



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

Βιοχημεία Τροφίμων I

Ενότητα 4^η

Γάλα I (μέρος β)

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
πρόγραμμα για την ανάπτυξη





Στόχοι ενότητας

- Κατανόηση της σύστασης και της βιοσύνθεσης του γάλακτος.
- Κατανόηση των λιπαρών συστατικών του γάλακτος και της βιοσύνθεσης τους.
- Κατανόηση της δομής και της λειτουργικότητας των καζεϊνών του γάλακτος.



Λέξεις - κλειδιά

- Λέξεις κλειδιά: Γάλα, Σύσταση, Βιοσύνθεση, Λίπος, Πρωτεΐνες, Καζεΐνες.
- Key words: Milk, Composition, Biosynthesis, Fat, Proteins, Caseins.



Λίπος γάλακτος (α)

Το λίπος του γάλακτος.

- Η συγκέντρωση εξαρτάται από:
 - τη φυλή του ζώου,
 - το ίδιο το ζώο,
 - το στάδιο της γαλακτικής περιόδου,
 - την ποιότητα και την ποσότητα της διατροφής,
 - τη συχνότητα των αμέλξεων,
 - την ύπαρξη ή όχι μαστίτιδας.



Λίπος γάλακτος (β)

- Ανάμεσα στις δύο κύριες φυλές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αγελαδινού γάλακτος:
 - οι Friesian-Holstein παράγουν τη χαμηλότερη συγκέντρωση λίπους (περίπου 3.5%).
 - οι Jersey-Guernsey με την υψηλότερη (περίπου 6%).
- Όταν εφαρμόζεται η λεγόμενη συγχρονισμένη αγελαδοτροφία (synchronized calving) στις αγελάδες Friesian-Holstein το λίπος του γάλακτος:
 - κυμαίνεται από περίπου 3% στην έναρξη της γαλακτικής περιόδου,
 - μέχρι > 4.5% στο τέλος της γαλακτικής περιόδου.



Σύσταση λίπους γάλακτος

Η σύσταση του λίπους του γάλακτος.

Λιπίδιο	Ποσοστό βάρους (%)	g/l
Τριγλυκερίδια	95.80	30.70
Διγλυκερίδια	2.25	0.72
Μονογλυκερίδια	0.08	0.03
Ελεύθερα λιπαρά οξέα	0.28	0.09
Φωσφολιπίδια	1.11	0.36
Χοληστερόλη	0.46	0.15
Εστέρες χοληστερόλης	0.02	0.006



Τριγλυκερίδια του γάλακτος

Τύπος	Άτομα άνθρακα	Είδη λιπαρών οξέων			mole %
Κεκορεσμένα τριγλυκερίδια (σύνολο)					32.4
	34	4:0	14:0	16:0	3.1
	36	4:0	16:0	16:0	3.2
	38	4:0	16:0	18:0	2.5
Μονο-ακόρεστα τριγλυκερίδια (σύνολο)					32.6
	38	4:0	16:0	18:1	4.2
	40	6:0	16:0	18:1	2.0
	48	14:0	16:0	18:1	2.8
	50	16:0	16:0	18:1	2.3
	52	16:0	16:0	18:1	2.2
Δι-ακόρεστα τριγλυκερίδια (011) (σύνολο)					10.6
Δι-ακόρεστα τριγλυκερίδια (002) (σύνολο)					2.5
Πολυ-ακόρεστα τριγλυκερίδια (όλοι οι τύποι) (σύνολο)					5.2



Λιπαρά οξέα του γάλακτος (α)

Τα κυριότερα λιπαρά οξέα του γάλακτος.

Λιπαρό οξύ	Ποσοστό βάρους (%)	Λιπαρό οξύ	Ποσοστό βάρους (%)
4:0	3.8	15:0	1.1
6:0	2.4	16:0	43.7
8:0	1.4	16:1	2.6
10:0	3.5	18:0	11.3
12:0	4.6	18:1	11.3
14:0	12.8	18:2	1.5
14:1	1.6		



Λιπαρά οξέα του γάλακτος (β)

- **Το βουτυρικό οξύ (C4):**
 - αναγωγή του β-υδροξυ-βουτυρικού οξέος.
 - β-υδροξυ-βουτυρικό οξύ από τις διαιτητικές ίνες της τροφής του ζώου με τη δράση των βακτηρίων της μεγάλης κοιλίας (rumen).
 - η συγκέντρωση του μεγάλες διακυμάνσεις ανάλογα με τη τροφή του ζώου.
- **Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα:**
 - ελαϊκό (cis, 18:1), λινελαϊκό (cis, 18:2) και βακκενικό (trans, 18:2).
 - προϊόντα της υδρογόνωσης του λινολενικού (cis, 18:3) της τροφής.
 - λαμβάνει χώρα στη μεγάλη κοιλία των μηρυκαστικών.



Λιπαρά οξέα του γάλακτος (γ)

- **Συζευγμένο λινελαϊκό οξύ (CLA, conjugated linoleic acid):**
 - κυρίως στο 9-cis, 11-trans-δεκαοκταδιενικό οξύ.
 - θεωρείται ότι έχει ευεργετική επίδραση στην υγεία του ανθρώπου (αντικαρκινογόνο δράση, παρεμποδίζει το σχηματισμό αθηρωματικής πλάκας, ενισχύει το ανοσοποιητικό σύστημα, συντελεί στη γρήγορη ανάπτυξη και συμβάλλει στη μείωση του σωματικού λίπους).

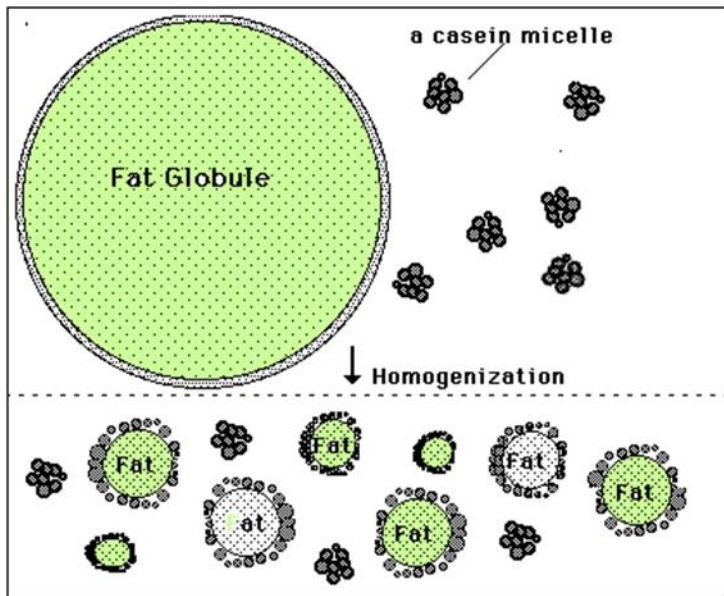


Λιποσφαίρια (α)

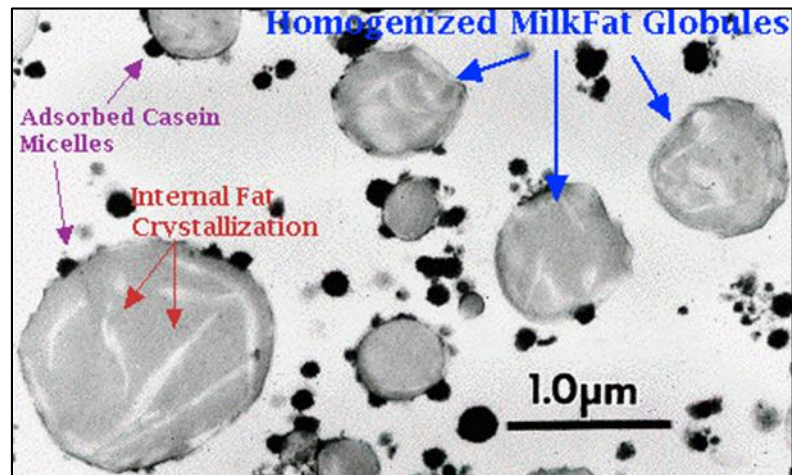
- Το λίπος του γάλακτος είναι οργανωμένο υπό μορφή λιποσφαιρίων \varnothing 2-6 μm .
- Λιποσφαίρια:
 - τα μεγαλύτερα σωματίδια του γάλακτος.
 - υπεύθυνα για την σκέδαση του φωτός στο γάλα.
 - αποτέλεσμα η λευκή, κρεμώδης μορφή του πλήρους γάλακτος.
 - ο πυρήνας τους αποτελείται αποκλειστικά σχεδόν από τριγλυκερίδια.
 - περιβάλλονται από μεμβράνη.



Λιποσφαίρια (β)



Σχηματική απεικόνιση των λιποσφαιρίων του γάλακτος πριν και μετά την ομογενοποίηση.



Φωτογραφία - μέσω ηλεκτρονικού μικροσκοπίου - των λιποσφαιρίων του γάλακτος.



Τύπος του Stokes

Τύπος του Stokes:

$$V = \frac{2}{9} \times \frac{(d - d') \times r^2 \times g}{\eta}$$

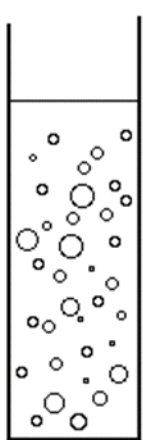
V = ταχύτητα καταβύθισης.

d = πυκνότητα λίπους.

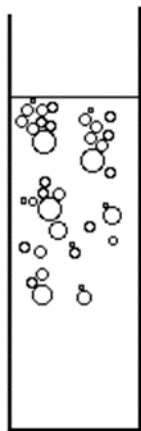
d' = πυκνότητα μέσου διασποράς.

r^2 = ακτίνα λιποσφαιρίων.

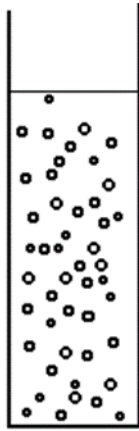
η = συντελεστής ιξώδους μέσου διασποράς.



Raw milk

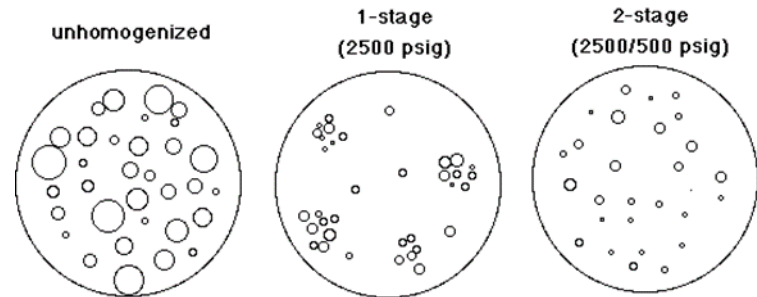


Cold, raw milk
after 1 hour



Homogenized milk
during storage

The Effects of 2-stage Homogenization
on Fat Globule Size Distribution as Seen
Under the Light Microscope



unhomogenized
mean 2 μm
range 1-10 μm

1-stage
(2500 psig)
mean 0.5 μm
range 0.2-2 μm
much clustering

2-stage
(2500/500 psig)
mean 0.5 μm
range 0.2-2 μm
no clustering



Μεμβράνη λιποσφαιρίων (α)

Μεμβράνη λιποσφαιρίων:

- σημαντική για την σταθερότητα της λιπαρής φάσης.
- σημαντική για τις μεταβολές κατά την επεξεργασία του γάλακτος.
- προέρχεται από την κυτταρική μεμβράνη των επιθηλιακών κυττάρων.
- δημιουργείται κατά την μεταφορά του λίπους στην αδενοκυψελίδα.
- έχει σύσταση κυτταρικής μεμβράνης.



Μεμβράνη λιποσφαιρίων (β)

Μεμβράνη λιποσφαιρίων:

- 70% των φωσφολιπιδίων και το 85% της χοληστερόλης του γάλακτος.
- μεμβρανικές πρωτεΐνες:
 - αλκαλική φωσφατάση,
 - οξειδάση της ξανθίνης,
 - 5'-νουκλεοτιδάση,
 - σουλφυρδυλική οξειδάση,
 - φωσφοδιεστεράση.



Βιοσύνθεση λίπους γάλακτος (α)

Βιοσύνθεση του λίπους του γάλακτος:

- στο ενδοπλασματικό δίκτυο των επιθηλιακών κυττάρων.
- το λίπος κατευθύνεται προς το κυτταρόπλασμα.
- οργανώνεται σε λιποσωματίδια.
- τα λιποσωματίδια οδεύουν προς το άνω άκρο των επιθηλιακών κυττάρων.
- περιβάλλονται από ένα στρώμα κυτταρικής μεμβράνης.
- μεταφέρονται στην αδenoκυψελίδα του αδενικού λοβίου.



Βιοσύνθεση λίπους γάλακτος (β)

de novo βιοσύνθεση
C6-C14 & 50% C16

από το λίπος της τροφής
50% C16 και 100% C18

τριγλυκερίδια αίματος

λιποπρωτεΐνη λιπάση

απολιποπρωτεΐνη C-II

ελεύθερα
C16-C18
στο μαστό

τριγλυκερίδια μαστού



Βιοσύνθεση λιπαρών οξέων

Κύριες αντιδράσεις της βιοσύνθεσης των λιπαρών οξέων:

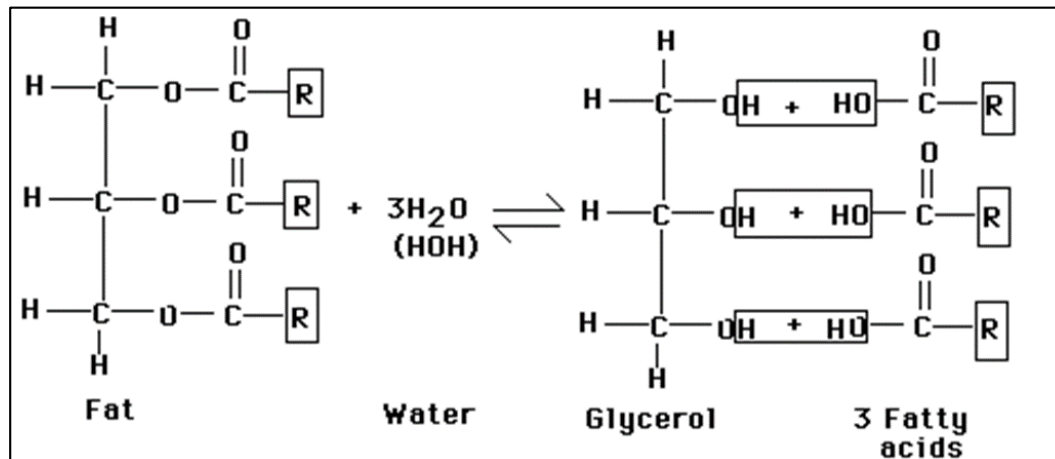
	Αντίδραση	Ένζυμο
1	$\text{ακέτυλο-CoA} + \text{HCO}_3^- + \text{ATP} \rightarrow \text{μηλότυλο-CoA} + \text{ADP} + \text{P}_i + \text{H}^+$	Καρβοξυλάση του ακέτυλο-CoA
2	$\text{ακέτυλο-CoA} + \text{ACP} \leftrightarrow \text{ακέτυλο-ACP} + \text{CoA}$	Ακετυλοτρανσακυλάση
3	$\text{μηλότυλο-CoA} \leftrightarrow \text{μηλότυλο-ACP} + \text{CoA}$	Μηλονυλοτρανσακυλάση
4	$\text{ακέτυλο-ACP} + \text{μηλότυλο-ACP} \rightarrow \text{ακετοακέτυλο-ACP} + \text{ACP} + \text{CO}_2$	Ένζυμο συμπύκνωσης του ακυλο-μηλότυλο-ACP
5	$\text{ακετοακέτυλο-ACP} + \text{NADPH} + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{D-3-υδροξυ-βουτύτυλο-ACP} + \text{NADP}^+$	Αναγωγάση του β-κετοάκυλο-ACP
6	$\text{D-3-υδροξυ-βουτύτυλο-ACP} \leftrightarrow \text{κροτότυλο-ACP} + \text{H}_2\text{O}$	Δεϋδρατάση του 3-υδροξυάκυλο-ACP
7	$\text{κροτότυλο-ACP} + \text{NADPH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{βουτύτυλο-ACP} + \text{NADP}^+$	Αναγωγάση του ενόϋλο-ACP



Βιόςύνθεση λιπιδίων (α)

● Ακυλοτρανσφεράσες:

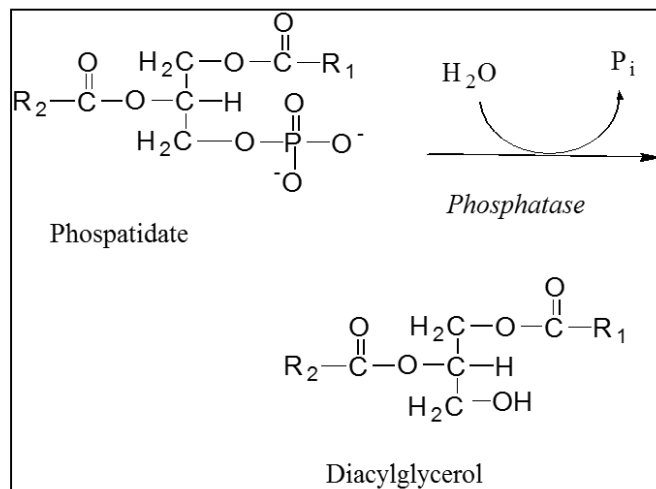
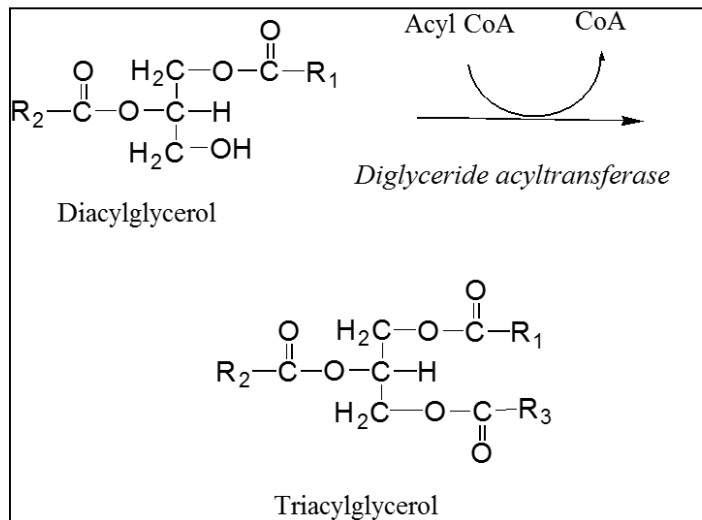
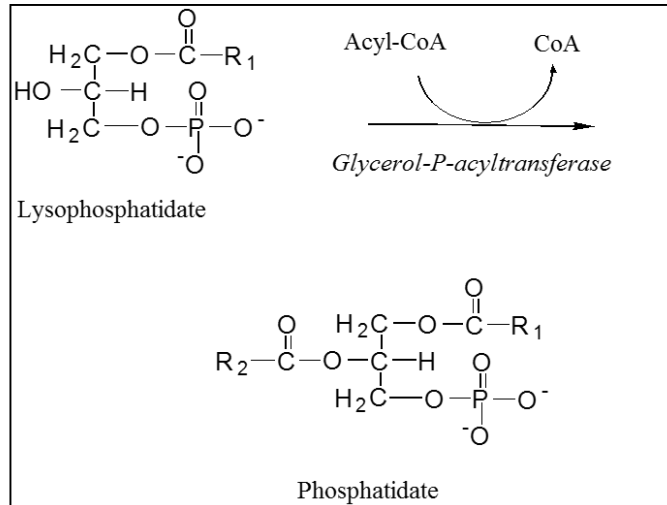
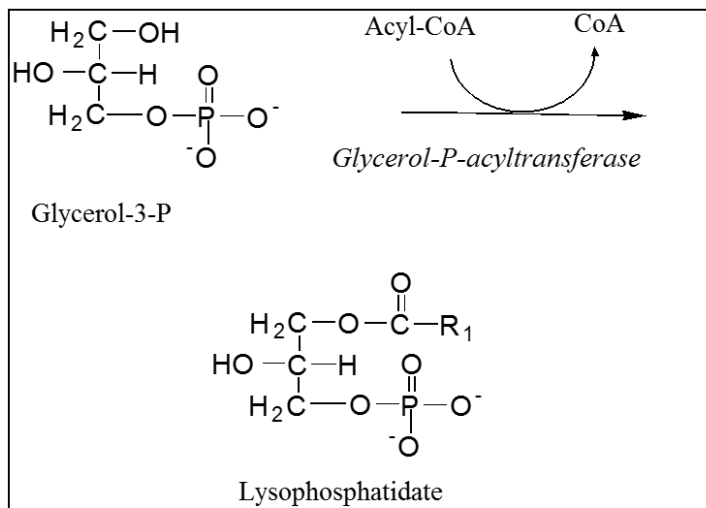
- εξειδικευμένα ένζυμα.
- καταλύουν την ακυλίωση (εστεροποίηση) ΟΗ-ομάδων της γλυκερόλης.
- μεγάλου μήκους άκυλο-CoA μεταφέρεται στις θέσεις *sn*-1 & *sn*-2 γλυκερόλης.
- μικρού μήκους άκυλο-CoA μεταφέρεται στη θέση *sn*-3 γλυκερόλης.



Η αντίδραση υδρόλυσης τριγλυκεριδίου.



Βιοσύνθεση λιπιδίων (β)



Οι τέσσερις αντιδράσεις βιοσύνθεσης τριγλυκεριδίου.



Πρωτεΐνες του γάλακτος

Πρωτεΐνη	g/l	% ολικής πρωτεΐνης
Καζεΐνες	24-28	80
α _s -καζεΐνες	15-19	42
α _s 1	12-15	34
α _s 2	3-4	8
β-καζεΐνη	9-11	25
κ-καζεΐνη	3-4	9
γ-καζεΐνη	1-2	4
Πρωτεΐνες του ορρού	5-7	20
β-λακτογλοβουλίνη	2-4	9
α-λακταλβουμίνη	1-1,5	4
Πρωτεόζες-πεπτόνες	0,6-1,8	4
Πρωτεΐνες αίματος		
Πρωτεΐνη του ορρού	0,1-0,4	1
Ανοσοσφαιρίνες	0,6-1	1
Σύνολο		100



Βιοσύνθεση πρωτεϊνών (α)

Βιοσύνθεση των πρωτεϊνών του γάλακτος:

- *de novo*:
 - καζεΐνες,
 - β-λακτογλοβουλίνη,
 - α-λακταλβουμίνη.
- Από το αίμα του ζώου:
 - αλβουμίνη του ορού,
 - ανοσοσφαιρίνες.
- στα ριβοσωμάτια των επιθηλιακών κυττάρων.
- πρώτη ύλη τα ελεύθερα αμινοξέα του αίματος του ζώου.
- με σύστημα ενεργής μεταφοράς μεταφέρονται στα επιθηλιακά κύτταρα του μαστού.



Βιοσύνθεση πρωτεϊνών (β)

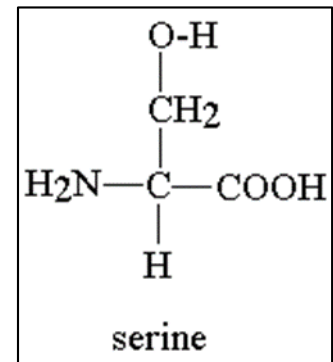
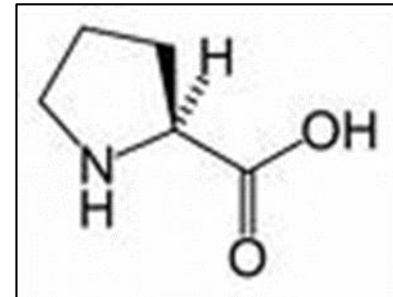
Βιοσύνθεση των πρωτεϊνών του γάλακτος:
(συνέχεια)

- Η βιοσύνθεση σύμφωνα με το γενικό σχήμα:
 - (DNA → mRNA → πρωτεΐνη).
- Η βιοσύνθεση ολοκληρώνεται στη συσκευή Golgi:
 - μετα-μεταφραστική τροποποίηση πρωτεϊνών.
 - πρώτη εμφάνιση μικκυλίων καζεΐνης.
- τα οργανίδια Golgi «τήκονται» με την κυτταρική μεμβράνη των επιθηλιακών κυττάρων,
 - αδειάζουν το περιεχόμενό τους στην αδενοκυψελίδα του αδενικού λοβίου.



α_{s1} -καζεΐνη (α)

- 199 αμινοξέα (17 μόρια προλίνης, 8.4%).
- 8.4% προλίνη, ομοιόμορφα κατανεμημένη σε όλο το μόριο.
- δύσκολος ο σχηματισμός α-έλικας (δευτεροταγής δομή).
- περιοχή 41-80:
 - 8 **Ser** – **P** (ανιονική περιοχή).
 - υψηλό αρνητικό φορτίο (-20.6 σε pH 6.6),
 - σχεδόν το συνολικό καθαρό φορτίο όλου του μορίου.





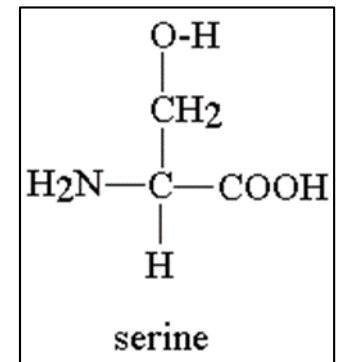
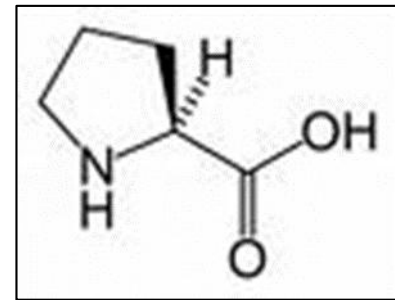
α_{s1} -καζεΐνη (β)

- υπόλοιπο μόριο:
 - ελάχιστο καθαρό φορτίο.
 - 3 πολύ υδρόφοβες περιοχές (1-40, 90-110 και 130-199).
- αμφίφιλο μόριο:
 - υδρόφιλο και όξινου χαρακτήρα το N-άκρο.
 - υδρόφοβο το C-άκρο.
- 8 γενετικές παραλλαγές:
 - A, B, C, D, E, F, G και H.



α_{s2} -καζεΐνη

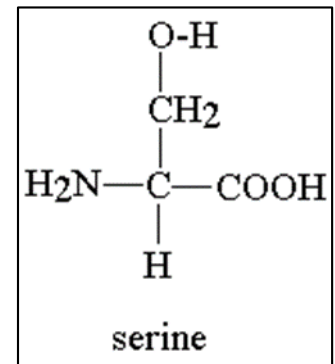
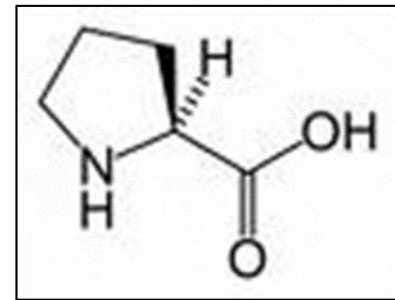
- 207 αμινοξέα (10 μόρια προλίνης, 4.8%).
- 11 **Ser** – **P** σε τρεις διακριτές περιοχές (8-16, 56-61 και 129-143).
- το πιο υδρόφιλο κλάσμα καζεΐνης.
- συνολικά μικρότερο καθαρό φορτίο από την α_{s1} -καζεΐνη.
- N-άκρο (68 αμινοξέα) με καθαρό αρνητικό φορτίο -21 .
- περιοχή 90-120 ασθενώς υδρόφοβη.
- C-άκρο (160-207) πολύ υδρόφοβο (φορτίο $+9.5$).
- 4 γενετικές παραλλαγές (A, B, C και D).





β-καζεΐνη

- 209 αμινοξέα (35 μόρια προλίνης, 16.7%).
- 16.7% προλίνη (ομοιόμορφα κατανεμημένη σε όλο το μόριο).
- δύσκολος ο σχηματισμός δομής α-έλικας.
- η πιο υδρόφοβη καζεΐνη.
- N-άκρο (1-21):
 - 4 εκ των συνολικά 5 **Ser** – **P**,
 - ισχυρά αρνητικά φορτισμένο (-11.5).
- υπόλοιπο μόριο (ιδιαίτερα το C-άκρο):
 - υδρόφοβο.
- 9 γενετικές παραλλαγές:
 - A1, A2, A3, B, C, D, E, F και G.





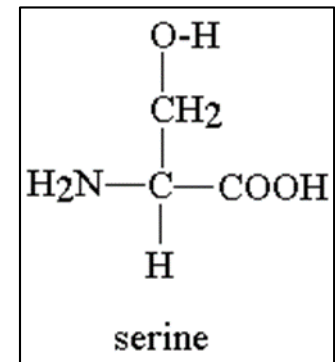
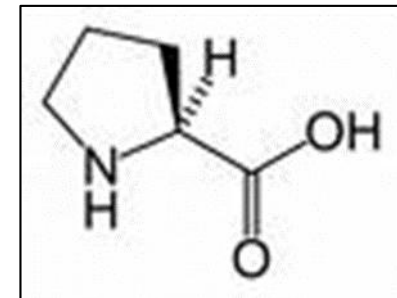
γ-καζεΐνη

- προϊόν της υδρόλυσης του C-άκρου της β-καζεΐνης από την πλασμίνη.
- πλασμίνη = ενδογενής πρωτεΐνάση του γάλακτος.
- υδρόλυση πριν η μετά την άμελξη.
- παράγει 6 πολυπεπτίδια:
 - τα γ1, γ2 και γ3 που κλασματοποιούνται με το καζεϊνικό κλάσμα,
 - οι πρωτεόζες-πεπτόνες κλασματοποιούνται με τον ορρό.



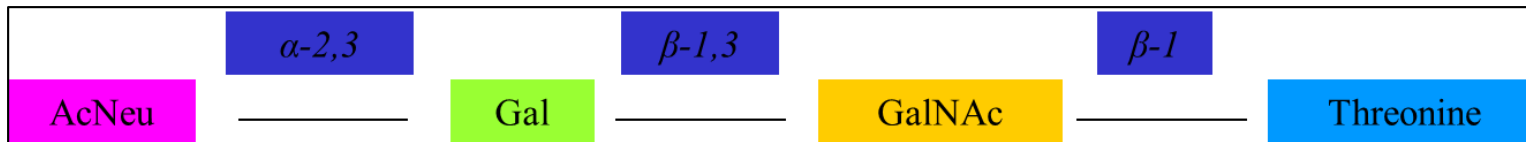
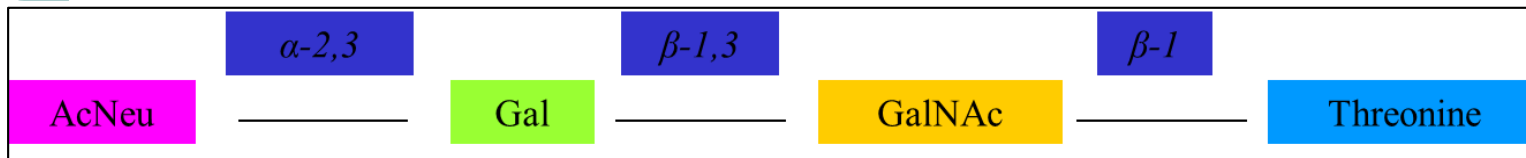
κ-καζεΐνη (α)

- 169 αμινοξέα (20 μόρια προλίνης, 11.8%).
- 11.8% προλίνη.
- 1 μόνο **Ser** – **P** (Ser149).
- 11 γενετικές παραλλαγές:
 - A, B, C, D, E, FS, FI, GS, H, I και J.
- η πολική περιοχή:
 - ομάδα Ser132-Thr133.
 - Thr133 γλυκοζυλιωμένη.
- υδατανθρακικό τμήμα:
 - τρισακχαρίτης ή τετρασακχαρίτης.
 - N-ακετυλονευραμινικό οξύ (AcNeu).
 - γαλακτόζη (Gal).
 - N-ακετυλογαλακτοζαμίνη (GalNAc).

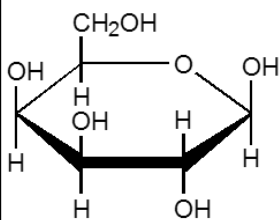
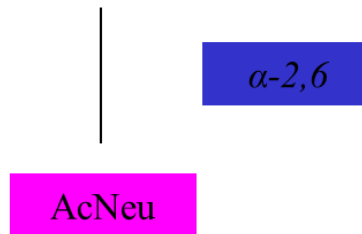




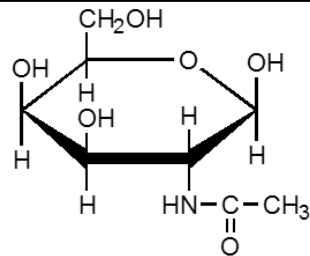
κ-καζεΐνη (β)



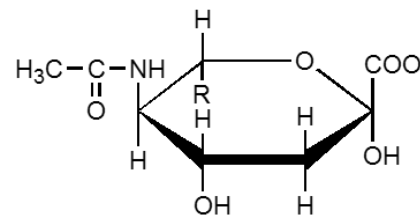
Σχηματική απεικόνιση της δομής του τρι- και τετρα-σακχαρίτη στην κ-καζεΐνη.



Galactose (Gal)



N-acetylgalactosamine (GalNAc)



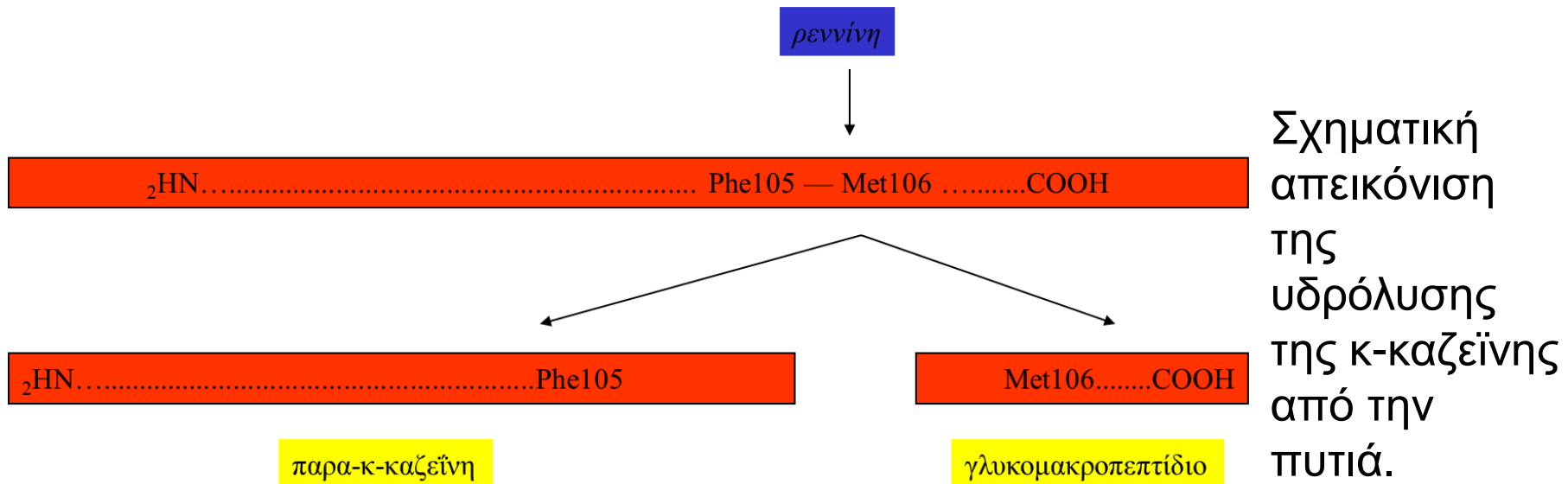
N-acetylneuraminate (AcNeu)

Συντακτικοί τύποι της γαλακτόζης, της N-ακετυλο-γαλακτοζαμίνης και του N-ακέτυλο-μουραμινικού οξέος.



κ-καζεΐνη (γ)

- υδατανθρακικό τμήμα στο C-άκρο.
- υπόλοιπο μόριο ισχυρά υδρόφοβο.
- κ-καζεΐνη αμφίφιλο μόριο.
- διαλυτή σε συγκεντρώσεις Ca όπου οι άλλες καζεΐνες καταβυθίζονται.
- σταθεροποιεί το καζεϊνικό μικκύλιο.





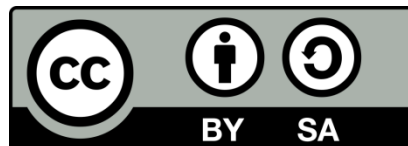
Βιβλιογραφία

- B.K. Simpson (2012) Food Biochemistry and Food Processing, Wiley-Blackwell (ISBN 081380874X).
- M.J. Berg, L.J. Tymoczko, L. Stryer (2011) Βιοχημεία, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (ISBN 978-960-524-190-2).



Άδειες Χρήσης

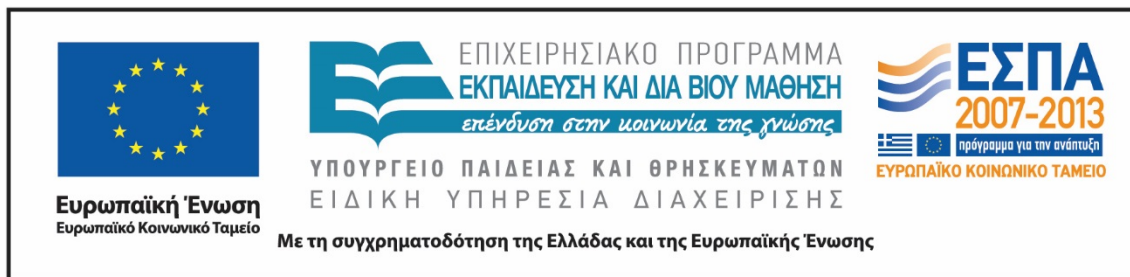
- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδεια χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.





Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών**» 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.





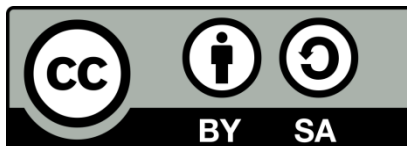
Σημείωμα Αναφοράς

- Copyright Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου, Τσακαλίδου Έφη, «Βιοχημεία Τροφίμων Ι». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<https://mediasrv.aua.gr/eclass/courses/OCDFSHN109/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων, π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Η άδεια αυτή ανήκει στις άδειες που ακολουθούν τις προδιαγραφές του Ορισμού Ανοικτής Γνώσης [2], είναι ανοικτό πολιτιστικό έργο [3] και για το λόγο αυτό αποτελεί ανοικτό περιεχόμενο [4].

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

[2] <http://opendefinition.org/okd/ellinika/>

[3] <http://freedomdefined.org/Definition/EI>

[4] <http://opendefinition.org/buttons/>



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει) μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.