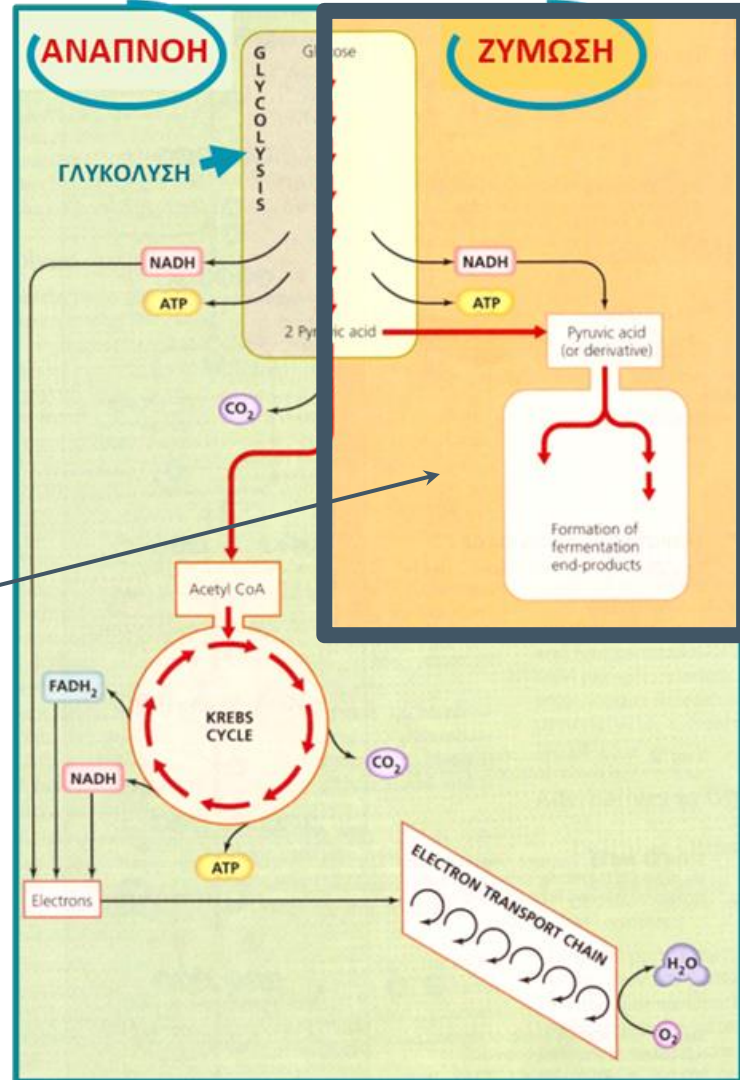
Η ζύμωση είναι η μερική οξείδωση της γλυκόζης ή άλλης οργανικής ένωσης για την απελευθέρωση ενέργειας.

Ως τελικός δέκτης ηλεκτρονίων των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων **δεν** είναι το ΟΞΥΓΟΝΟ της αλυσίδας ηλεκτρονίων αλλά ένα **οργανικό μόριο** (π.χ. γαλακτικό οξύ, οξικό οξύ, κ.α.)

Σε **αναερόβιες** καταστάσεις, το πυροσταφυλικό οξύ μετατρέπεται σε γαλακτικό οξύ (**ΖΥΜΩΣΗ**) και λαμβάνει χώρα η καθαρή παραγωγή 2 μορίων ATP – ενεργειακή δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτική αλλά γίνεται πολύ **χρήσιμα μεταβολικά προϊόντα**.

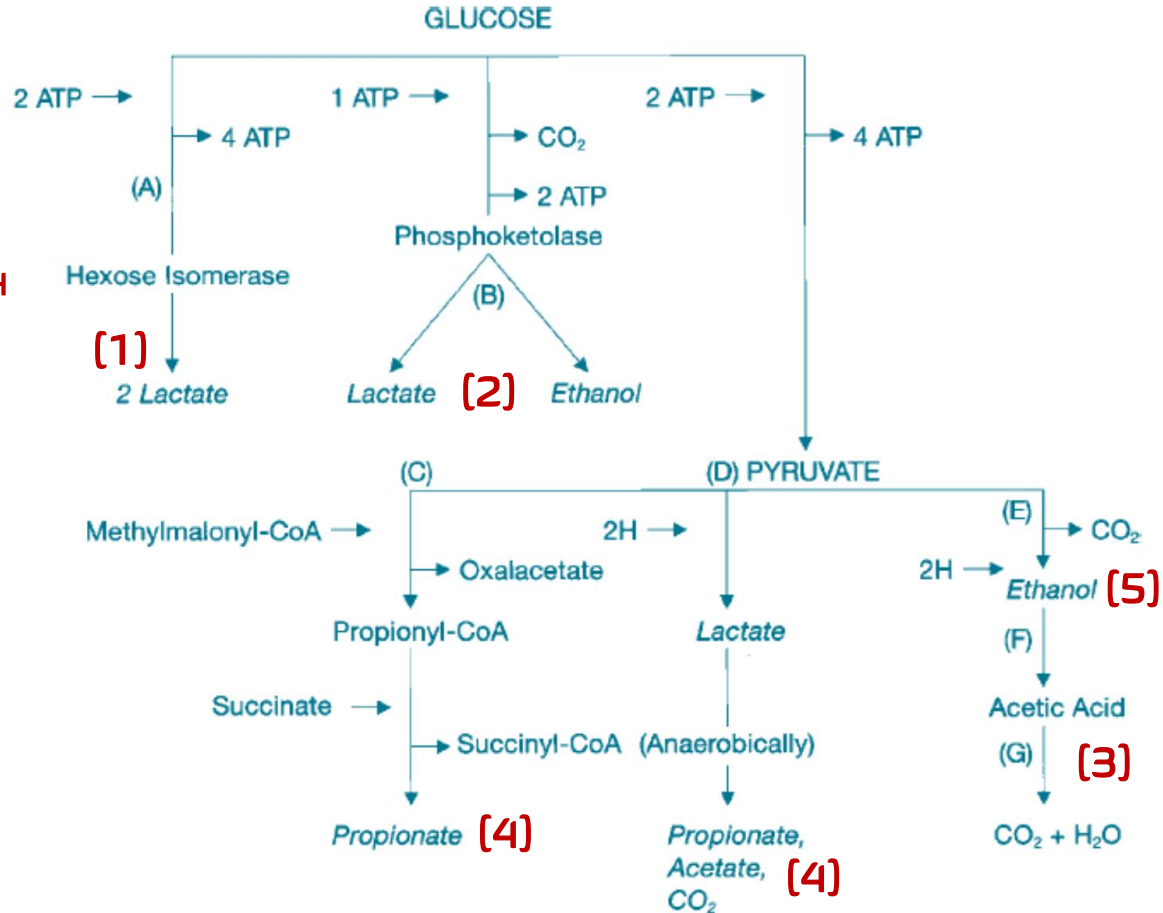
ΖΥΜΩΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ

Η ζύμωση στο πλαίσιο
του μεταβολισμού
των βακτηρίων



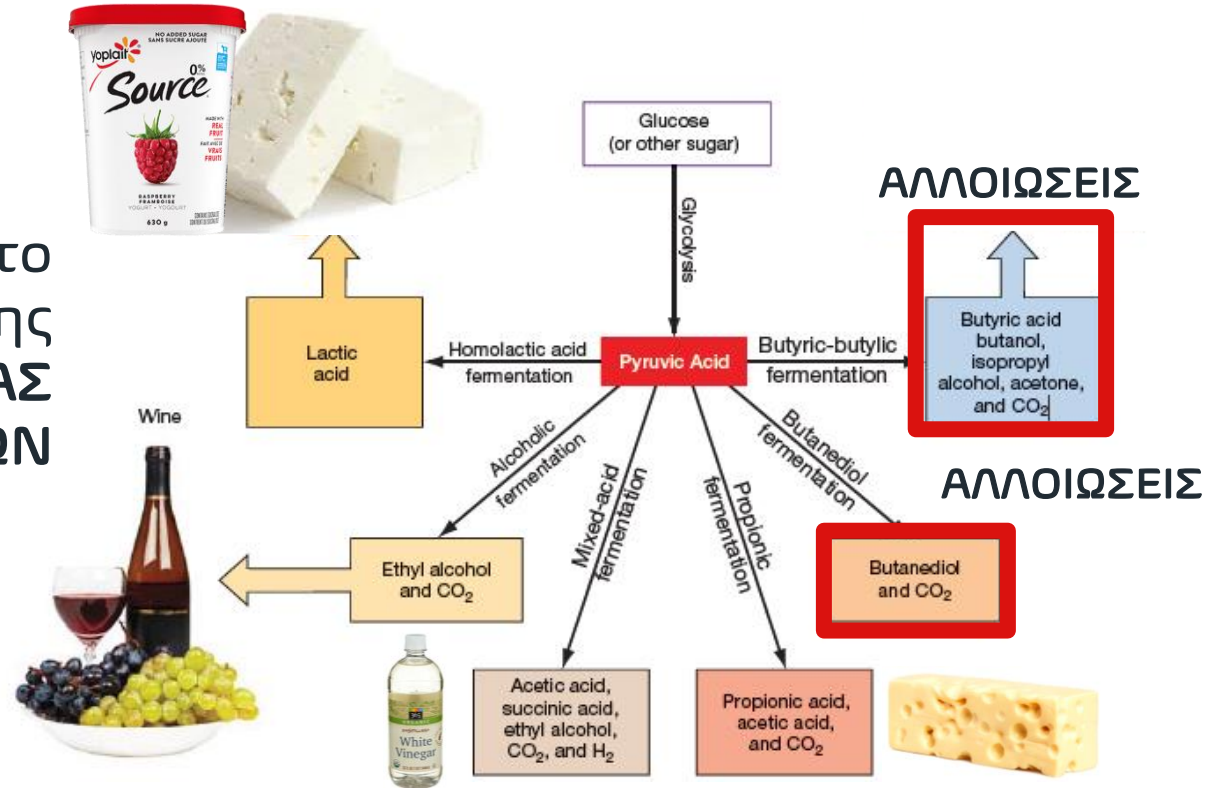
ΤΥΠΟΙ ΖΥΜΩΣΕΩΝ

- 1) ΓΑΛΑΚΤΙΚΗ ΟΜΟΖΥΜΩΤΙΚΗ
- 2) ΓΑΛΑΚΤΙΚΗ ΕΤΕΡΟΖΥΜΩΤΙΚΗ
- 3) ΟΞΙΚΗ
- 4) ΠΡΟΠΙΟΝΙΚΗ
- 5) ΑΛΚΟΟΛΙΚΗ



ΖΥΜΩΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ

Η ζύμωση στο
πλαίσιο της
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ



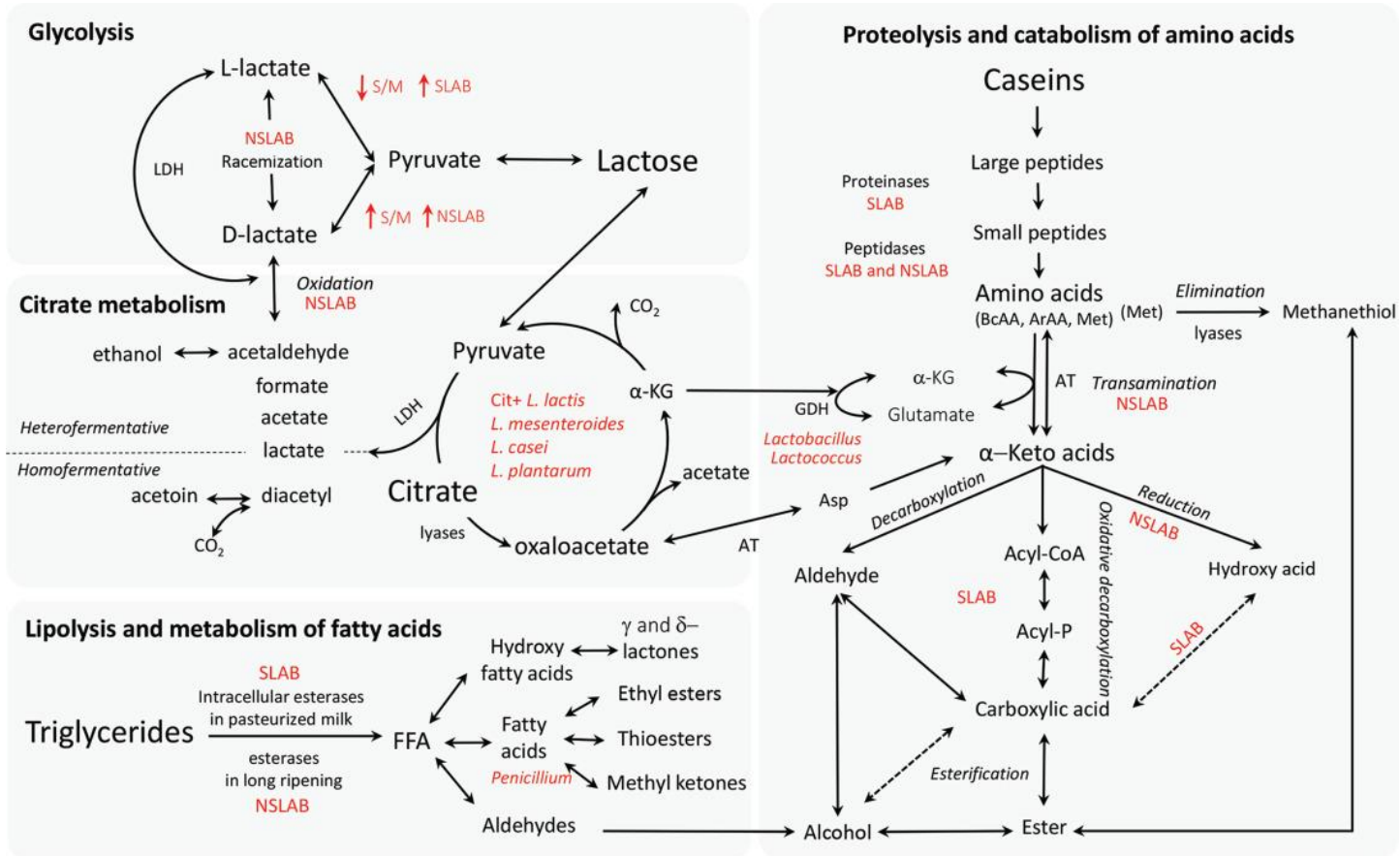
ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΑ ΜΟΝΟΠΑΤΙΑ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΑ ΜΟΝΟΠΑΤΙΑ και ΤΡΟΦΙΜΑ

Ο μεταβολισμός των βακτηρίων είναι ένα δυναμικό σύστημα σε αλληλεπίδραση με το περιβάλλον με στόχο την διατήρηση της ομοιόστασης.

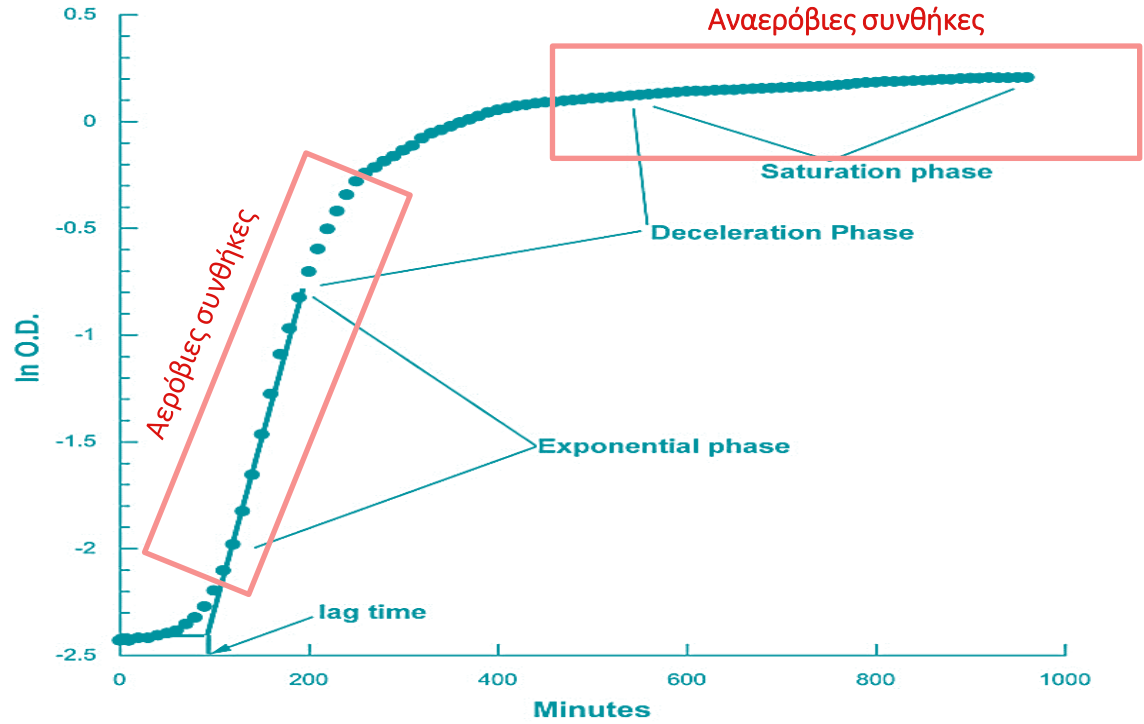
Παράλληλα στο υπόστρωμα παράγεται πλήθος συστατικών – πτητικών και μη – που μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά του.

ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ ΠΡΩΤΕΟΛΥΣΗ ΛΙΠΟΛΥΣΗ



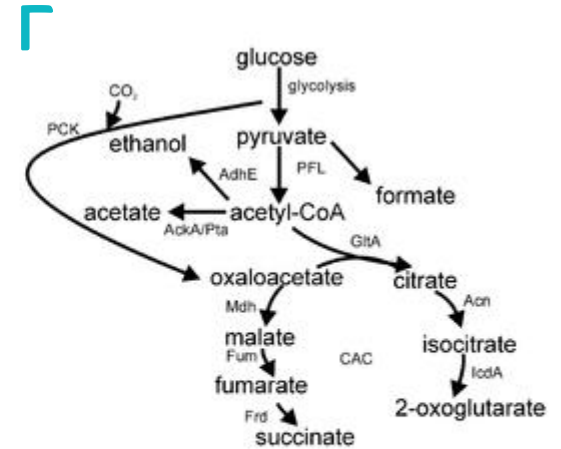
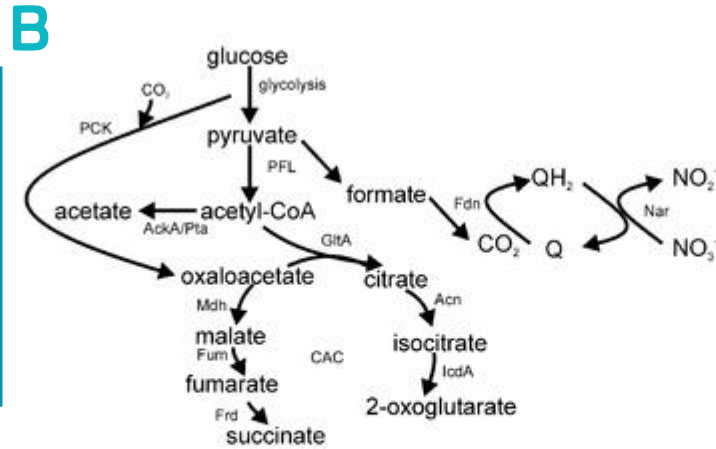
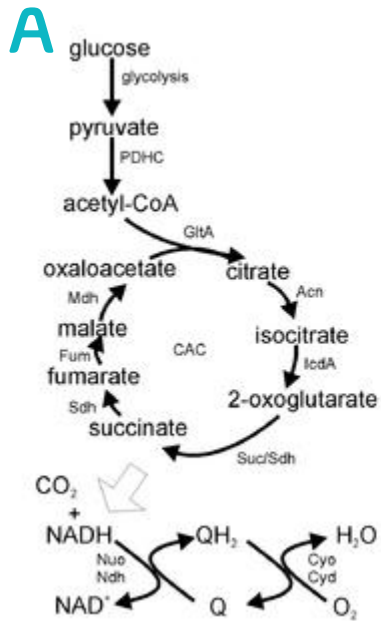
ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΑ ΜΟΝΟΠΑΤΙΑ

E. coli



ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΑ ΜΟΝΟΠΑΤΙΑ

E. coli

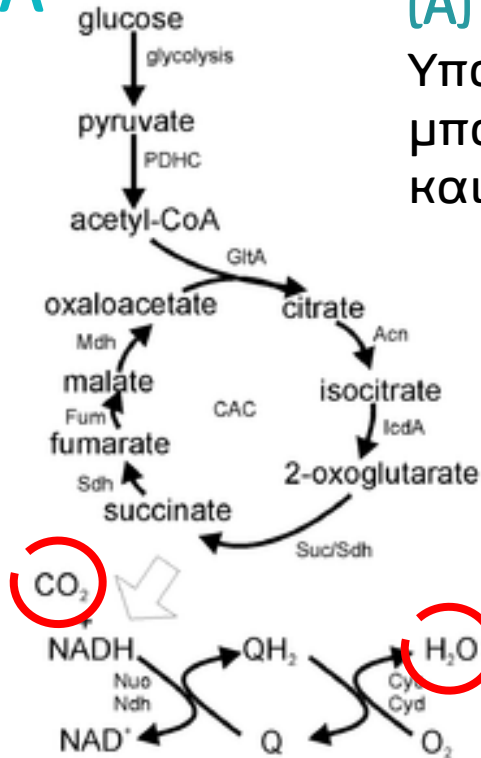


3 ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΑ ΜΟΝΟΠΑΤΙΑ ΣΤΟ Gram αρνητικό *Escherichia coli*

ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΑ ΜΟΝΟΠΑΤΙΑ

E. coli

A



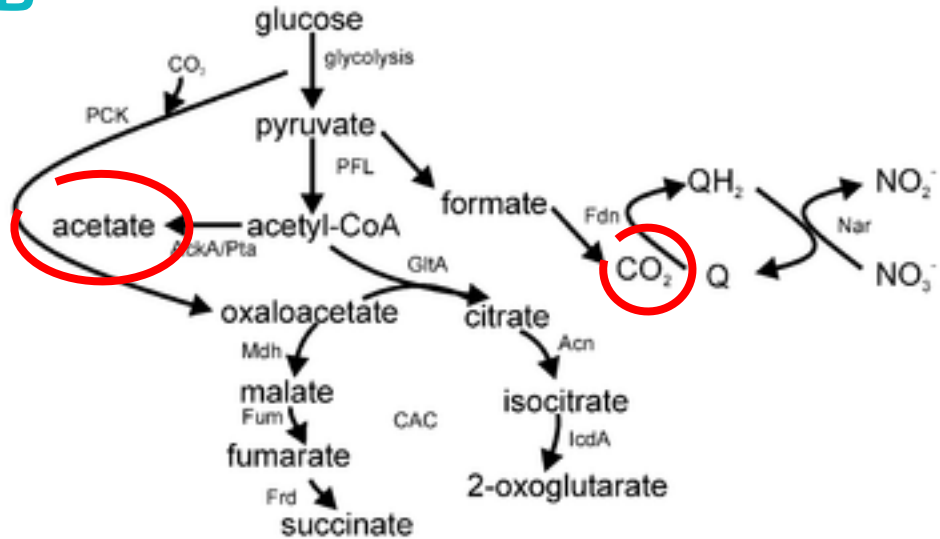
(A) Αερόβια αναπνοή

Υπό αερόβιες συνθήκες η γλυκόζη μπορεί να οξειδωθεί πλήρως σε CO₂ και H₂O.

ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΑ ΜΟΝΟΠΑΤΙΑ

E. coli

B



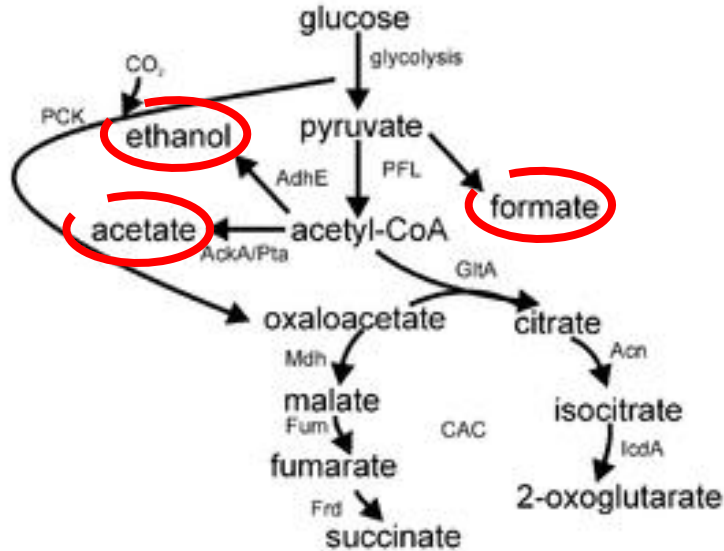
(B) αναερόβια (νιτρική) αναπνοή.

Υπό αναερόβιες συνθήκες παρουσία εναλλακτικού δέκτη ηλεκτρονίων όπως τα νιτρικά, η γλυκόζη οξειδώνεται μερικώς σε CO₂ και οξικό.

ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΑ ΜΟΝΟΠΑΤΙΑ

E. coli

Γ

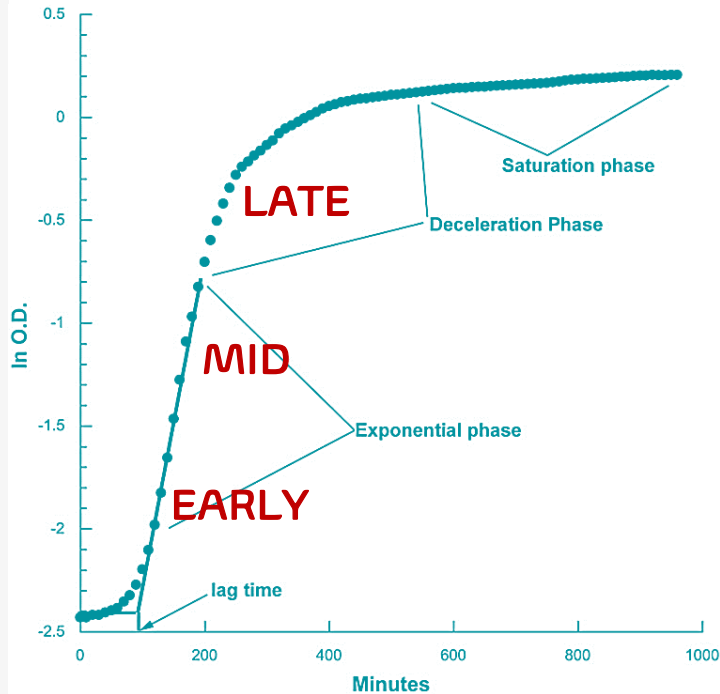


(Γ) Υπό αναερόβιες ζυμωτικές συνθήκες

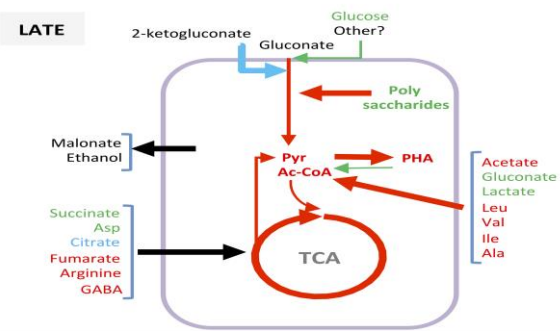
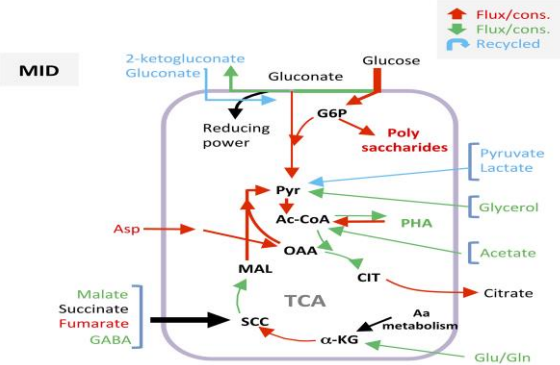
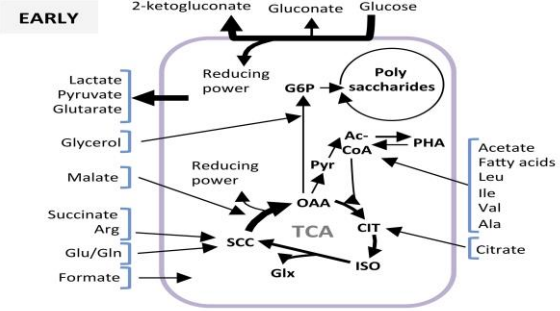
Η γλυκόζη μετατρέπεται σε οξικό, αιθανόλη και μυρμηκικό και η ενέργεια διατηρείται με φωσφορυλίωση σε επίπεδο υποστρώματος και όχι με οξειδωτική φωσφορυλίωση.

ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΟΙ ΚΥΚΛΟΙ

ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΟΙ ΚΥΚΛΟΙ



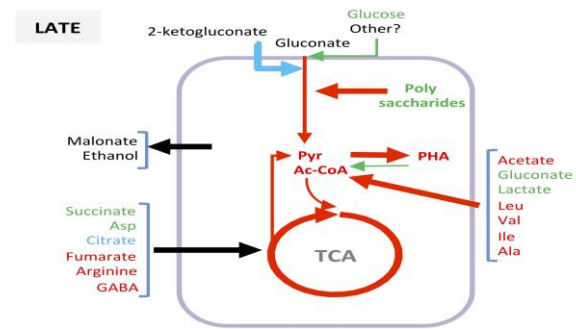
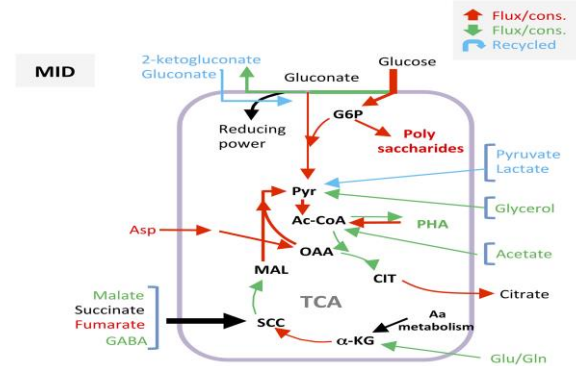
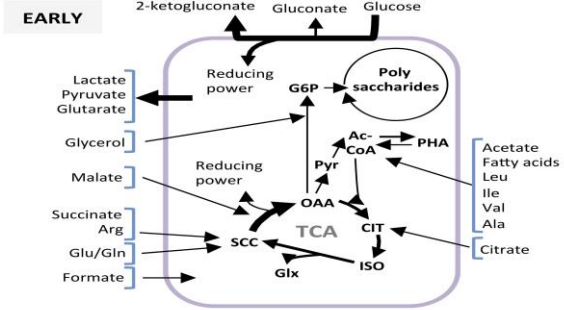
Ο μεταβολισμός του Gram αρνητικού βακτηρίου *Pseudomonas putida* KT2440 υφίσταται διαδοχικές τροποποιήσεις κατά την εκθετική ανάπτυξη σε ένα πλήρες μέσο καθώς οι ενώσεις καταναλώνονται σταδιακά



ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΑ ΜΟΝΟΠΑΤΙΑ

E. coli

- Διαμόρφωση των ροών μεταβολιτών που σχετίζονται με τον κεντρικό μεταβολισμό του άνθρακα κατά την πρώιμη, μέση και όψιμη εκθετική ανάπτυξη.
- Οι **ροές** που αντιστοιχούν στην πρώιμη εκθετική φάση υποδεικνύονται με μαύρο χρώμα.
- Οι **ροές** που αλλάζουν σε μεταγενέστερους χρόνους ανάπτυξης υποδεικνύονται με κόκκινο (αυξημένη ροή) ή πράσινο (μειωμένη ροή).
- Οι ενώσεις που απελευθερώνονται στο μέσο και αργότερα ανακυκλώνονται υποδεικνύονται με μπλε χρώμα.



ΔΙΑΥΞΙΑΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Diauxic Growth



ΔΙΑΥΞΗΣΗ/

Diauxic – Diphasic phase

Διφασική ανάπτυξη είναι οποιαδήποτε κυτταρική ανάπτυξη που χαρακτηρίζεται από κυτταρική ανάπτυξη σε δύο φάσεις.

Προκαλείται από την παρουσία δύο σακχάρων σε ένα μέσο ανάπτυξης καλλιέργειας, το ένα από τα οποία μεταβολίζεται ευκολότερα για το βακτήριο-στόχο.

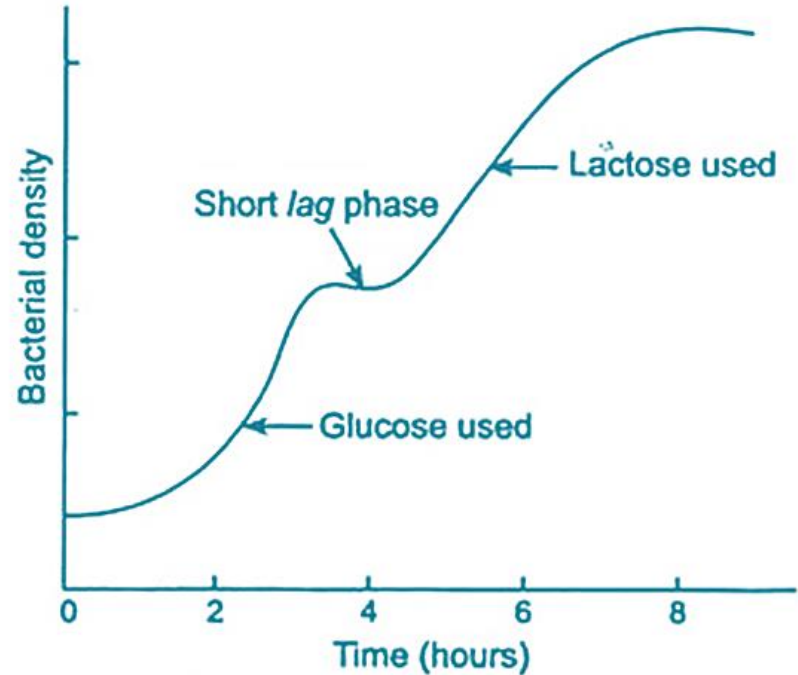


FIG. 19.3. Diauxic or diphasic growth curve of *E. coli* grown with a mixture of glucose and lactose. Glucose is first used, then lactose. A short lag phase in diauxic growth is present during which the bacterium synthesizes the enzymes needed for use of lactose.

ΜΕΤΑΒΟΛΙΤΕΣ

Πρωτογενείς/ Δευτερογενείς

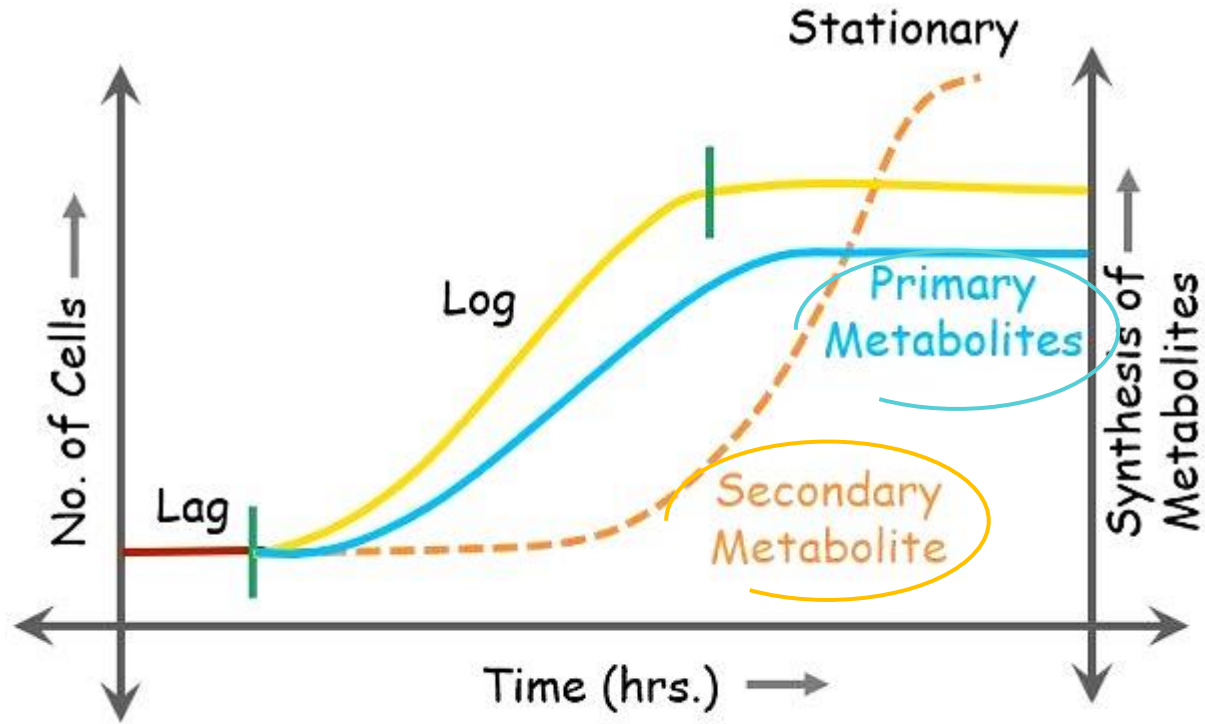
ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΤΕΣ

Οι πρωτογενείς μεταβολίτες θεωρούνται απαραίτητοι για τους μικροοργανισμούς για την ανάπτυξή τους.

Οι δευτερογενείς μεταβολίτες δεν παίζουν ρόλο στην ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό του βακτηρίου και σχηματίζονται κατά το τέλος ή κοντά στη στατική φάση της ανάπτυξης.

Οι δευτερογενείς μεταβολίτες χρησιμοποιούνται στη **βιομηχανική μικροβιολογία** για την παραγωγή αμινοξέων, ενζύμων, οργανικών οξέων, κ.α.

ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΤΕΣ



Synthesis of Metabolites during Growth phase

ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΤΕΣ

Οι πρωτογενείς μεταβολίτες εμπλέκονται στην **ανάπτυξη**, και τον πολλαπλασιασμό του οργανισμού.

Ο πρωτογενής μεταβολίτης είναι τυπικά **βασικό συστατικό για τη διατήρηση φυσιολογικών διεργασιών**.

Οι πρωτογενείς μεταβολίτες σχηματίζονται συνήθως κατά τη φάση ανάπτυξης ως **αποτέλεσμα του μεταβολισμού** και θεωρούνται απαραίτητοι για τη σωστή ανάπτυξη.

Παραδείγματα πρωτογενών μεταβολιτών είναι η αιθανόλη, το γαλακτικό οξύ και ορισμένα αμινοξέα.

ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΤΕΣ

Οι δευτερογενείς μεταβολίτες συνήθως είναι οργανικές ενώσεις που παράγονται **μέσω της τροποποίησης πρωτογενών μεταβολιτών**.

Πολλοί από τους αναγνωρισμένους δευτερογενείς μεταβολίτες έχουν ρόλο στην **οικολογική λειτουργία**, συμπεριλαμβανομένων των **αμυντικών μηχανισμών**, χρησιμεύοντας ως αντιβιοτικά και παράγοντας χρωστικές.

ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΤΕΣ

—
Το αντιβιοτικό **Bacitracin** είναι δευτερογενείς μεταβολίτης του βακτηρίου *Bacillus subtilis*.

—
Το αντιβιοτικό Erythromycin είναι δευτερογενής μεταβολίτης της ζύμης (ζυμομύκητας) *Saccharopolyspora erythraea*.

ΤΕΛΟΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

