



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

# Βιοχημεία Τροφίμων I

Ενότητα 6<sup>η</sup>  
Γάλα III

Όνομα καθηγητή: Έφη Τσακαλίδου

Τμήμα: Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής του Ανθρώπου



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





# Στόχοι ενότητας

- Κατανόηση της βιοσύνθεσης και του καταβολισμού της λακτόζης
- Κατανόηση της οξυγαλακτικής ζύμωσης, της προπιονικής ζύμωσης και του καταβολισμού του κιτρικού οξέος
- Κατανόηση της διατροφικής αξίας του γάλακτος
- Κατανόηση της λειτουργικότητας των προβιοτικών βακτηρίων και των πρεβιοτικών ενώσεων



# Λέξεις - κλειδιά

- Λέξεις κλειδιά: Λακτόζη, Βιοσύνθεση Λακτόζης, Καταβολισμός Λακτόζης, Οξυγαλακτική Ζύμωση, Προπιονική Ζύμωση, Καταβολισμός Κιτρικού Οξέος, Διατροφική Αξία, Προβιοτικά, Πρεβιοτικά, Αντίδραση Maillard
- Key words: Lactose, Lactose Biosynthesis, Lactose Degradation, Lactic Acid Fermentation, Propionic Acid Fermentation, Citrate Catabolism, Milk Nutritional Value, Probiotics, Prebiotics, Maillard Reaction





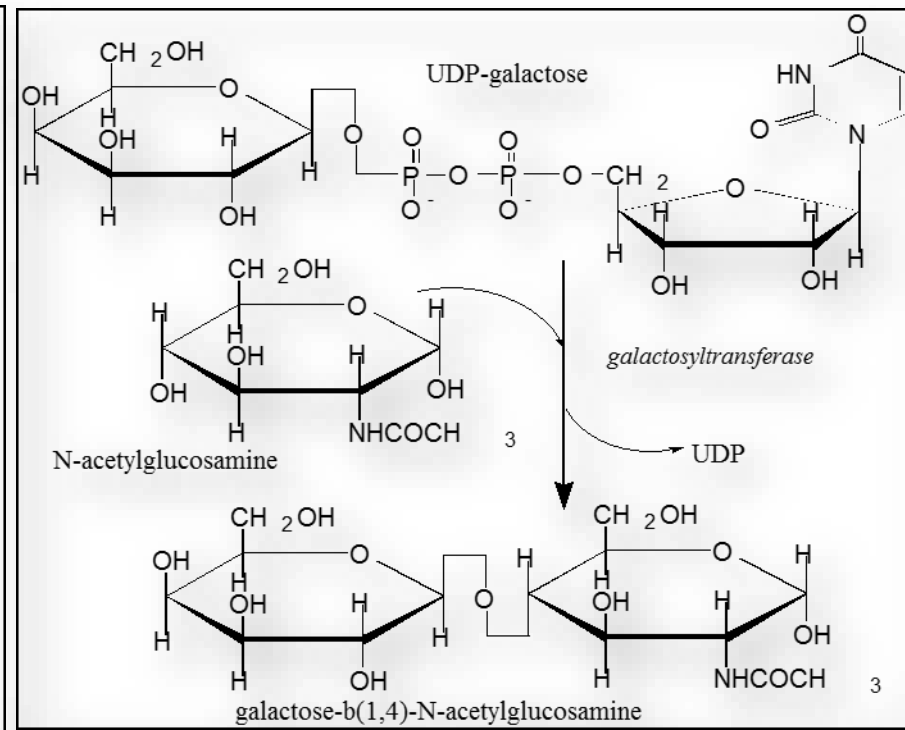
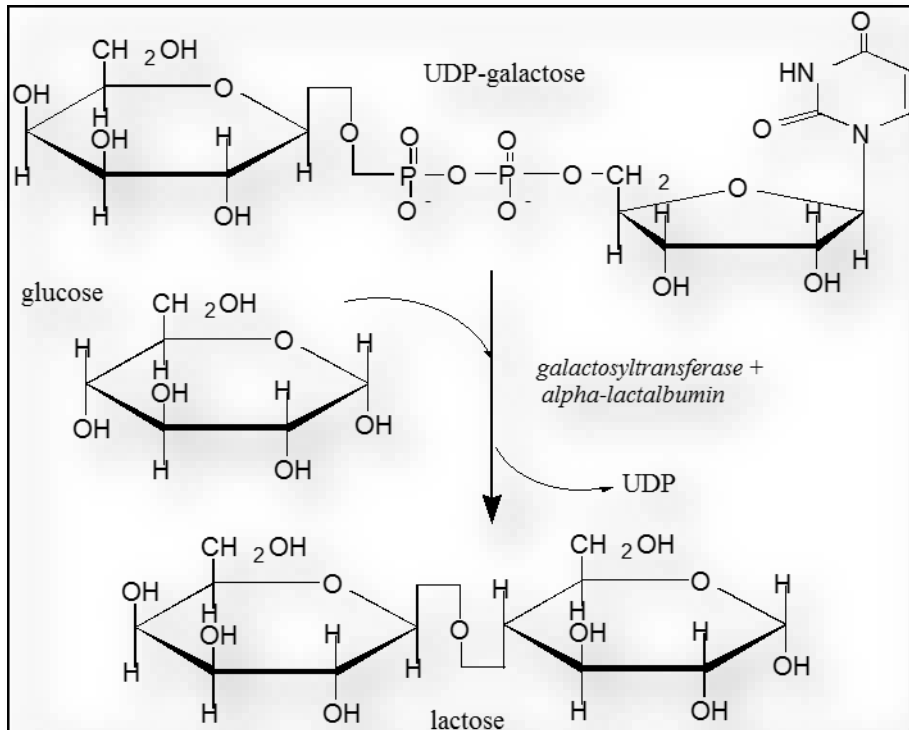
# Βιοσύνθεση λακτόζης (α)

Η βιοσύνθεση της λακτόζης του γάλακτος:

- στη συσκευή Golgi των επιθηλιακών κυττάρων.
- τα οργανίδια Golgi:
  - «τήκονται» με την κυτταρική μεμβράνη των επιθηλιακών κυττάρων.
  - αδειάζουν το περιεχόμενό τους στην αδενοκυψελίδα του αδενικού λοβίου.
- συνθετάση της λακτόζης =
  - γαλακτοζυλο-τρανσφεράση (καταλυτική υπομονάδα) &
  - α-λακταλβουμίνη (ρυθμιστική υπομονάδα).
- η α-λακταλβουμίνη υπόκειται σε ορμονικό έλεγχο (προλακτίνη).

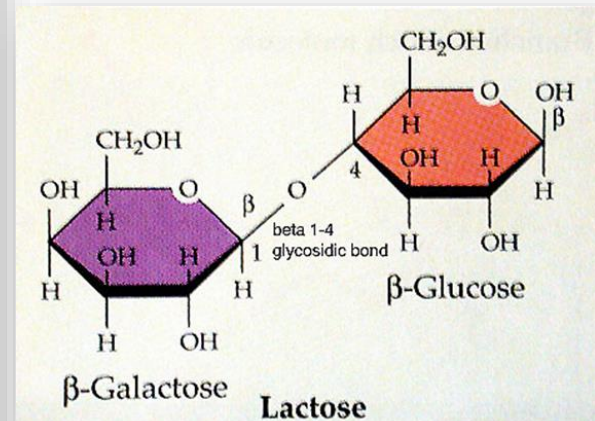
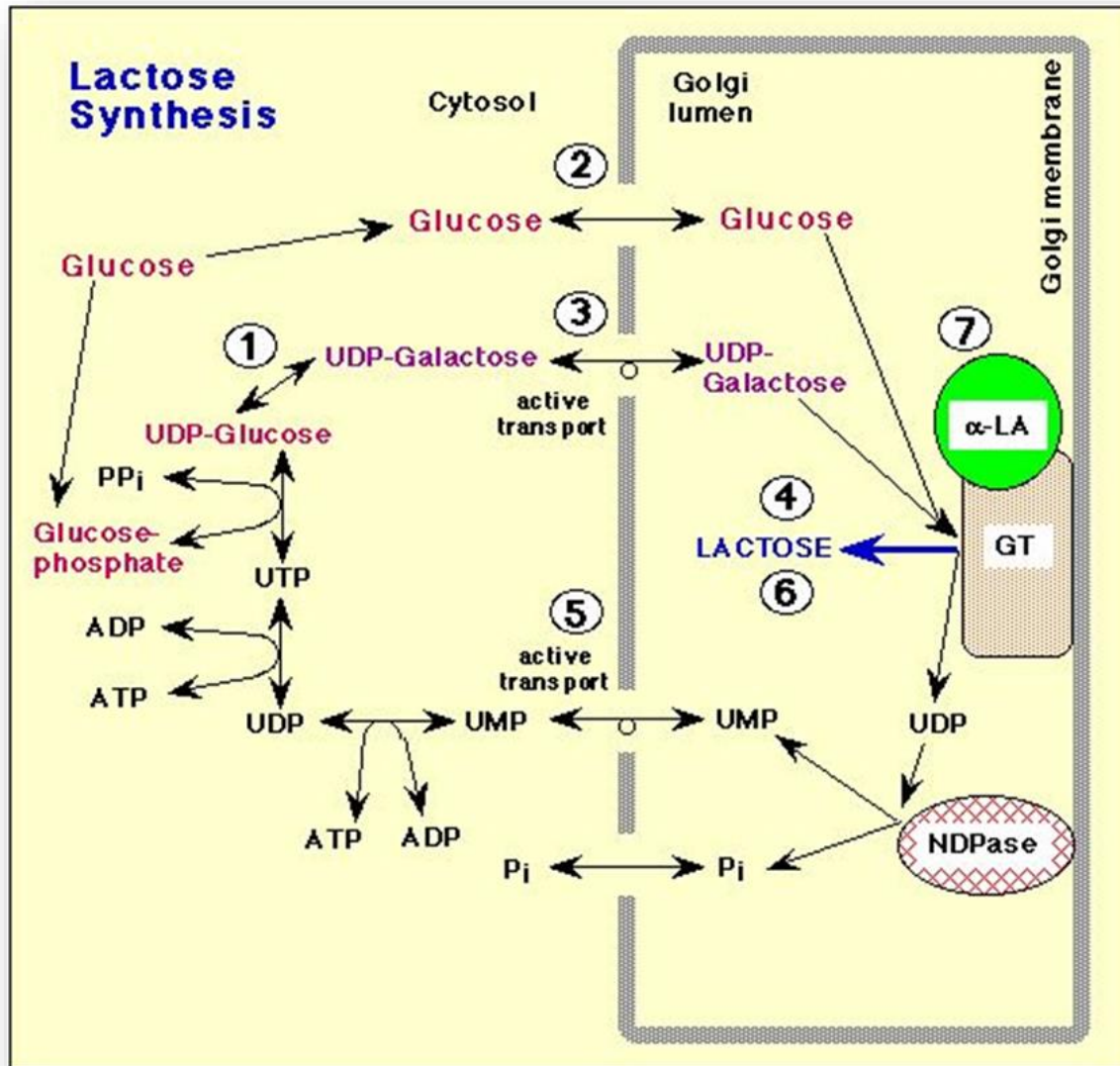


# Βιοσύνθεση λακτόζης (β)





# Βιοσύνθεση λακτόζης (γ)





# Λακτουλόζη

- Η θερμική επεξεργασία του γάλακτος οδηγεί στην ισομερίωση της λακτόζης σε **λακτουλόζη** (γαλακτοζυλο-β-1,4-φρουκτόζη), ένα σάκχαρο που δεν απαντάται στη φύση.
- Η συγκέντρωση της λακτουλόζης:
  - μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της θερμικής επεξεργασίας του γάλακτος.
  - αυξάνει από το παστεριωμένο γάλα προς το UHT και το αποστειρωμένο γάλα.
- Η λακτουλόζη δεν υδρολύεται από την β-γαλακτοζιδάση
  - εισέρχεται στο έντερο όπου δρα ως καθαρτικό.
  - ταυτόχρονα ευνοεί την ανάπτυξη των bifidobacteria.

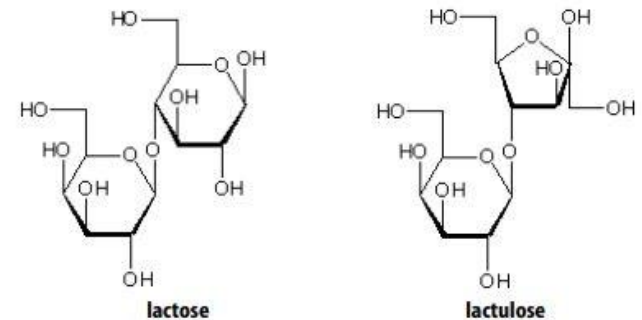
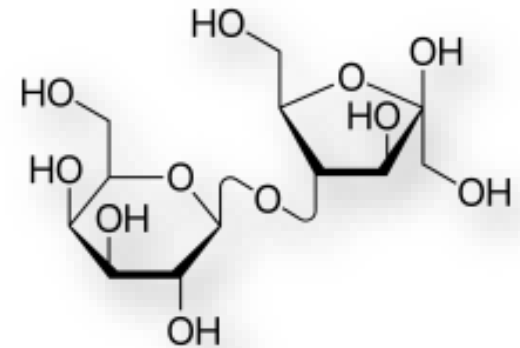


Fig. 1 Structural formula of lactulose and lactose





# Δυσανεξία στη λακτόζη (α)

- Δυσανεξία στη λακτόζη:
  - έλλειψη της β-γαλακτοζιδάσης (λακτάσης) στο ανθρώπινο πεπτικό σύστημα.
  - η λακτόζη εισέρχεται άθικτη στο παχύ έντερο,
  - εκεί ζυμώνεται από τα βακτήρια της εντερικής χλωρίδας,
  - με αποτέλεσμα τη δημιουργία αερίων, άρα αίσθηση φουσκώματος, και κραμπών.
  - Η μη υδρολυμένη λακτόζη δεσμεύει νερό από τον εντερικό βλεννογόνο με αποτέλεσμα και διάρροιες.



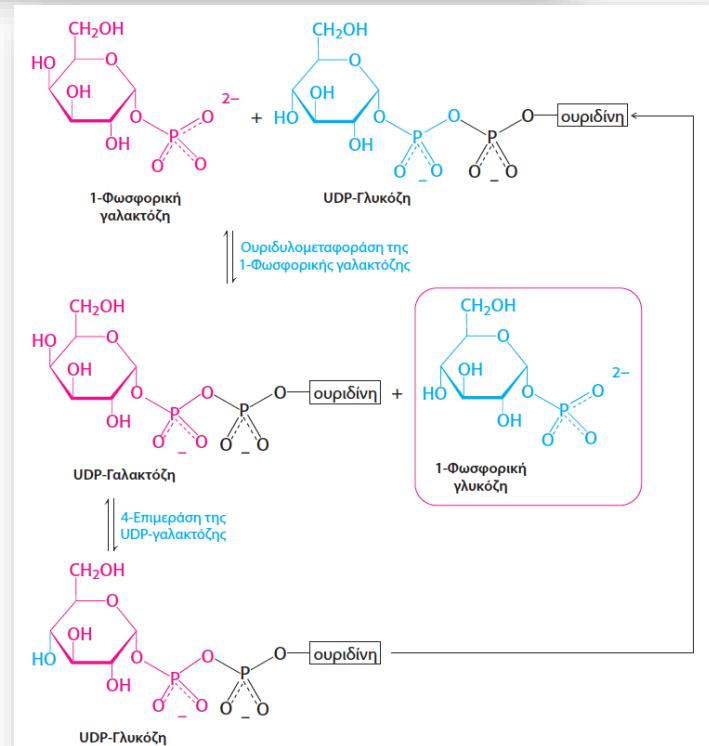
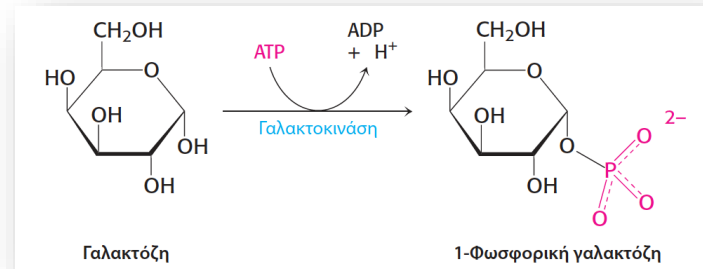
# Δυσανεξία στη λακτόζη (β)

- Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται:
  - με τον πλήρη αποκλεισμό της λακτόζης από τη διαίτα (π.χ. μη κατανάλωση γάλακτος ή κατανάλωση γάλακτος από το οποίο έχει αφαιρεθεί / υδρολυθεί η λακτόζη).
  - με την κατανάλωση γαλακτοκομικών προϊόντων, στα οποία το μεγαλύτερο μέρος της λακτόζης έχει αποικοδομηθεί μικροβιακά (π.χ. τυρί, γιαούρτη).



# Γαλακτοζαιμία (α)

- Η γαλακτόζη δεν καταβολίζεται λόγω της έλλειψης:
  - είτε της γαλακτοκινάσης,
  - είτε της ουριδυλο-τρανσφεράσης της γαλακτόζης-1-P
- Η συχνότητα εμφάνισης των συνδρόμων αυτών είναι 1 στις 50.000 γεννήσεις.



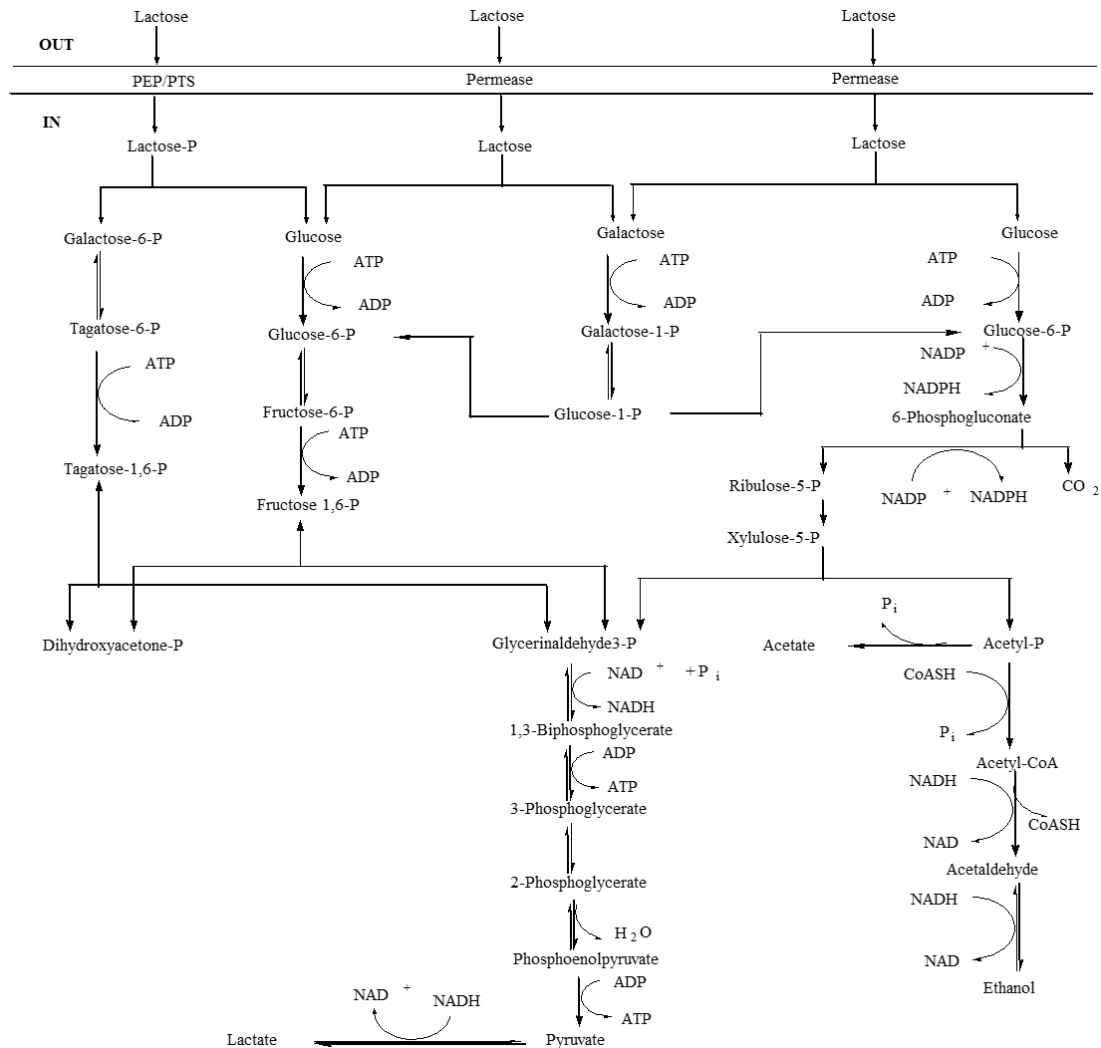


# Γαλακτοζαιμία (β)

- Απουσία της γαλακτοκινάσης:
  - η γαλακτόζη καταβολίζεται μέσω εναλλακτικών οδών παράγοντας γαλακτιτόλη.
  - η γαλακτιτόλη συσσωρεύεται σε διάφορους ιστούς, μεταξύ των οποίων και τα μάτια, προκαλώντας καταράκτη.
- Απουσία της ουρυδιλο-τρανσφεράσης της γαλακτόζης-1-P:
  - προκαλούνται ανωμαλίες στις μεμβράνες των κυττάρων του εγκεφάλου και άρα διανοητική καθυστέρηση.



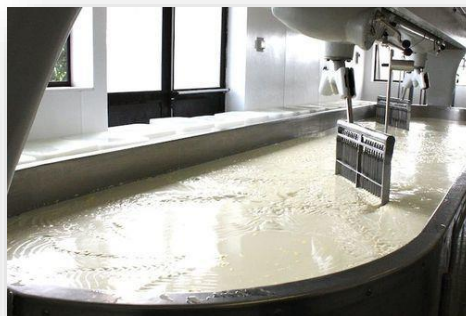
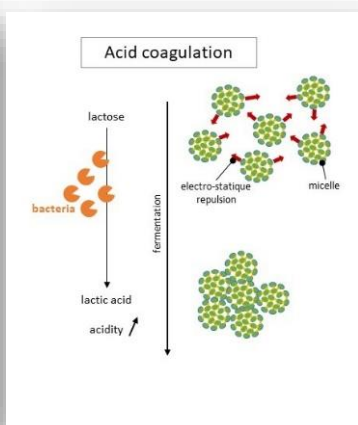
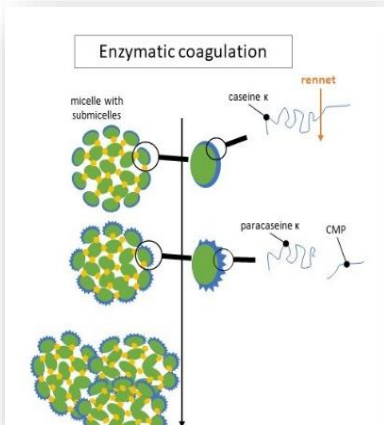
# Καταβολισμός λακτόζης



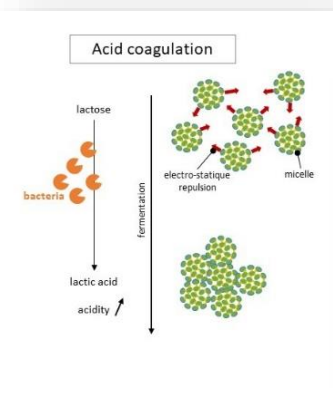


# Γιαούρτι & τυρί

## Τυρί

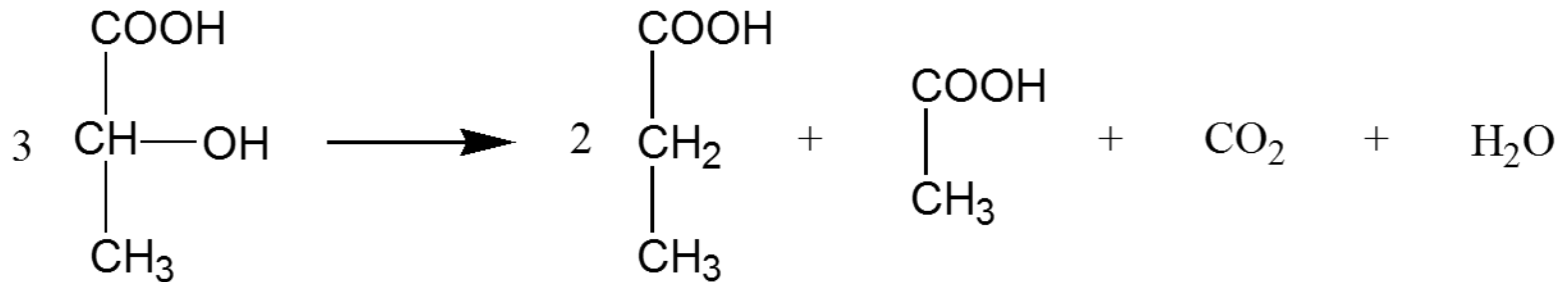


## Γιαούρτι





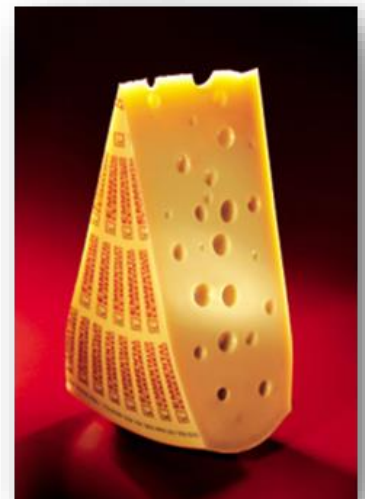
# Προπιονική ζύμωση (α)



lactate

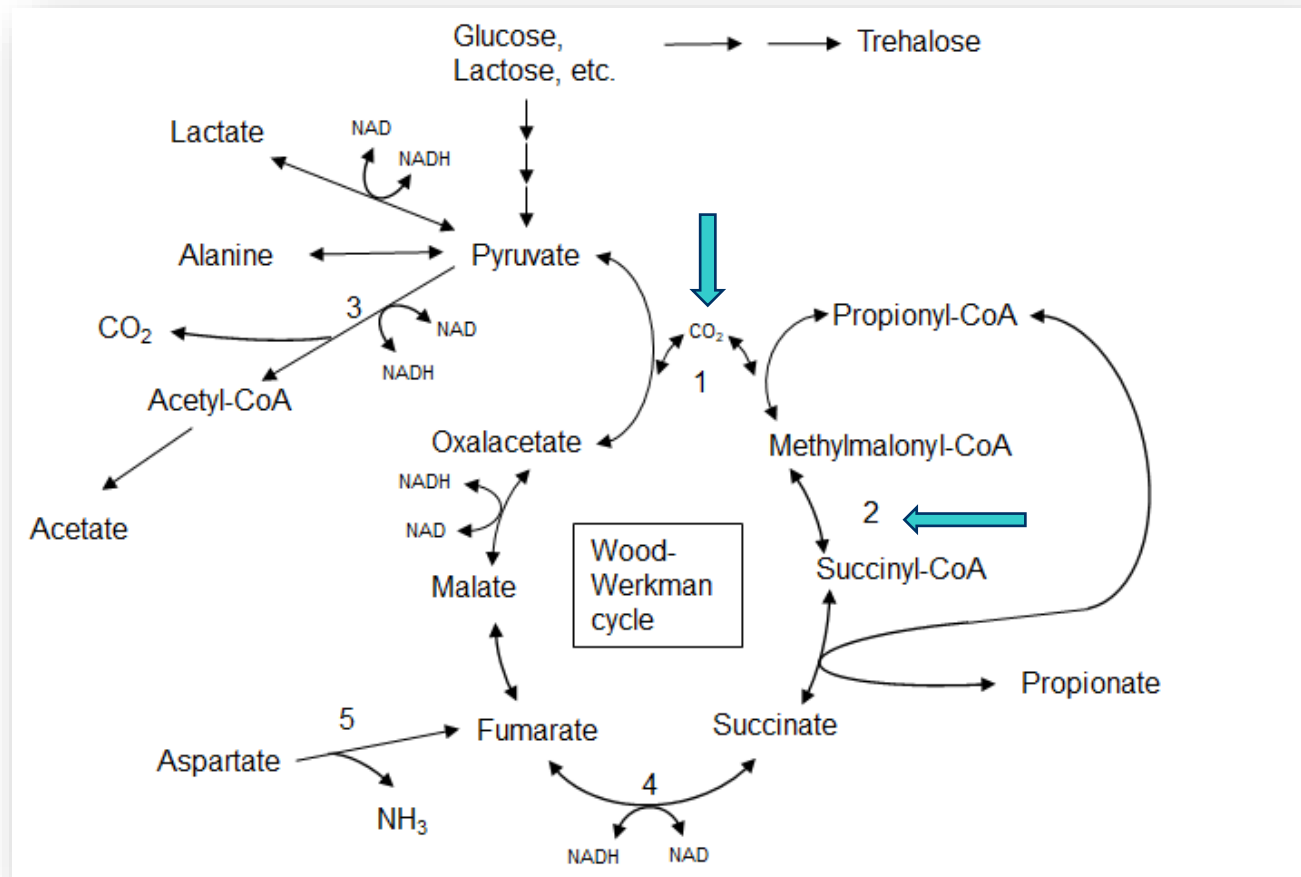
propionate

acetate

**Emmental****Γραβιέρα**



# Προπιονική ζύμωση (β)

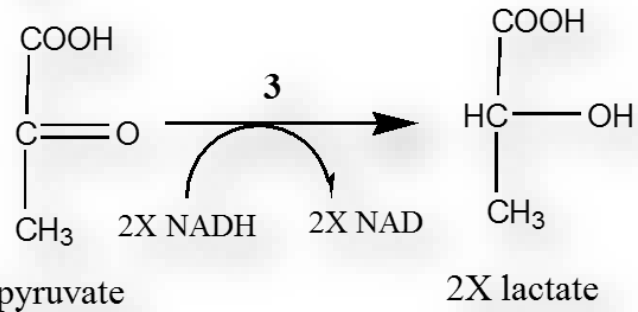
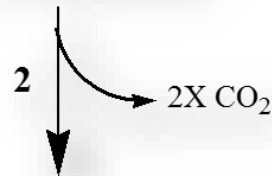
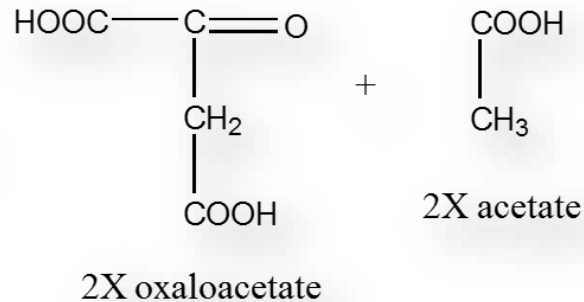
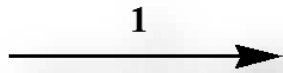
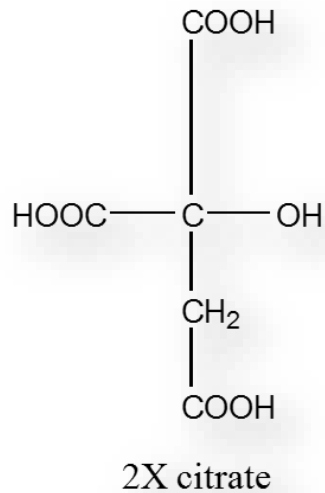


Ο μεταβολισμός του πυροσταφυλικού οξέος στο είδος *Propionibacterium freudenreichii*. **1:** καρβόξυ-μεταφοράση του μέθυλο-μηλότυλο-CoA; **2:** μουτάση του μέθυλο-μηλότυλο-CoA; **3:** πυροσταφυλική αφυδρογονάση; **4:** αναγωγή φουμαρικού; **5:** λύση ασπαραγινικού-αμμωνίας

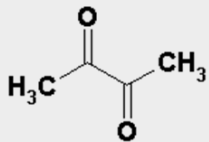




# Καταβολισμός κιτρικού οξέος (α)



**Βούτυρο**



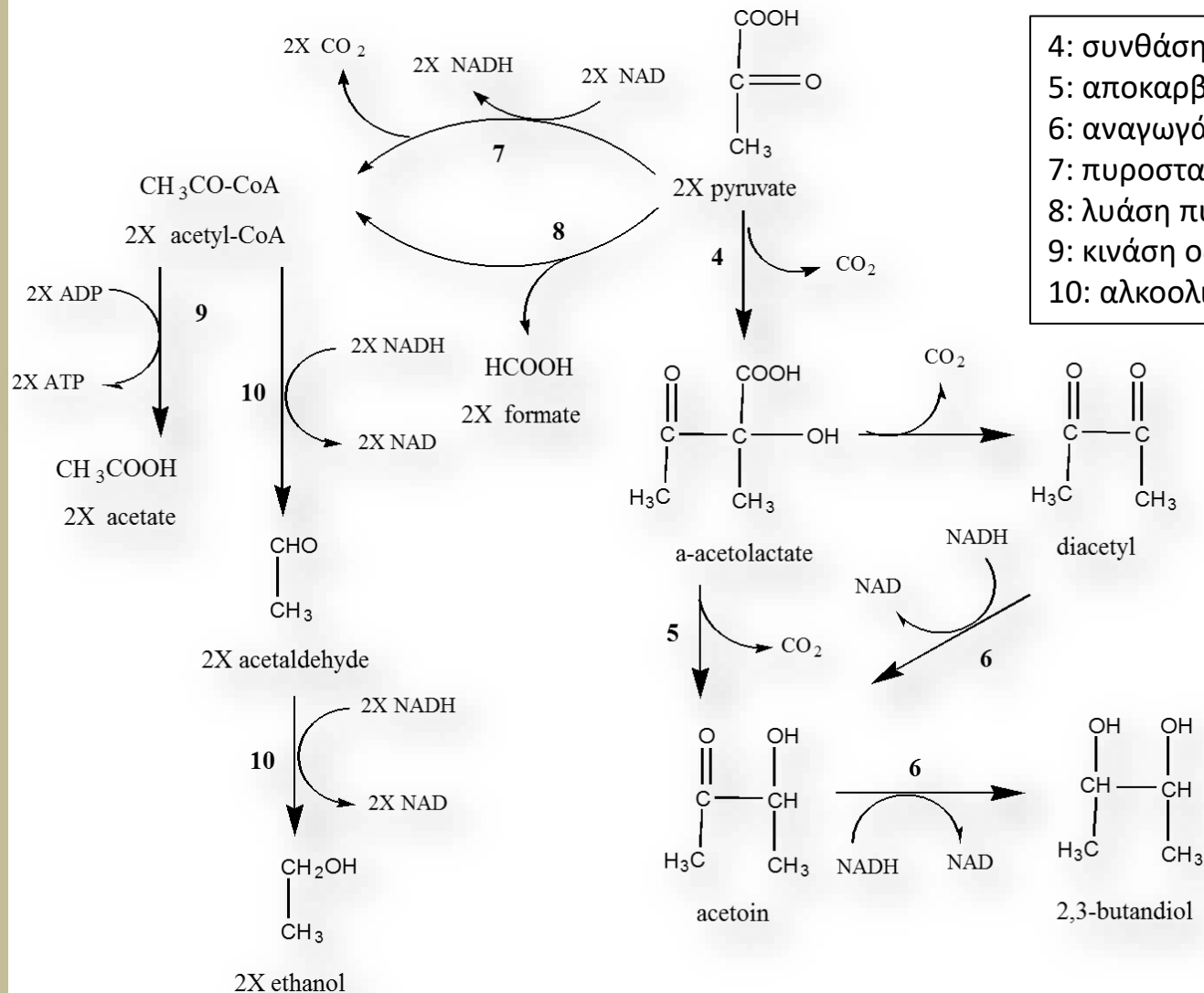
diacetyl

*butter flavor*

1: λύση κιτρικού, 2: αποκαρβοξυλάση οξαλοξικού, 3: γαλακτική δεϋδρογενάση



# Καταβολισμός κιτρικού οξέος (β)



- 4: συνθάση α-ακετολυ-γαλακτικού  
 5: αποκαρβοξυλαση α-ακετολυ-γαλακτικού  
 6: αναγωγάση ακετοΐνης-διακετυλίου  
 7: πυροσταφυλική δεϋδρογενάση  
 8: λυάση πυροσταφυλικού-μυρμηκικού  
 9: κινάση οξικού  
 10: αλκοολική δεϋδρογενάση



# Διατροφική αξία γάλακτος (α)

## ● Το γάλα:

- εξαιρετική πηγή πρωτεΐνης, ριβοφλαβίνης (B2), κοβαλαμίνης (B12), Ca και P.
- καλή πηγή βιταμίνης A, θειαμίνης (B1), νιασίνης (B3) και Mg.
- στο αποβουτυρωμένο γάλα το μεγαλύτερο μέρος των λιποδιαλυτών βιταμινών χάνεται.

## ● Στο τυρί:

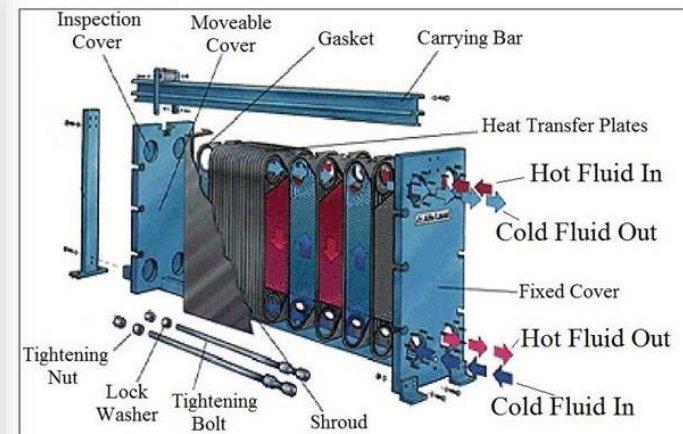
- ένα σημαντικό μέρος των υδατοδιαλυτών βιταμινών φεύγει στον ορρό αλλά το Ca παραμένει.
- μάλλον σταθερές οι λιποδιαλυτές βιταμίνες και οι υδατοδιαλυτές ριβοφλαβίνη (B2), νιασίνη (B3), παντοθενικό οξύ και βιοτίνη.



# Διατροφική αξία γάλακτος (β)

Η παστερίωση:

- LTLT, low temperature long time (63°C/30min ή 68°C/10min).
- HTST, high temperature short time (72-74°C για 15-30 sec).
- UHT επεξεργασία (135-140°C για 3-5 sec).
- Δεν προκαλούν μεγάλες απώλειες βιταμινών.
- Πιο ευαίσθητες είναι:
  - η θειαμίνη (B1),
  - το φυλικό οξύ,
  - η πυριδοξίνη (B6),
  - η κοβαλαμίνη (B12),
  - η βιταμίνη C.





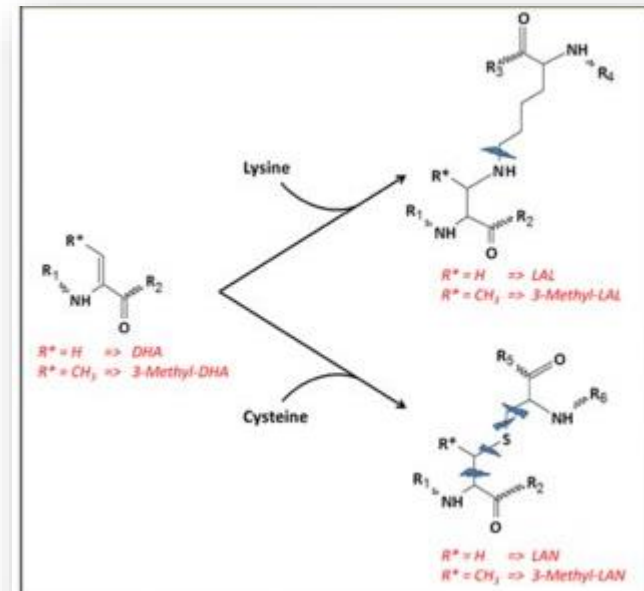
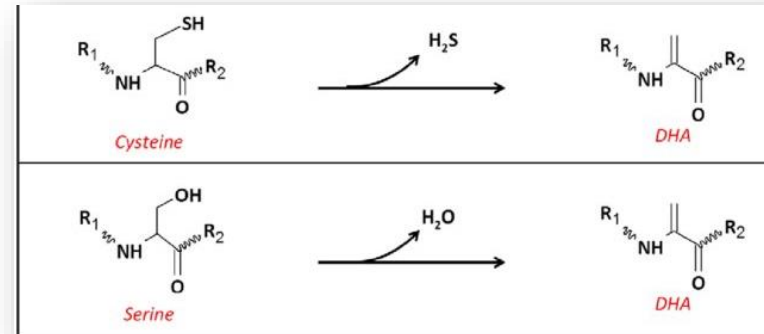
# Διατροφική αξία γάλακτος ( $\gamma$ )

- Η πρωτεΐνες του γάλακτος :
  - υψηλής διατροφικής αξίας,
  - με τιμή 0.9 έναντι 1.0 του αυγού (πρωτεΐνη αναφοράς),
  - λόγω της μερικής έλλειψης των θειούχων αμινοξέων κυστεΐνης και μεθειονίνης στο καζεϊνικό κλάσμα.
  - η θερμική επεξεργασία του γάλακτος προκαλεί μερική αποδιάταξη των πρωτεϊνών, κυρίως του ορρού, που βελτιώνει την διατροφική τους αξία, καθώς τις καθιστούν πιο ευαίσθητες στα πρωτεολυτικά ένζυμα του πεπτικού μας συστήματος.



# Διατροφική αξία γάλακτος (δ)

- Αλλαγές στην πρωτοταγή δομή των πρωτεϊνών μπορεί να μειώσει τη βιοδιαθεσιμότητα τους. π.χ.
  - η **β-απόσπαση** σε μόρια **κυστεΐνης** ή **σερίνης** με αποτέλεσμα το σχηματισμό **δεϋδροαλανίνης**, η οποία αντιδρά με μόρια λυσίνης προς λυσυλο-αλανίνη
  - η **λυσυλο-αλανίνη** δεν αφομοιώνεται και δημιουργεί διασταυρώσεις στο πρωτεϊνικό μόριο, με αποτέλεσμα την μείωση της βιοδιαθεσιμότητας της.
  - Η **παστερίωση και η επεξεργασία UHT** δεν οδηγούν σε σχηματισμό σημαντικών ποσοτήτων λυσυλο-αλανίνης, αλλά η παραμονή UHT γάλακτος για μεγάλο χρονικό διάστημα σε θερμοκρασίες  $> 35^{\circ}\text{C}$  μειώνουν σημαντικά τη διαθέσιμη λυσίνη.





# Διατροφική αξία γάλακτος (ε)

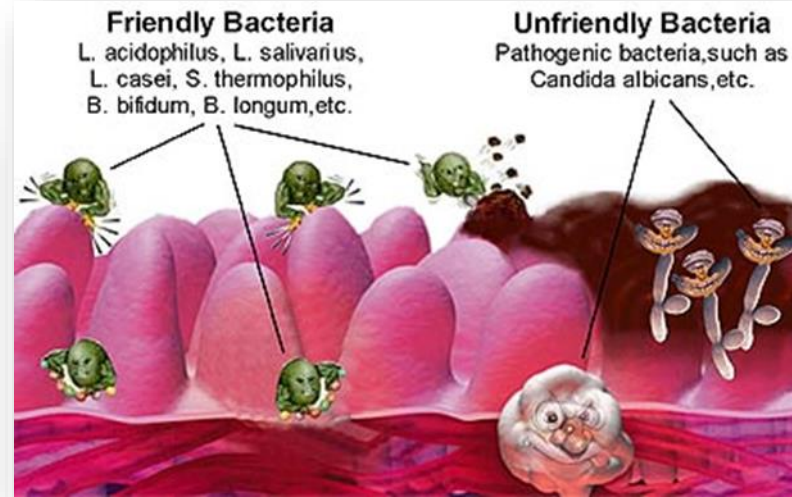
Το ανθρώπινο γάλα:

- λιγότερο Fe από το αγελαδινό αλλά περισσότερο βιοδιαθέσιμο.
- μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του απαραίτητου λινελαϊκού οξέος (cis, 18:2).
- είναι φτωχότερο του αγελαδινού σε καζεΐνες, πράγμα που ερμηνεύει:
  - τόσο το υψηλότερο pH του (περίπου 7,2),
  - όσο και την υψηλότερη βιοδιαθεσιμότητα του σιδήρου του.
- αλλά είναι πλουσιότερο σε ανοσοσφαιρίνες,
  - οι οποίες ενισχύουν το ανοσοποιητικό σύστημα των βρεφών.



# Προβιοτικά - Πρεβιοτικά

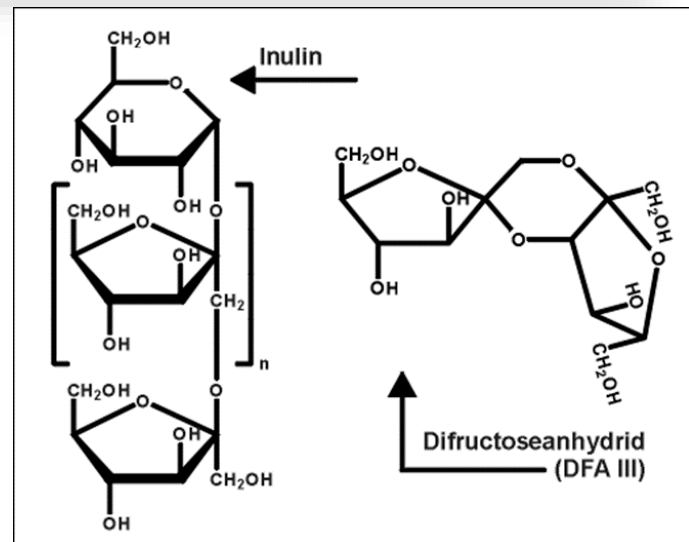
## Προβιοτικά



**Friendly Bacteria**  
L. acidophilus, L. salivarius,  
L. casei, S. thermophilus,  
B. bifidum, B. longum, etc.

**Unfriendly Bacteria**  
Pathogenic bacteria, such as  
Candida albicans, etc.

## Πρεβιοτικά







# Αντίδραση Maillard (α)

Θερμική επεξεργασία του γάλακτος.

- Αντίδραση Maillard μεταξύ:
  - της ε-αμινομάδας μορίων λυσίνης των πρωτεϊνών του γάλακτος και της αλδεϋδικής ομάδας μορίων λακτόζης ή λακτουλόζης.
- Αρχικά **προϊόν Amadori**: λακτοζυλο-λυσίνη.
- Εν συνεχεία **αποικοδομείται** σε διάφορα προϊόντα Maillard, όπως:
  - φορμικό οξύ, φουρφουράλες και υδροξυ-μεθυλο-φουρφουράλες.

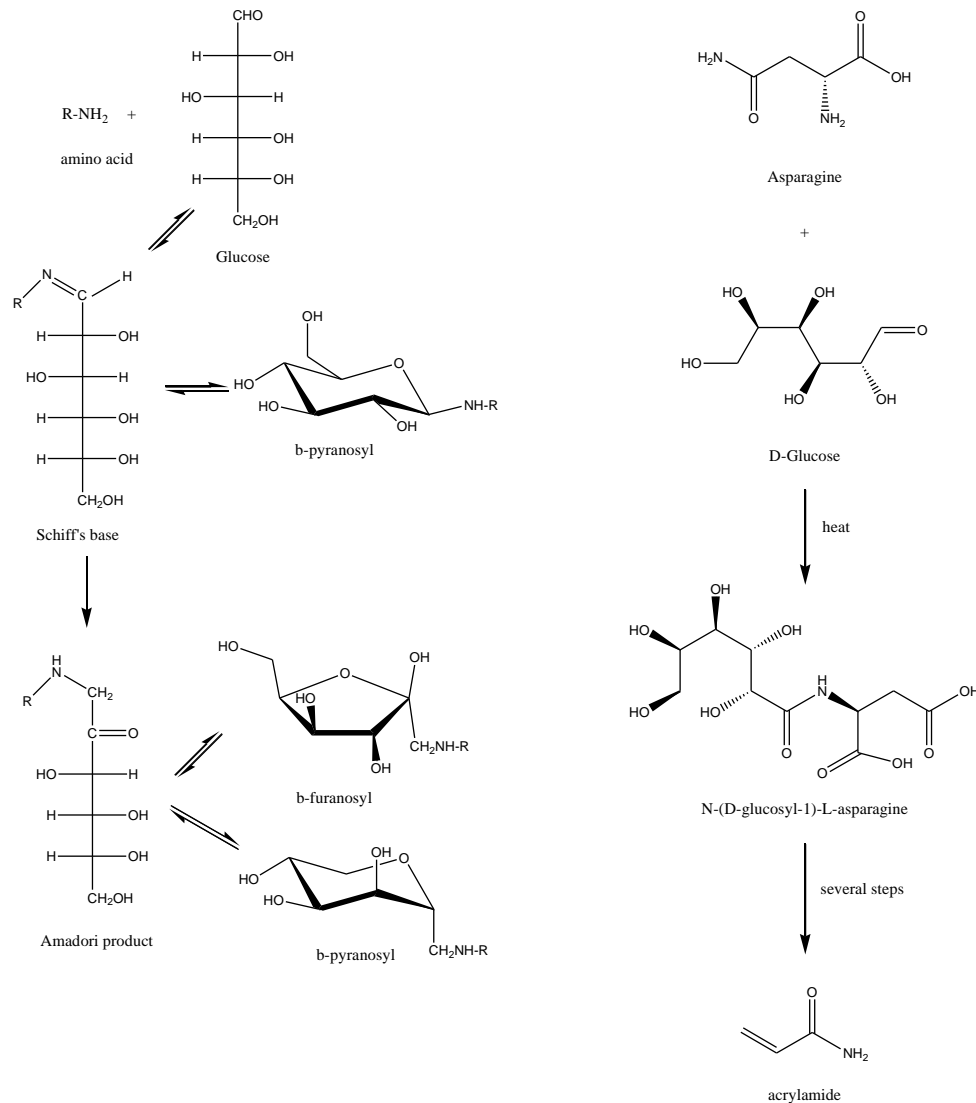


# Αντίδραση Maillard (β)

- Αλλαγή του χρώματος του γάλακτος (**καστάνωση**):
  - λόγω του σχηματισμού χρωστικών με το όνομα **μελανοϊδίνες**.
  - εκτεταμένη αντίδραση Maillard προκαλεί πολυμερισμό των πρωτεϊνών.
- Η αντίδραση Maillard αλλάζει:
  - και την διατροφική αξία του γάλακτος.
  - μειώνεται η πεπτικότητα των πρωτεϊνών και η διαθεσιμότητα της λυσίνης.



# Αντίδραση Maillard (γ)





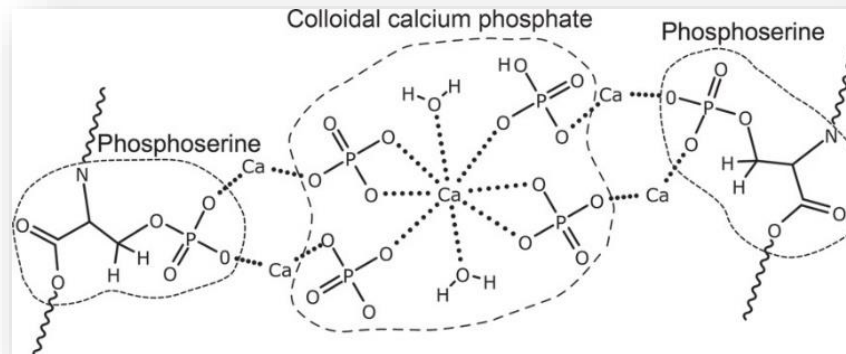
# Ηλεκτρολύτες του γάλακτος

- μεταφέρονται από το αίμα του ζώου στα επιθηλιακά κύτταρα.
- με σύστημα αντλιών και καναλιών στο κάτω άκρο των επιθηλιακών κυττάρων.
- το γάλα ισοτονικό προς το πλάσμα του αίματος.
- η ωσμωτική πίεση του γάλακτος οφείλεται κυρίως στη λακτόζη.



# Συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων και της λακτόζης του γάλακτος

	Συγκέντρωση (mg/100 ml)	Διαλυτή μορφή (%)	Κολλοειδής μορφή (%)
Ca (ολικό)	121	33	67
Ca <sup>++</sup>	8	100	0
Mg (ολικό)	12.5	64	36
Κιτρικό ιόν	181	94	6
P	65	55	45
Na <sup>+</sup>	60	96	4
K <sup>+</sup>	144	94	6
Cl <sup>-</sup>	108	100	0
Λακτόζη	4800	100	0





# Βιβλιογραφία

- B.K. Simpson (2012) Food Biochemistry and Food Processing, Wiley-Blackwell
- M.J. Berg, L.J. Tymoczko, G.J. Gato, L. Stryer (2015) Βιοχημεία, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης