



UNIVERSITY OF
PATRAS
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

Ακαδημαϊκό έτος 2023-2024

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Χημείας

Βιοχημεία Τροφίμων

Λίπη και Έλαια

Ο ρόλος των λιπιδίων στα τρόφιμα

Φυσικοχημικές ιδιότητες

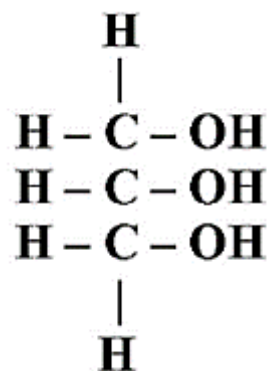
Αυτοοξειδωση λιπιδίων

Κατεργασίες τροφίμων – επίδραση στα λιπίδια

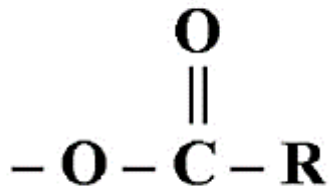
ΖΩΗ ΠΙΠΕΡΙΓΚΟΥ
Επίκουρη Καθηγήτρια

Βασικά Στοιχεία

- Λίπη & Έλαια: Λιπίδια
- Πλέον ετερογενής ομάδα
- Οργανικές ουσίες διαλυτές σε οργανικούς διαλύτες, αλλά αδιάλυτες στο νερό
- Εστέρες της γλυκερόλης με λιπαρά οξέα



Γλυκερόλη



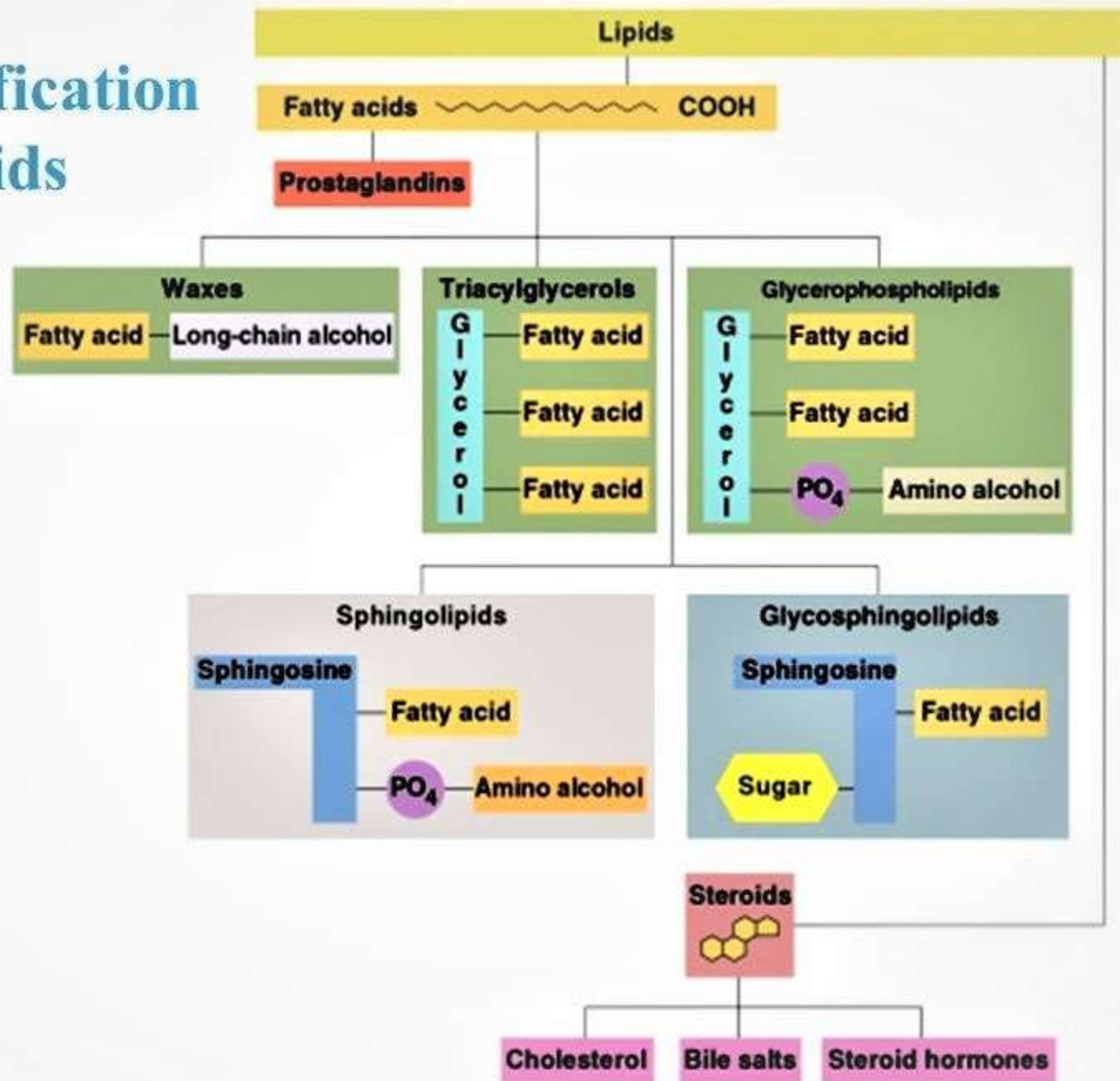
Λιπαρό οξυ

Αλυσίδες υδρογονανθράκων διαφόρων μηκών και βαθμών κορεσμού που απολήγουν σε καρβοξυλικές ομάδες

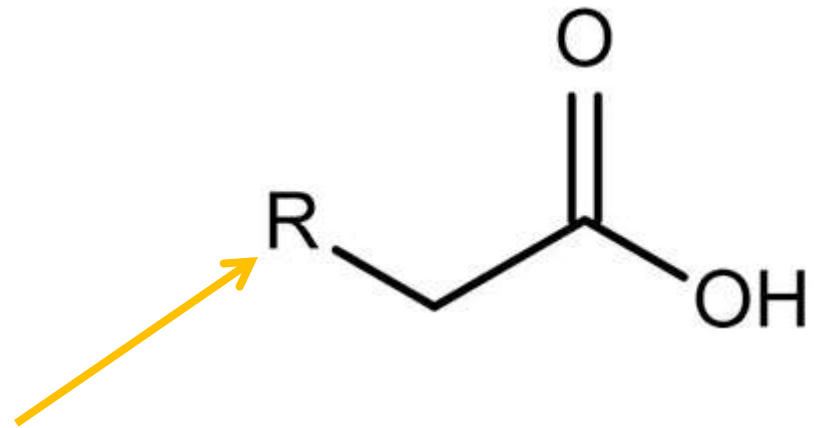
Ρόλος Λιπιδίων (Λίπη και Έλαια)

- Πηγή ενέργειας
- Μεταφορείς λιποδιαλυτών βιταμινών
- Κύρια πηγή γεύσης στις τροφές
- Δομή ορμονών και μεμβρανών
- Νευρικό σύστημα
- Θερμική μόνωση του σώματος
- Γαλακτωματοποιητές

Classification of Lipids



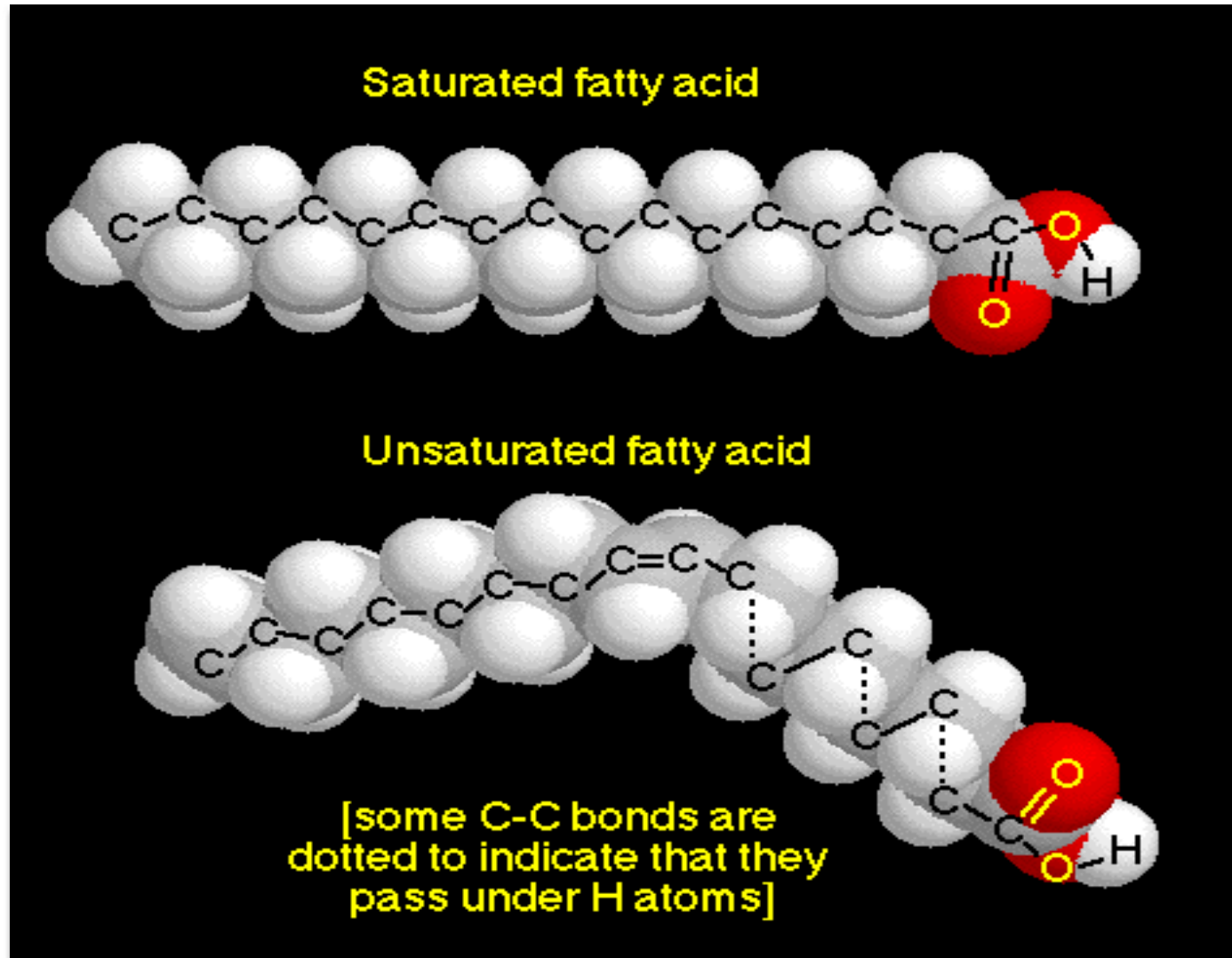
Λιπαρά Οξέα



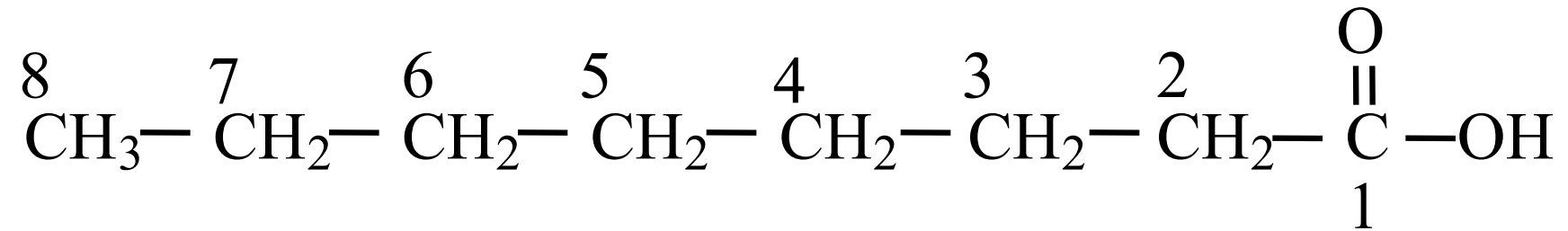
Μη πολικό άκρο,
υδροφοβικό,
λιποδιαλυτό

Όξινη ομάδα,
πολικό άκρο,
υδροφιλικό

Κορεσμένα και Ακόρεστα Λιπαρά Οξέα

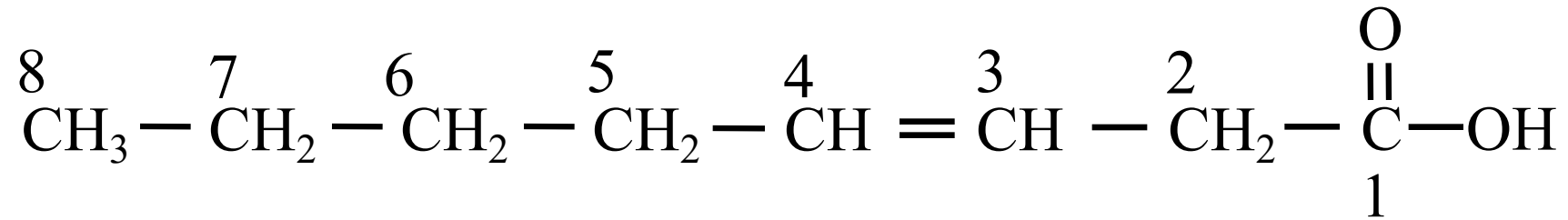


Κορεσμένα Λιπαρά Οξέα

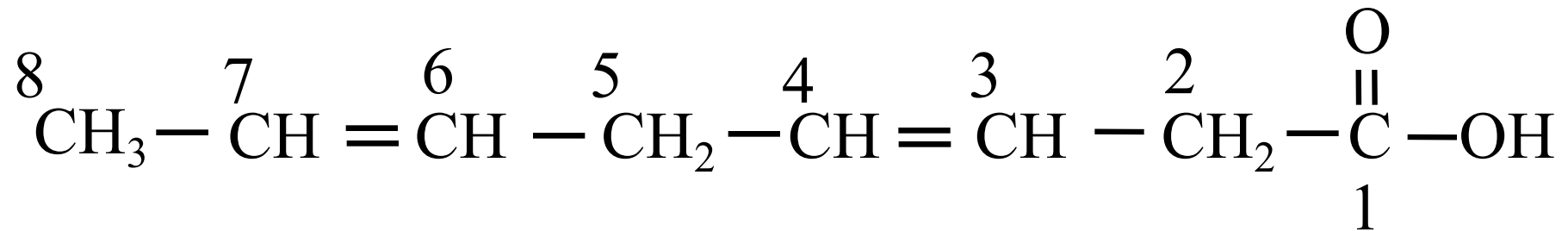


Οκτανοϊκό οξύ (8:0)

Ακόρεστα Λιπαρά Οξέα



3-οκτενοϊκό οξύ

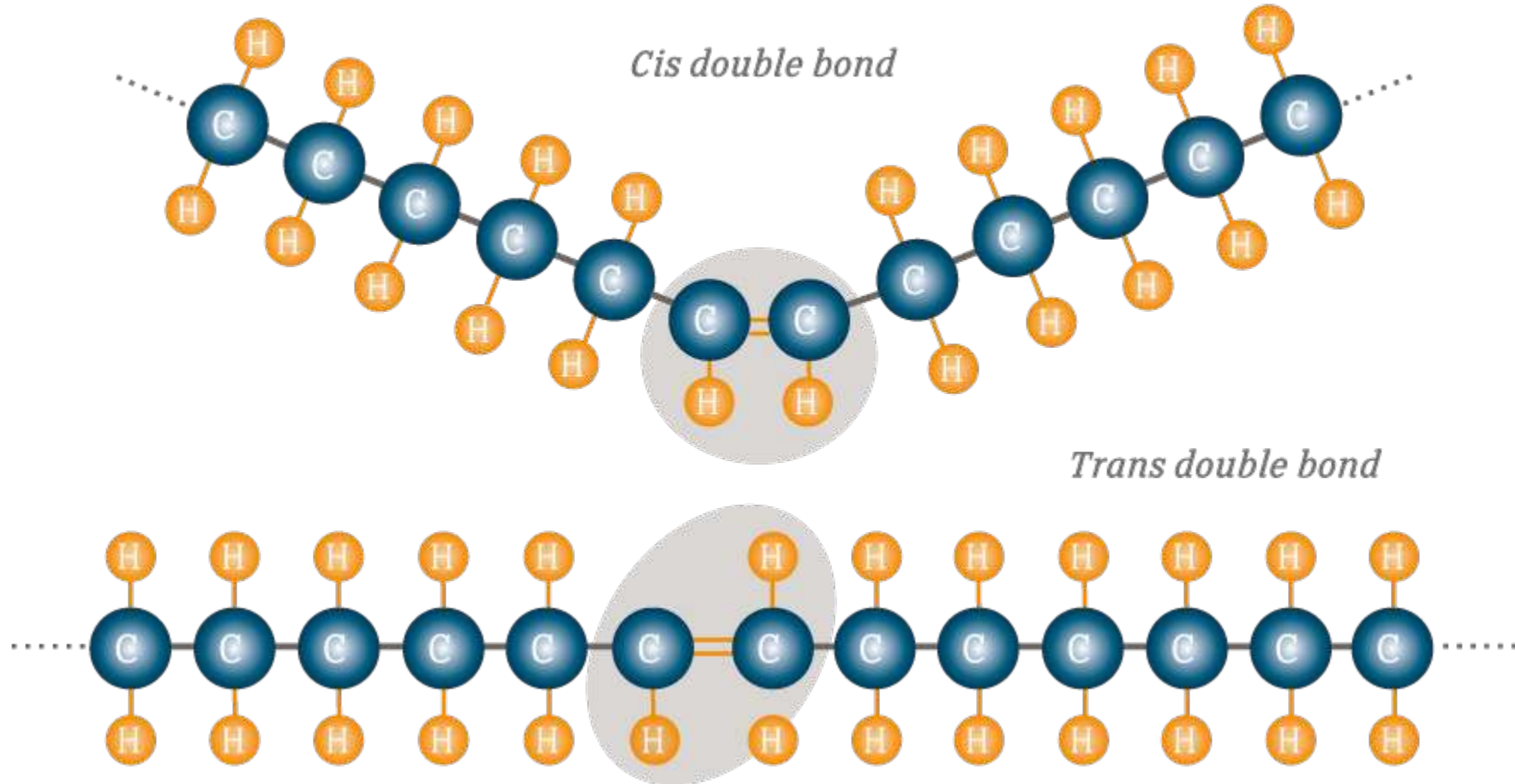


3, 6 – οκτοδιενικό οξύ

Συντομογραφία: 8:1 (Δ3)

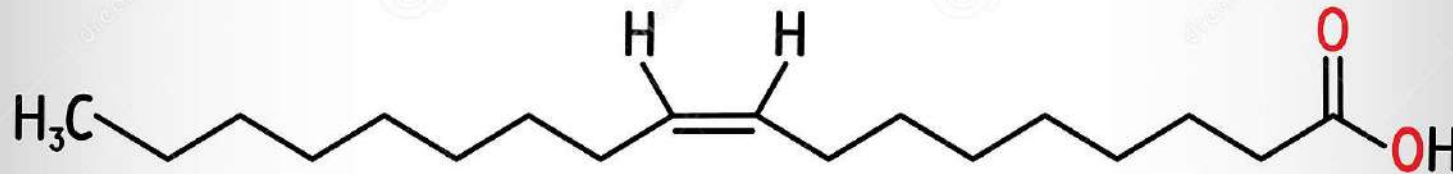
8:2 (Δ3,6)

Διπλός Δεσμός: *cis* και *trans* Λιπαρά Οξέα

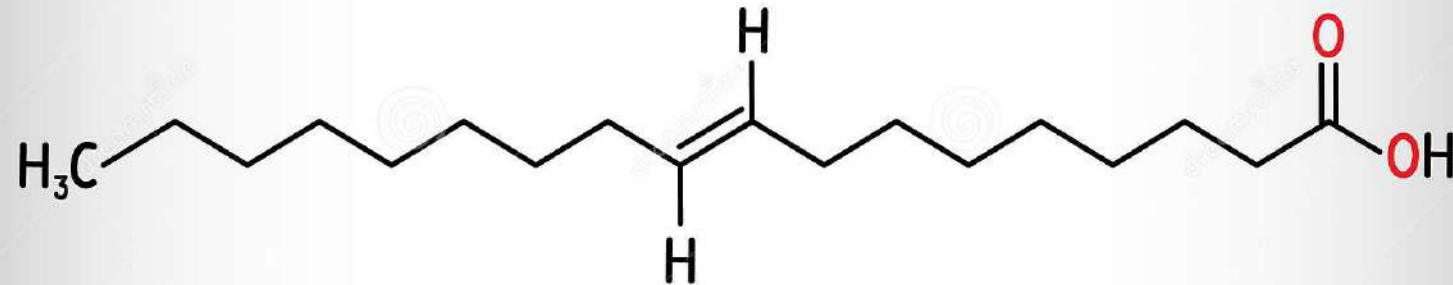


Cis και Trans Λιπαρά Οξέα

cis (Oleic acid)

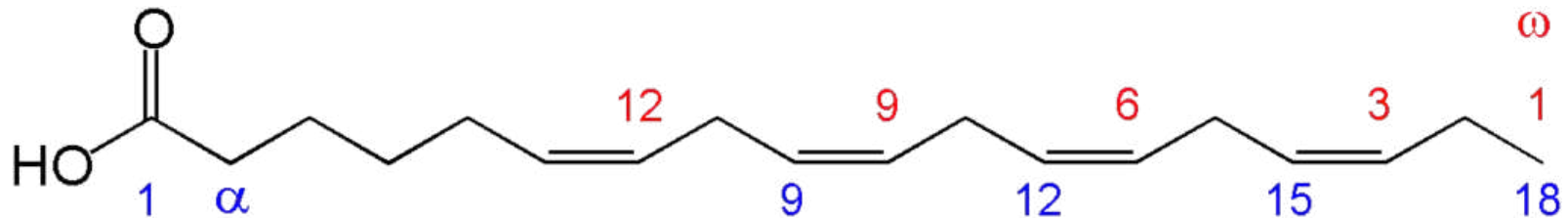


trans (Elaidic acid)



Παράδειγμα Ονοματολογίας

ω-3 18:4
ή 18:4 ω-3
ή 18:4 n-3



Το πλέον απομακρυσμένο άτομο C ονομάζεται άτομο *ω-άνθρακα*.

Ο αριθμός δίπλα στο ω αντιστοιχεί στον αριθμό του C, αρχίζοντας από τον ω-C της ανθρακικής αλυσίδας ο οποίος συμμετέχει σε ένα **διπλό** δεσμό.

Πολυακόρεστα Λιπαρά Οξέα

Λινολεϊκό οξύ: cis, cis, 9, 12 - Octadecadienoic οξύ

Λινολενικό οξύ: cis, cis, cis 9, 12, 15 - Octadecatrienoic οξύ

Αραχιδονικό οξύ: cis, cis, cis, cis 5, 8, 11, 14 - Eicosatetraenoic οξύ

Λινολεϊκό οξύ

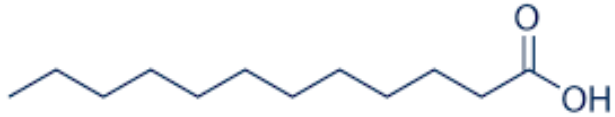
↓ +1 δδ

Λινολενικό οξύ

↓ +1 δδ

Αραχιδονικό οξύ

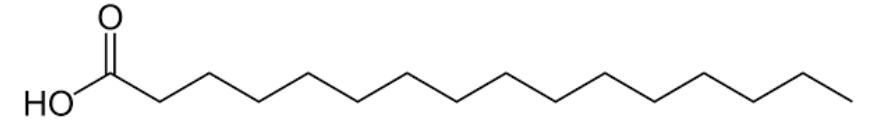
Κοινές Ονομασίες Κορεσμένων & Ακόρεστων Λιπαρών Οξέων



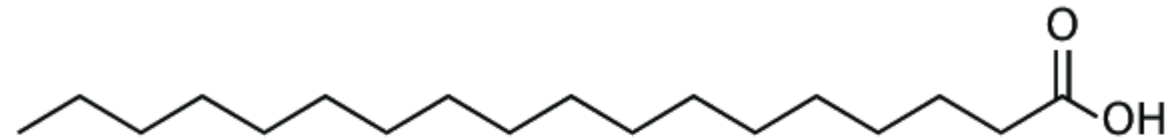
Λαυρικό (C12)



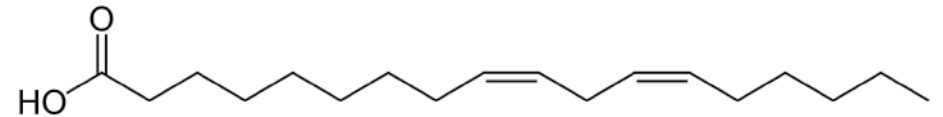
Μυριστικό (C14)



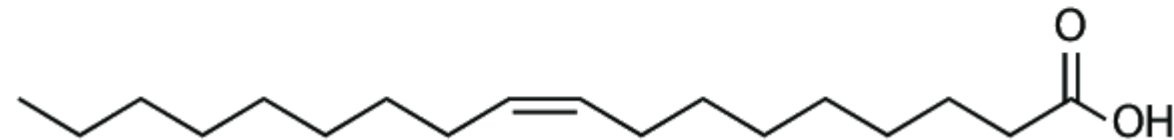
Παλμιτικό (C16)



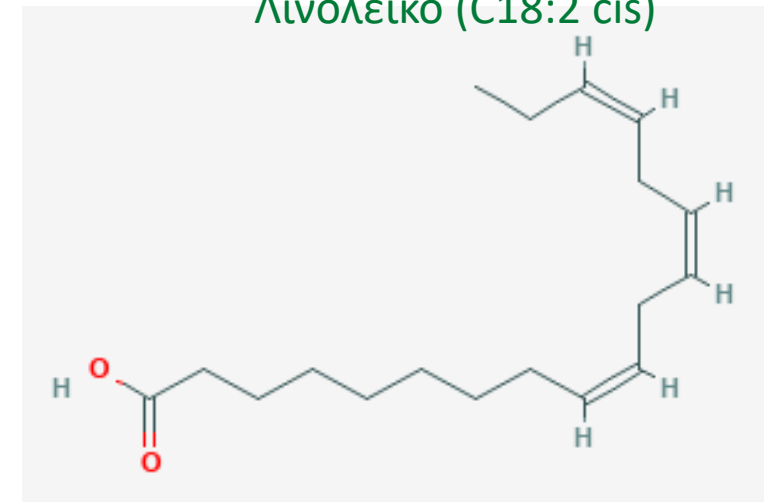
(a) Στεατικό (C18)



Λινολεϊκό (C18:2 cis)

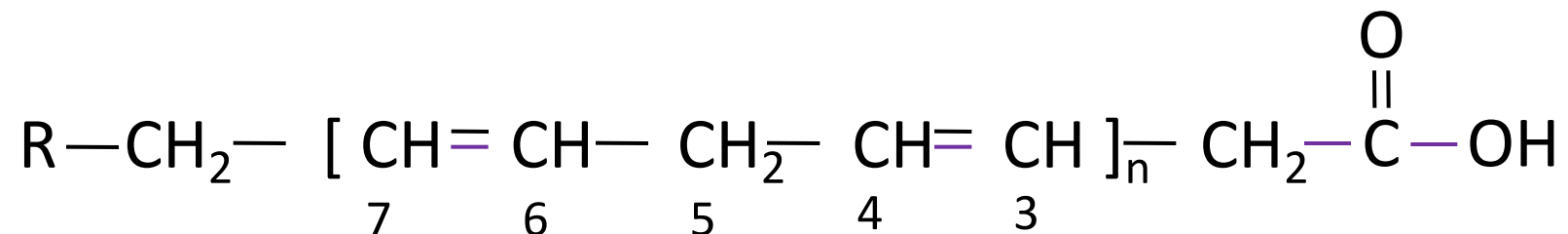


(b) Ελαϊκό (C18:1 cis)



Λινολενικό (C18:3 cis)

Φυσικώς Απαντώμενα Λιπαρά Οξέα



1. Μορφή *Cis*
2. Ελεύθερα με διπλούς δεσμούς
3. Η ανθρακική αλυσίδα έχει ζυγό αριθμό C (14-24)

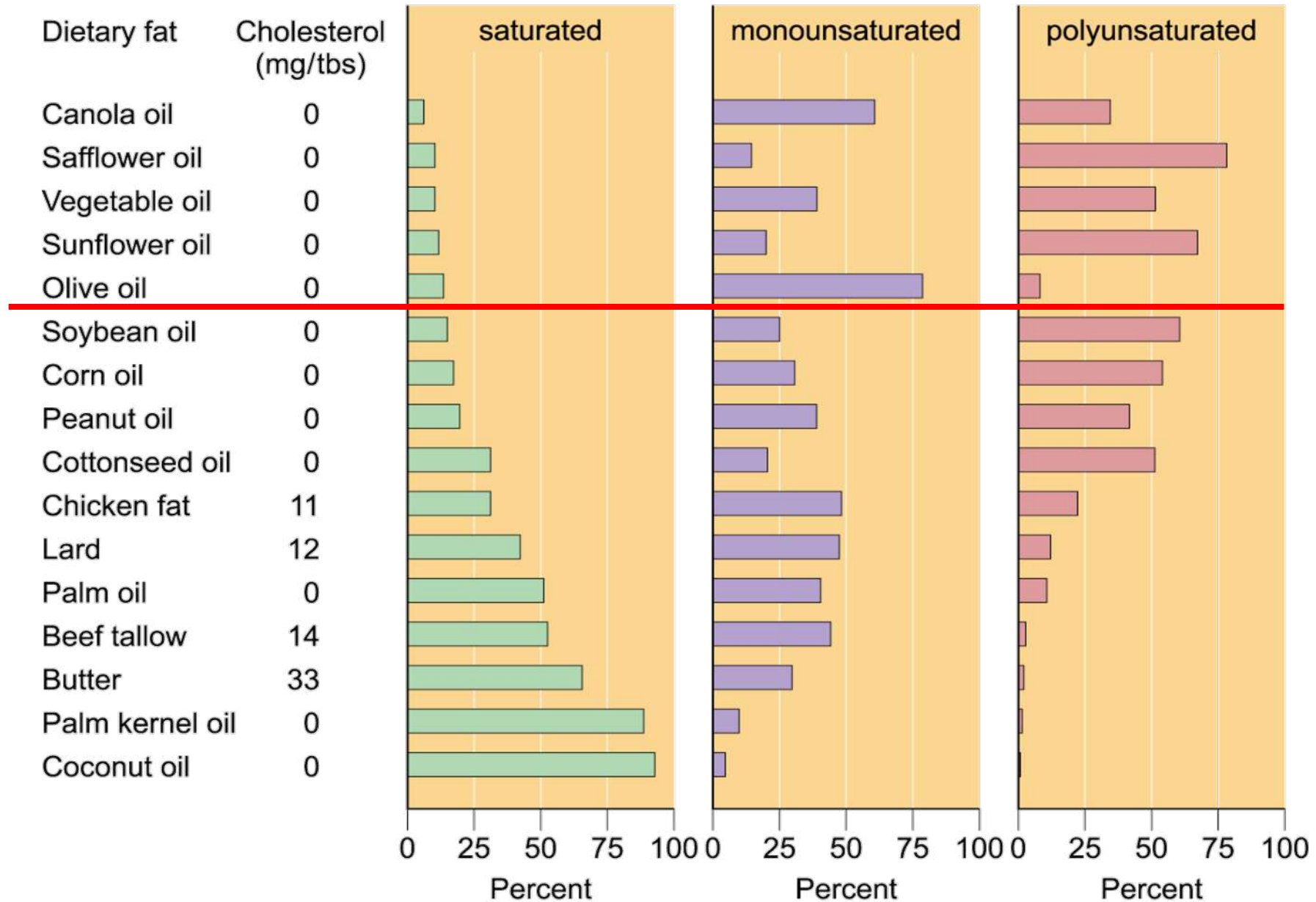
Όνομασίες Κορεσμένων Λιπαρών Οξέων

| Κοινή | Συστηματική | Τύπος | Πηγή |
|-----------|---------------|--|---|
| Βουτυρικό | Βουτανοϊκό | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$ | βούτυρο |
| Καπροϊκό | Εξανοϊκό | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$ | βούτυρο, καρύδα, χουρμάδες |
| Καπρυλικό | Οκτανοϊκό | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$ | καρύδα, χουρμάδες, ξηροί καρποί, βούτυρο |
| Καπρικό | Δεκανοϊκό | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$ | |
| Lauric | Δωδεκανοϊκό | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$ | |
| Μυριστικό | Tetradecanoic | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$ | καρύδα, χουρμάδες, ξηροί καρποί, ζωικό λίπος |
| Παλμιτικό | Hexadecanoic | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ | Σε όλα τα ζώα και μερικά φυτά |
| Στεαρικό | Octadecanoic | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ | Ζωικό και φυτικό λίπος |
| Αραχιδικό | Εικοσανοϊκό | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$ | Λάδι αραχίδας |

Ονομασίες Ακόρεστων Λιπαρών Οξέων

| Κοινή | Συστηματική | Τύπος | Πηγή |
|-----------------------|------------------------------|--------------------|--|
| Α. Μονοεθνοϊκά οξέα | | | |
| Ολεϊκό | Cis 9-octadecenoic | $C_{17}H_{33}COOH$ | Φυτικά και ζωικά λίπη |
| Ελαϊδικό | Trans 9-Octadecenoic | $C_{17}H_{33}COOH$ | Ζωικά λίπη |
| Β. Δι εθνοϊκά οξέα | | | |
| Λινολεϊκό | 9,12-Octadecadienoic | $C_{17}H_{31}COOH$ | Αραχίδα Λιναρόσπορος Βαμβακόσπορος |
| Γ. Τρι εθνοϊκά οξέα | | | |
| Λινολενικό | 9,12,15-Octadecatrienoic | $C_{17}H_{29}COOH$ | Λιναρόσπορος, σπορέλαια |
| Ελεοστεαρικό | 9,11,13-Octadecatrienoic | $C_{17}H_{29}COOH$ | Λίπη σπόρου αραχίδος |
| Δ. Τέτρα εθνοϊκά οξέα | | | |
| Μοροκτικό | 4,8,12,15-Octadecatetraenoic | $C_{17}H_{27}COOH$ | Ιχθυέλαια |
| Αραχιδονικό | 5,8,11,14-είκοσιτέτραενοϊκό | $C_{19}H_{31}COOH$ | Ίχνη στα ζωικά λίπη |

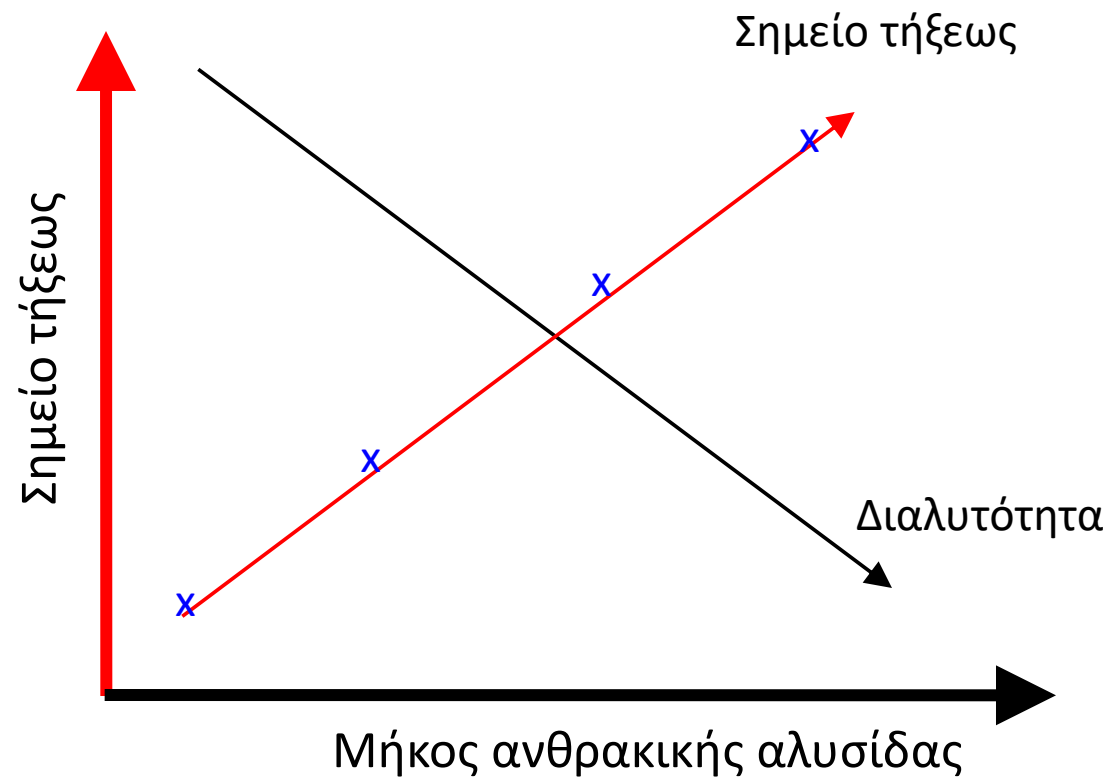
Λιπαρά οξέα στα Τρόφιμα



Σημείο Τήξης και Διαλυτότητα

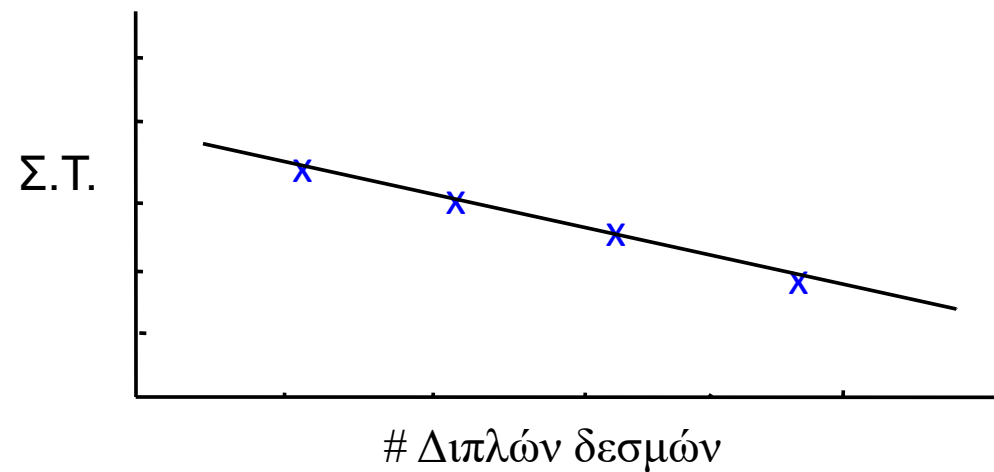
| Λιπαρό οξύ | Σ.Τ. (°C) | Διαλυτότητα mg/100 ml στο H₂O |
|-------------------|------------------|---|
| C4 | - 8 | - |
| C6 | - 4 | 970 |
| C8 | 16 | 75 |
| C10 | 31 | 6 |
| C12 | 44 | 0.55 |
| C14 | 54 | 0.18 |
| C16 | 63 | 0.08 |
| C18 | 70 | 0.04 |

Σημείο Τήξης και Διαλυτότητα



Επίδραση Ακορεστότητας στο Σημείο Τήξης

| Λιπαρό οξύ | Σ. Τ. (°C) |
|------------|------------|
| 16:0 | 60 |
| 16:1 | 1 |
| 18:0 | 63 |
| 18:1 | 16 |
| 18:2 | -5 |
| 18:3 | -11 |
| 20:0 | 75 |
| 20:4 | -50 |



Απαραίτητα Λιπαρά Οξέα

Τα απαραίτητα λιπαρά οξέα απαιτούνται για βιολογικές διεργασίες αλλά δεν μπορούν να συντεθούν

- **Ωμέγα-3 (ω -3) – Λινολενικό οξύ**
- **Ωμέγα-6 (ω -6) – Λινολεϊκό οξύ**

Your body cannot form
C=C double bonds
before the 9th carbon

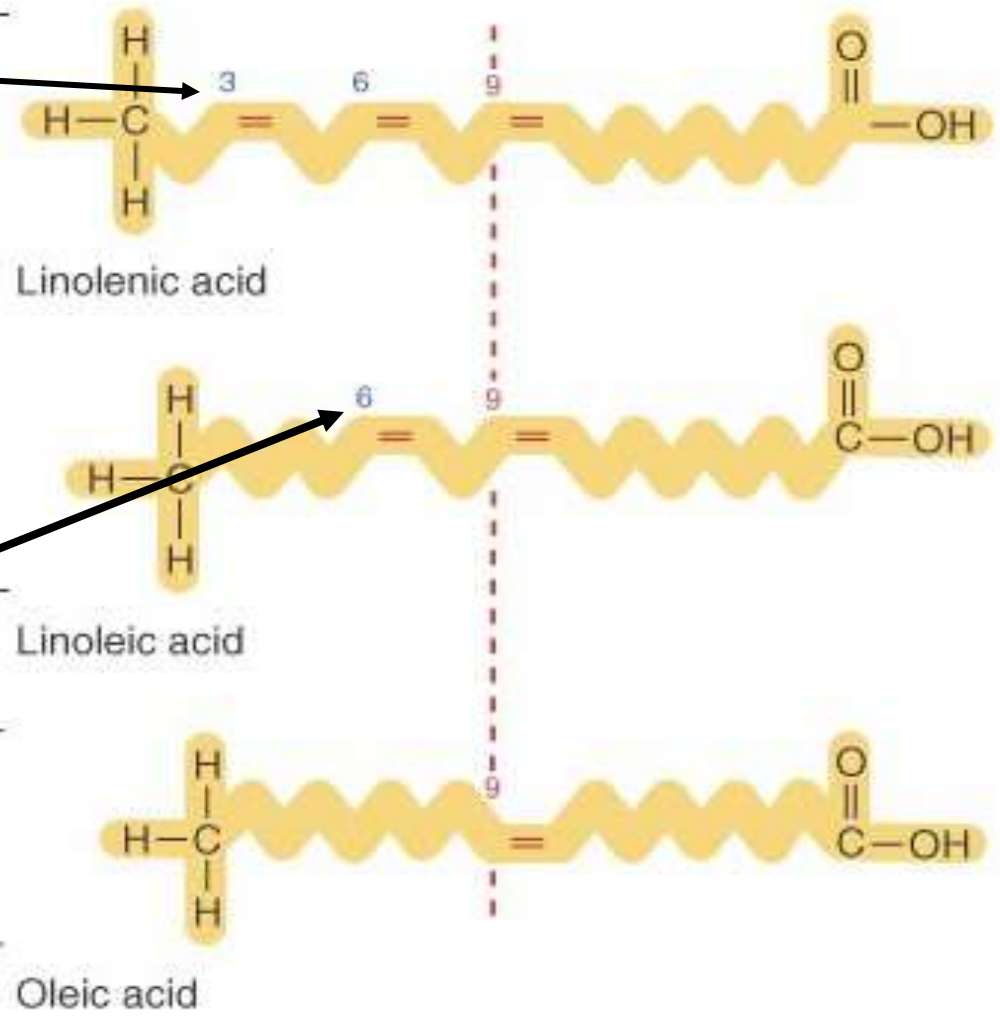
Your body can form
C=C double bonds
after the 9th carbon

Ωμέγα-3

Fatty acids with double
bonds before
the 9th carbon are
ESSENTIAL

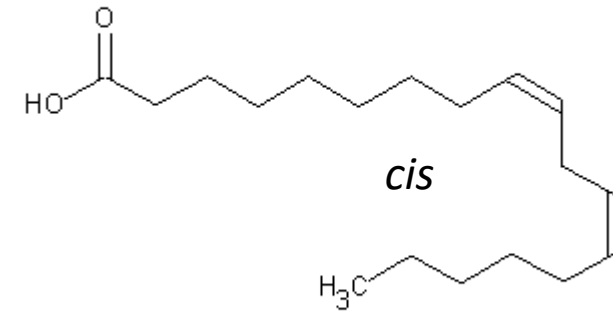
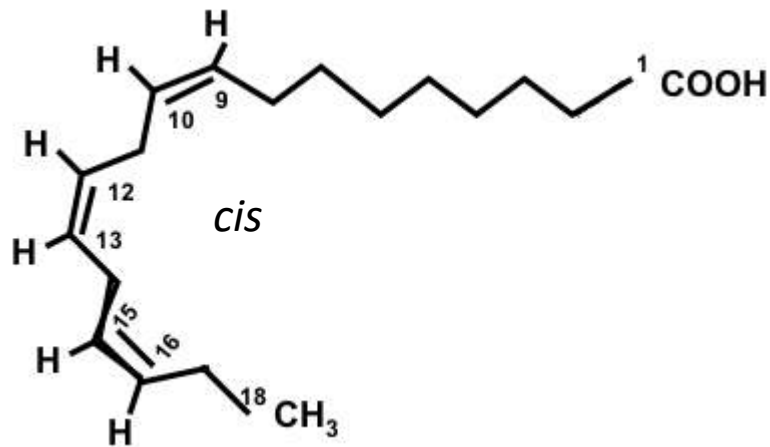
Ωμέγα-6

Fatty acids with no
double bonds before
the 9th carbon are
NONESSENTIAL



Απαραίτητα Λιπαρά Οξέα

Μόνο δύο απαραίτητα λιπαρά οξέα (**EFA**) έχουν περιγραφεί για τον άνθρωπο:
το **α-λινολενικό οξύ** (C18, ω-3) και το **λινολεϊκό** (C18, ω-6).



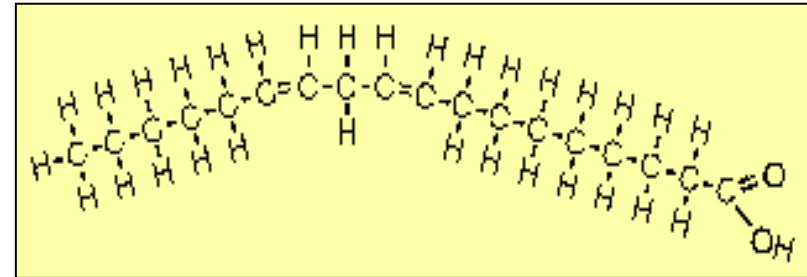
Άλλα λιπαρά οξέα που μπορεί να είναι δυνητικά απαραίτητα περιλαμβάνουν το γ-λινολενικό (ω-6), δωδεκανοϊκό (κορεσμένο), και το παλμιτολεϊκό (μονοακόρεστο)

Δομικά Χαρακτηριστικά

Λινολεϊκό οξύ (ω -6)

Απαραίτητα λιπαρά οξέα δεκαοκτώ ανθράκων που περιέχουν **δύο** διπλούς δεσμούς.

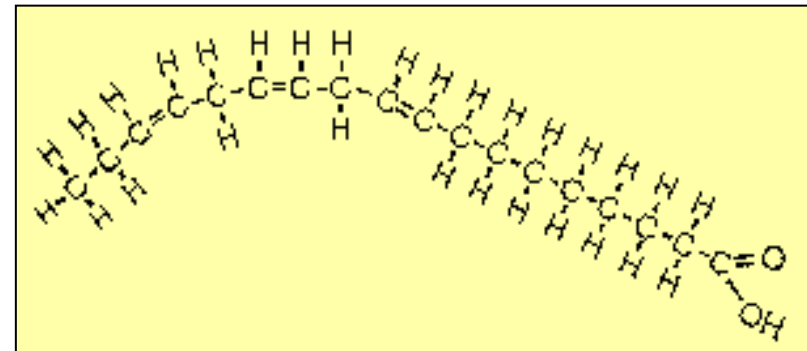
18:2 (9,12)



Λινολενικό οξύ (ω -3)

Απαραίτητα λιπαρά οξέα δεκαοκτώ ανθράκων που περιέχουν **τρεις** διπλούς δεσμούς.

18:3 (9,12,15)

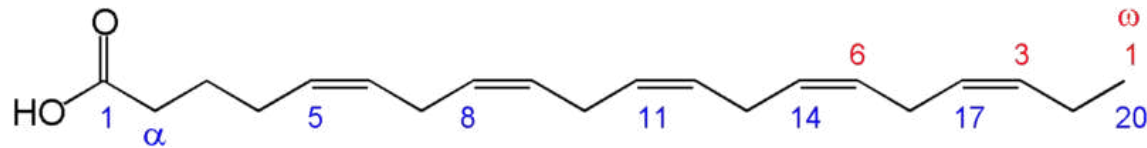


Σημαντικά λιπαρά οξέα στη διατροφή

Προκύπτουν από τα απαραίτητα ή προσλαμβάνονται από τα τρόφιμα

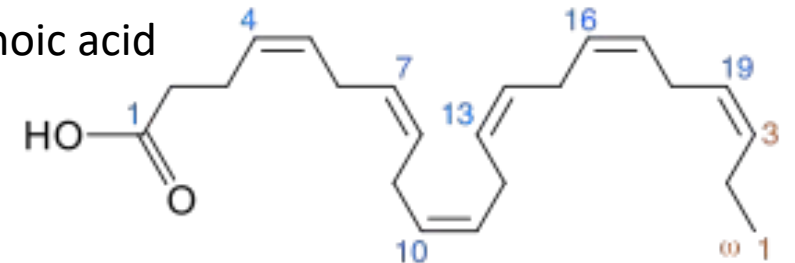
EPA (Eicosapentaenoic acid)

20:5(n-3). Omega-3, all-cis – eicosa-5,8,11,14,17 pentaenoic acid

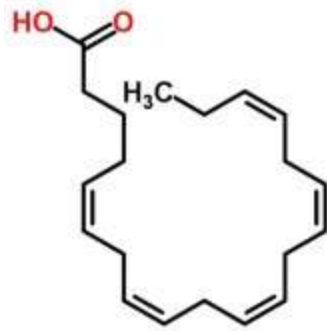


DHA (Docosahexaenoic acid)

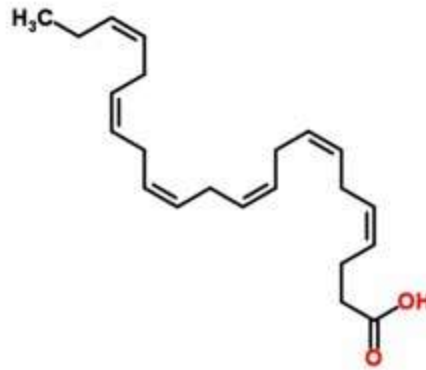
22:6 (n-3). Omega-3, all-cis -docosa-4,7,10,13,16,19-hexaenoic acid



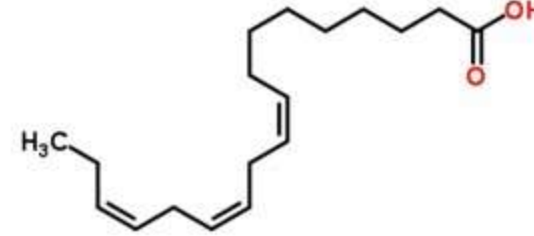
n-3 Polyunsaturated fatty acids



Eicosapentaenoic acid (EPA)
 $C_{20}H_{30}O_2$

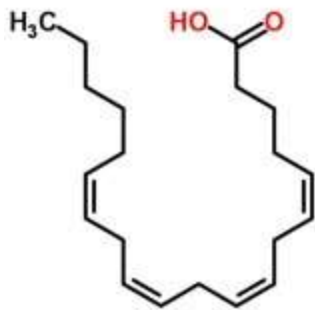


Docosahexaenoic acid (DHA)
 $C_{22}H_{32}O_2$

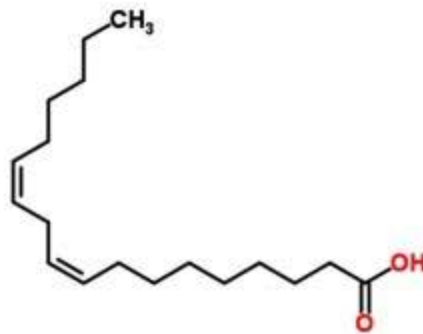


Alpha-linolenic acid (ALA)
 $C_{18}H_{30}O_2$

n-6 Polyunsaturated fatty acids



Arachidonic acid (AA)
 $C_{20}H_{32}O_2$



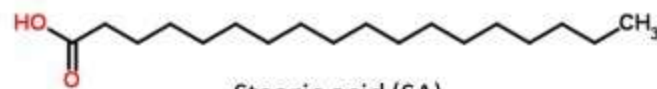
Linoleic acid (LA)
 $C_{18}H_{32}O_2$



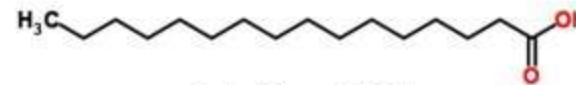
Oleic acid (AA)
 $C_{18}H_{34}O_2$

Monounsaturated fatty acids

Saturated fatty acids



Stearic acid (SA)
 $C_{18}H_{36}O_2$



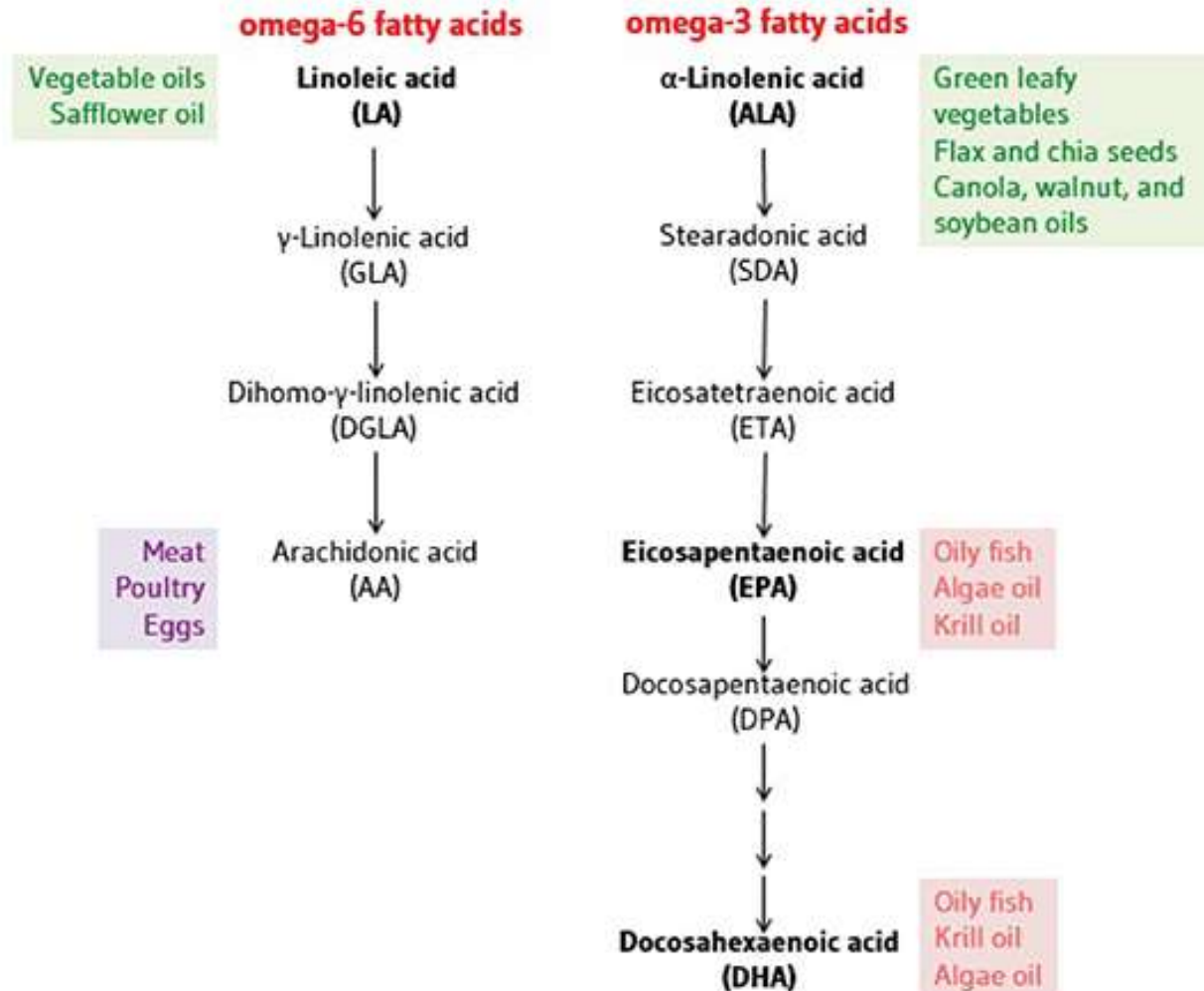
Palmitic acid (PA)
 $C_{16}H_{32}O_2$

Βιολογικές Λειτουργίες των Απαραίτητων Λιπαρών Οξέων

- ↪ Δημιουργία υγιών κυτταρικών μεμβρανών
- ↪ Φυσιολογική ανάπτυξη και λειτουργία εγκεφάλου και νευρικού συστήματος
- ↪ Παραγωγή ορμονικών ουσιών που ονομάζονται *εικοσανοειδή*
 - Θρομβοξάνες
 - Λευκοτριένια
 - Προσταγλανδίνες

- ↪ Υπεύθυνα για τη ρύθμιση της αρτηριακής πίεσης, του ιξώδους του αίματος, της αγγειοσυστολής, των ανοσοποιητικών και φλεγμονωδών αποκρίσεων.

Μεταβολισμός ω-3 & ω-6 Λιπαρών Οξέων



Ω-3 Λιπαρά Οξέα

Πηγές

Καρύδια

Λάδι φύτρων σίτου

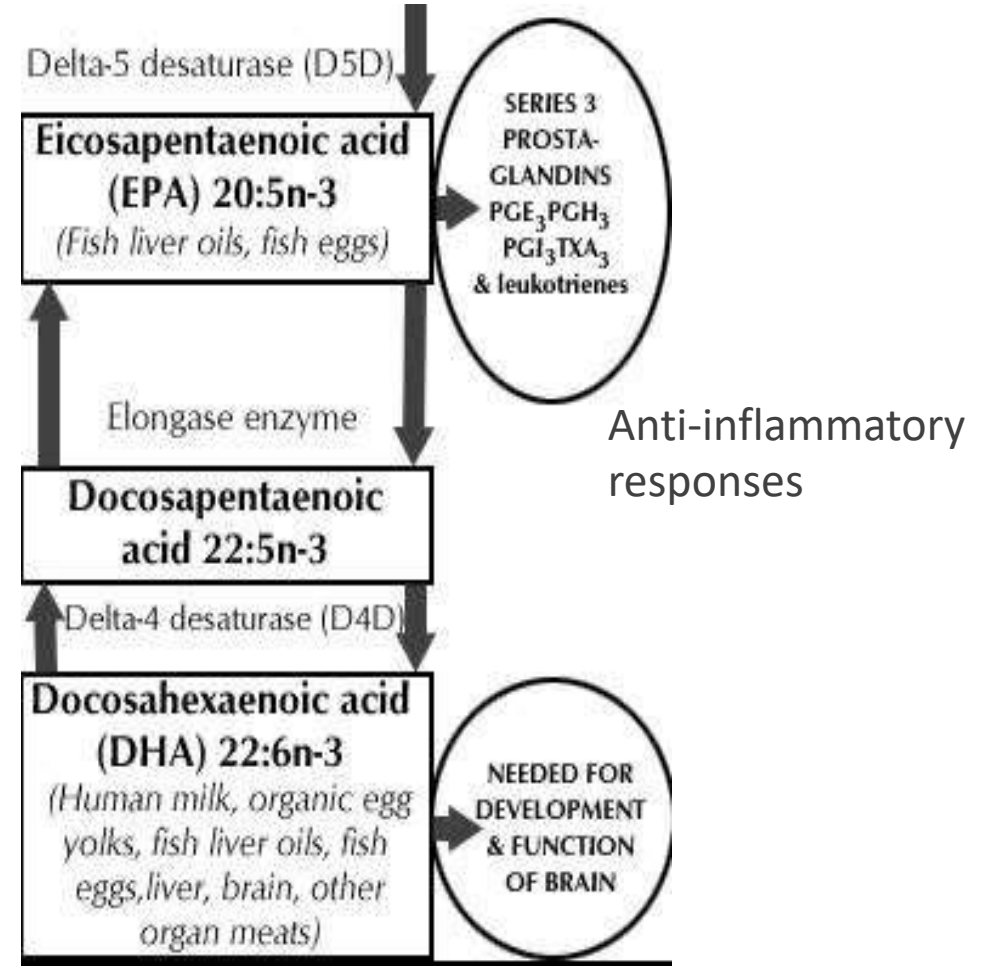
Σησαμέλαιο

Συκώτι ψαριών/αυγά ψαριών

Ανθρώπινο γάλα

Θαλασσινά/Λιπαρά ψάρια

- μακρύπτερος τόνος
- σκουμπρί
- σολομός
- σαρδέλες



Οφέλη από τα ω-3 Λιπαρά Οξέα

- Χαμηλότερες Prostaglandin E2 (PGE-2)
- Αντιφλεγμονώδη
- Χαμηλότερα επίπεδα τριγλυκεριδίων και χοληστερόλης
- Πρόληψη του καρκίνου
- Συντήρηση νεφρών
- Αύξηση ευαισθησίας στην ινσουλίνη
- Ενίσχυση της θερμογένεση και του μεταβολισμού των λιπιδίων
- Οφέλη όρασης και λειτουργίας του εγκεφάλου
- Μείωση της φλεγμονής του δέρματος
- Αναστολή της πρόσφυσης των αιμοπεταλίων

Ω-6 Λιπαρά Οξέα

Πηγές

Καλαμποκέλαιο

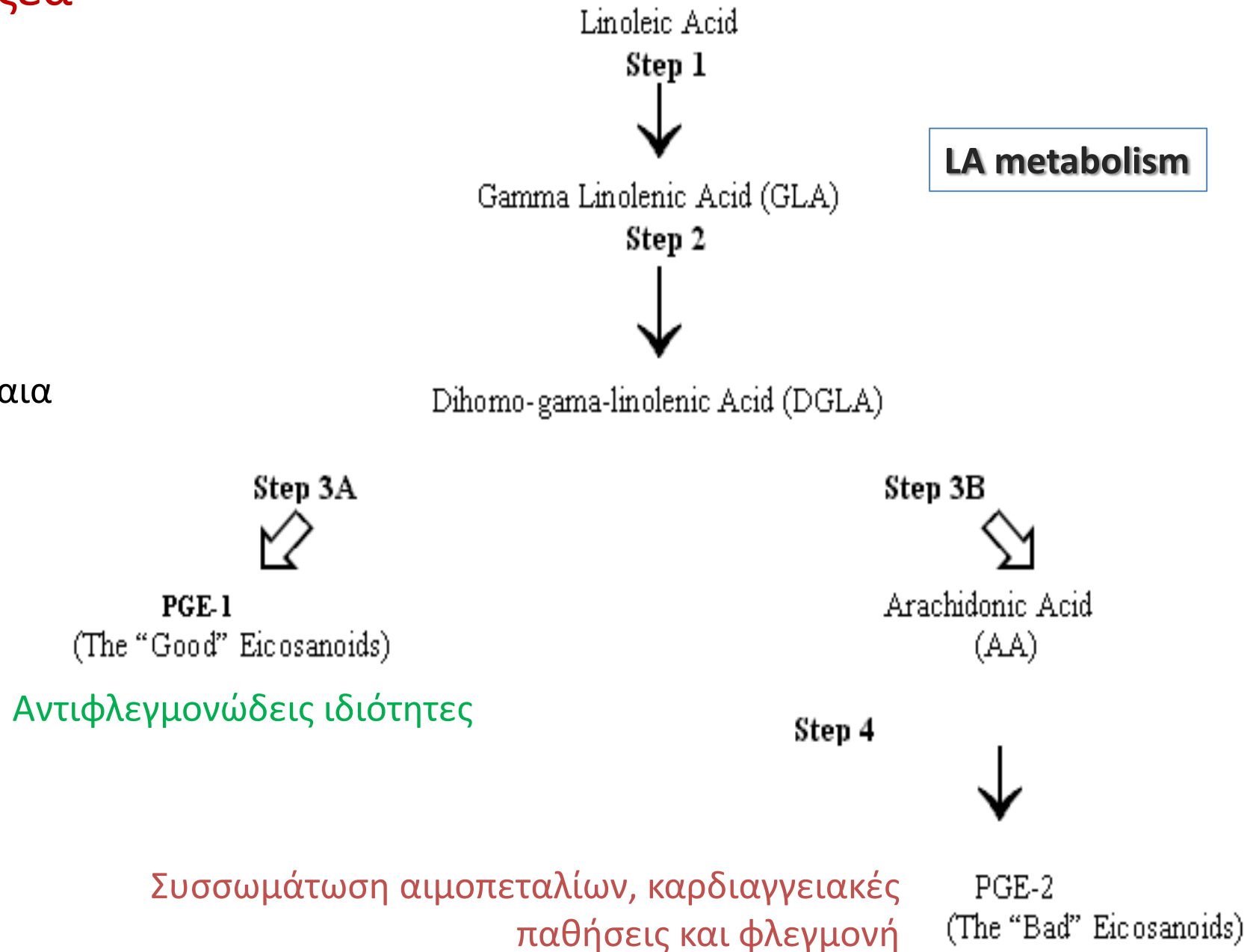
Φυστικέλαιο

Βαμβακέλαιο

Σογιέλαιο

Πολλά φυτικά έλαια

Συμπληρώματα
διατροφής

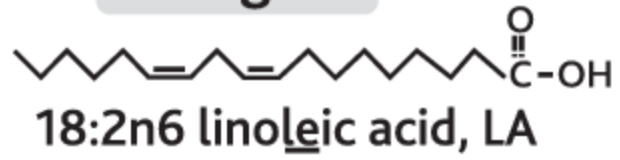


Οφέλη από τα ω-6 Λιπαρά Οξέα

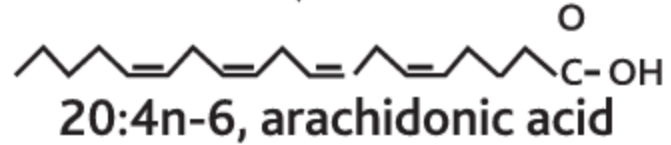
Τα ωμέγα-6 λιπαρά οξέα με υψηλή περιεκτικότητα σε **GLA** μπορούν να:

- Βοηθήσουν στη μείωση της χρόνιας φλεγμονής (ρευματοειδής αρθρίτιδας)
 - Ανακουφίσουν τη δυσφορία από προεμμηνορροϊκό σύνδρομο (PMS), ενδομητρίωση
 - Μειώσουν τα συμπτώματα του εκζέματος και της ψωρίασης
 - Καθαρίσουν την ακμή και τη ροδόχρου ακμή
 - Προλαμβάνουν και να βελτιώνουν τη διαβητική νευροπάθεια
- ⊙ Οι **υπερβολικές ποσότητες** ωμέγα-6 (πολυακόρεστων-PUFA) και η υψηλή αναλογία ωμέγα-6/ωμέγα-3 έχει αποδειχθεί ότι προάγουν την παθογένεση πολλών ασθενειών

Omega-6



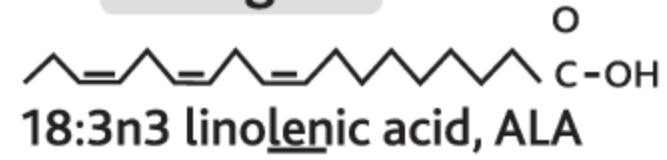
Safflower oil
Corn oil
Soy bean oil



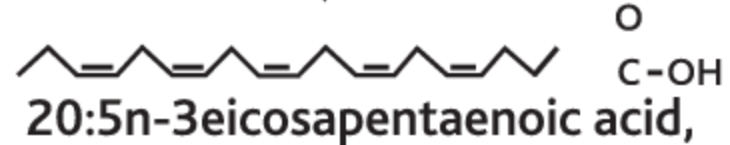
Meat
Organs

Series 2
Prostaglandins
Thromboxanes
Series 4
Leukotrienes

Omega-3



Canola oil
Walnuts
Flax seed
Sage oil
Soy bean oil

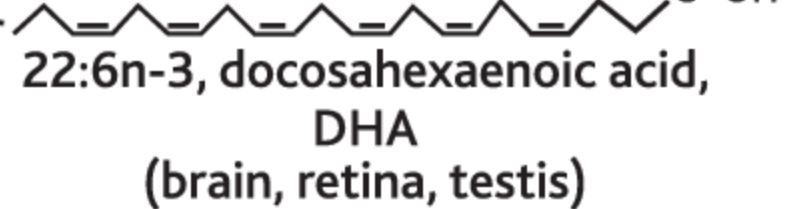


Fish
Seafood
Seaweed

? 3DPA



????



competition for
D6 and D5 desaturase
and
elongation
enzymes



platelet activity
immune responses
smooth muscle
many other
functions



Παρενέργειες Έλλειψης Απαραίτητων Λιπαρών Οξέων

- αιμορραγική δερματίτιδα
- ατροφία του δέρματος
- φολιδωτή δερματίτιδα
- ξηρό δέρμα
- αδυναμία
- μειωμένη όραση
- μυρμηγκιάσματα
- αλλαγές διάθεσης
- οίδημα
- υψηλή πίεση του αίματος
- υψηλά τριγλυκερίδια
- αιμορραγική θυλακίτιδα
- αιματολογικές διαταραχές (π.χ. κολλώδη αιμοπετάλια)
- ανοσολογικές και διανοητικές ανεπάρκειες
- μειωμένη ανάπτυξη

Ατοπική δερματίτιδα σε βρέφος
Έλλειψη απαραίτητων λιπαρών οξέων



FATS

Trans Fats

- Hydrogenated vegetable oils
- Fast foods
- Cakes/pastries
- Chocolate
- Deep Fried Food



Saturated Fats

- ### Vegetable Fats
- Coconut
 - Palm oil
 - 3-in-1 & 2-in-1 beverages, creamer, condensed milk



- ### Animal Fats
- Poultry skin
 - Fatty meat
 - Butter
 - Ghee
 - Tallow / lard
 - Full cream dairy products



Unsaturated Fats

- ### Polyunsaturated
- Corn oil
 - Soybean oil
 - Sunflower oil
 - Seeds
 - Cold-water fish

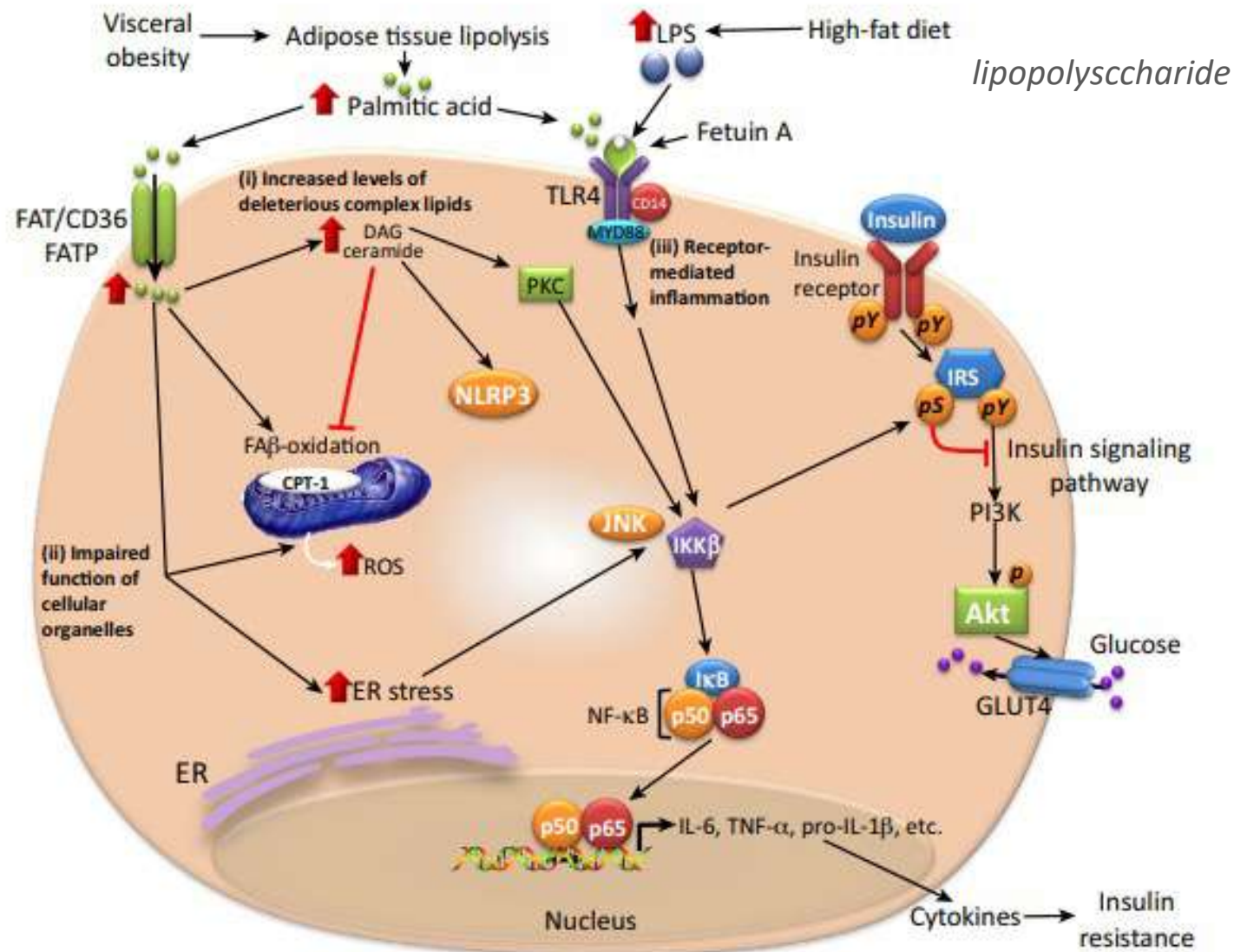


- ### Monounsaturated
- Olive oil
 - Canola oil
 - Peanut oil
 - Sesame oil
 - Avocado
 - Most nuts



Δίετες πλούσιες σε λιπαρά προάγουν φλεγμονή και κίνδυνο για διαβήτη II

- Φοινικέλαιο
- Βούτυρο & προϊόντα ζαχαροπλαστικής
- Τυρί high-fat
- Κόκκινο κρέας
- Fast food

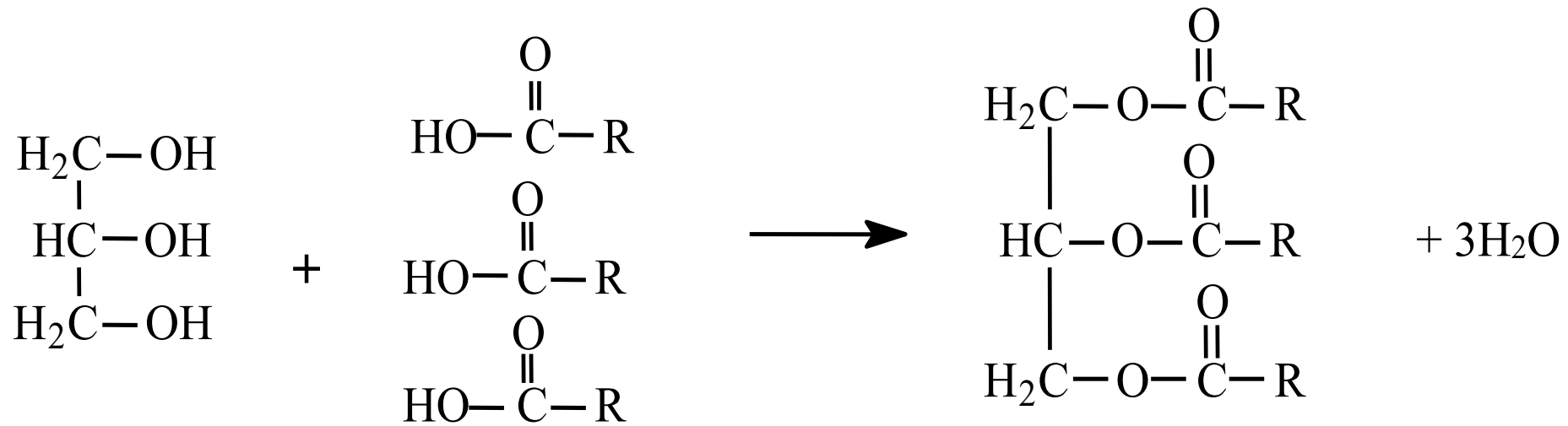


LPS – ενδοτοξίνη
 Οξειδωτικό stress
 Φλεγμονή
 Αντοχή στην ινσουλίνη
 Οργανικές δυσλειτουργίες

Ουδέτερα Λίπη και Έλαια



Εστέρες τριακυλ-γλυκερόλης (τριγλυκερίδια)

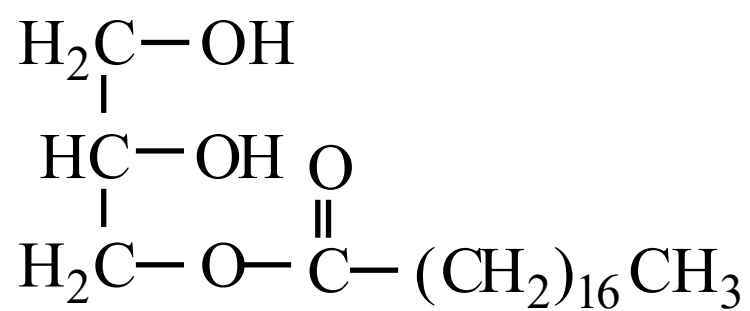


γλυκερόλη

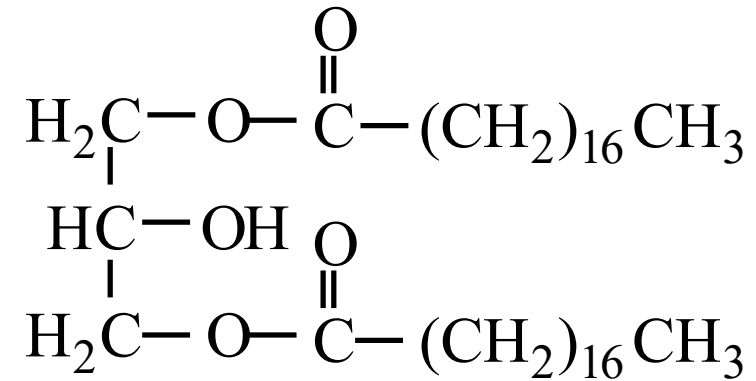
3 λιπαρά οξέα

τριγλυκερίδιο

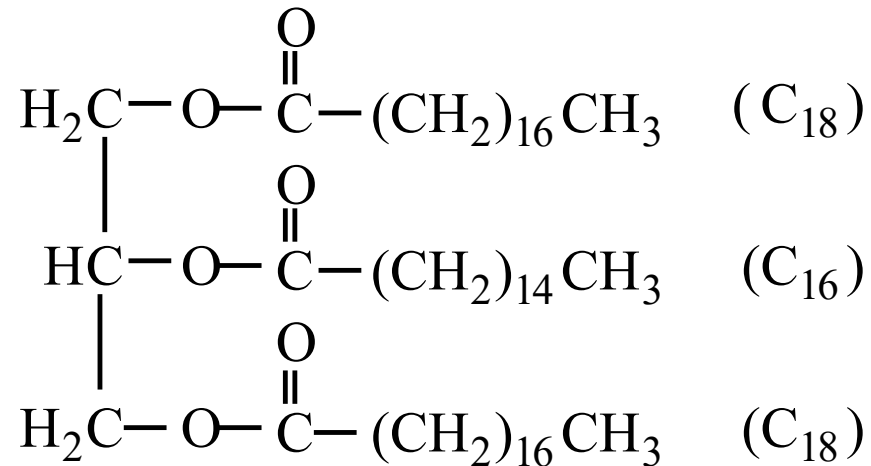
Γλυκερίδια



Μονοακυλ-γλυκερόλη (Μονογλυκερίδιο)

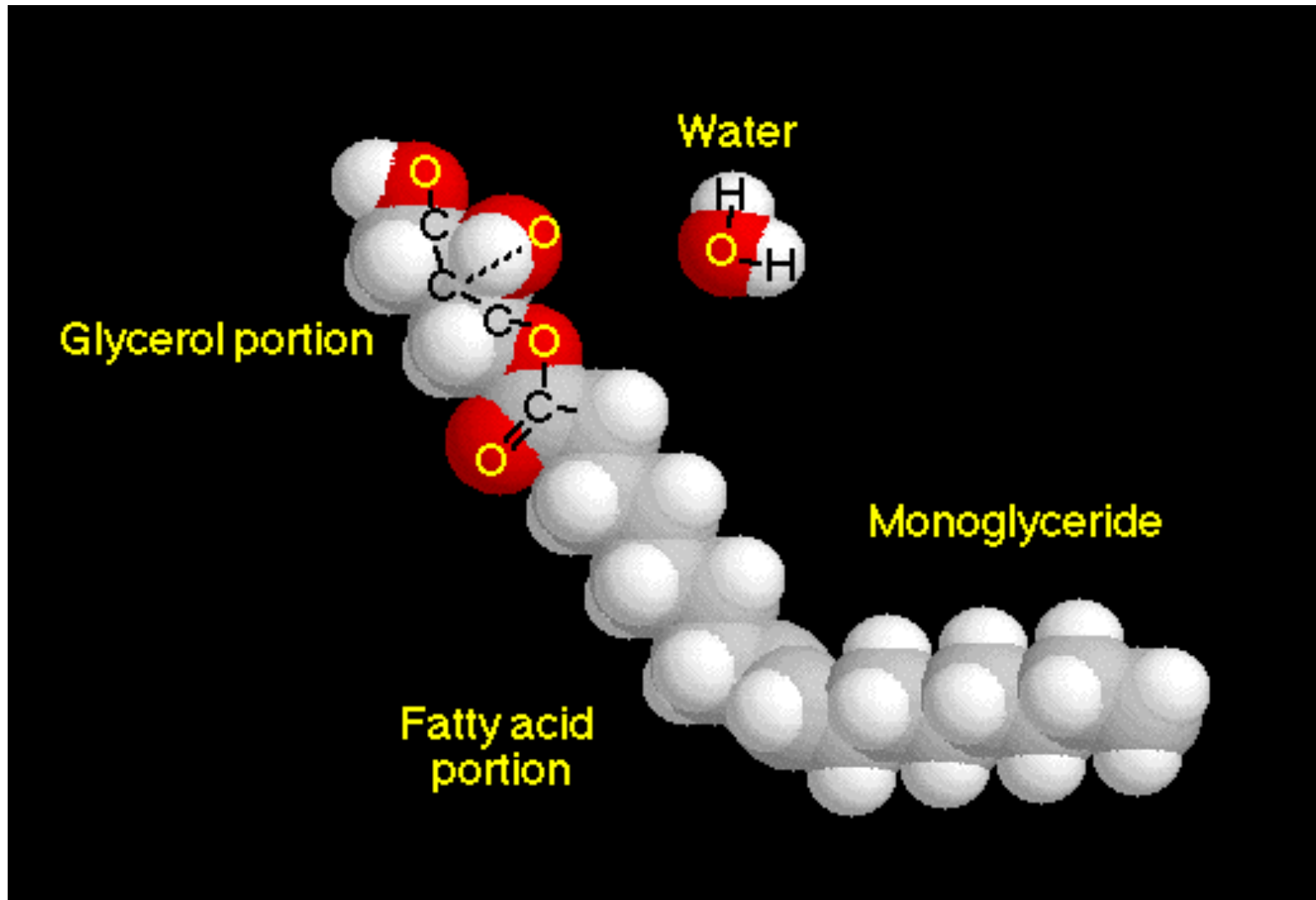


Διακυλ-γλυκερόλη (Διγλυκερίδιο)

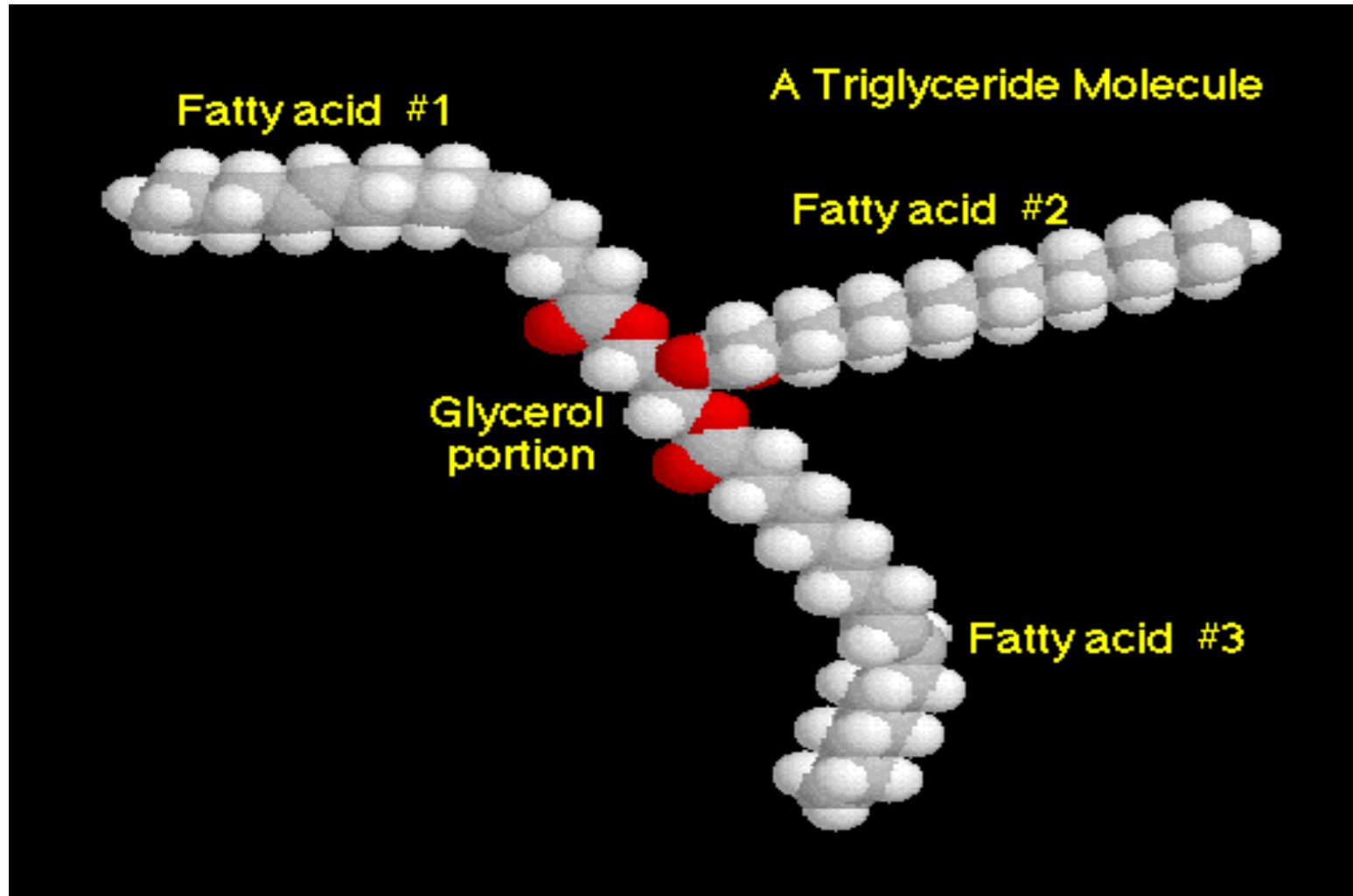


Τριακυλ-γλυκερόλη (Τριγλυκερίδιο)

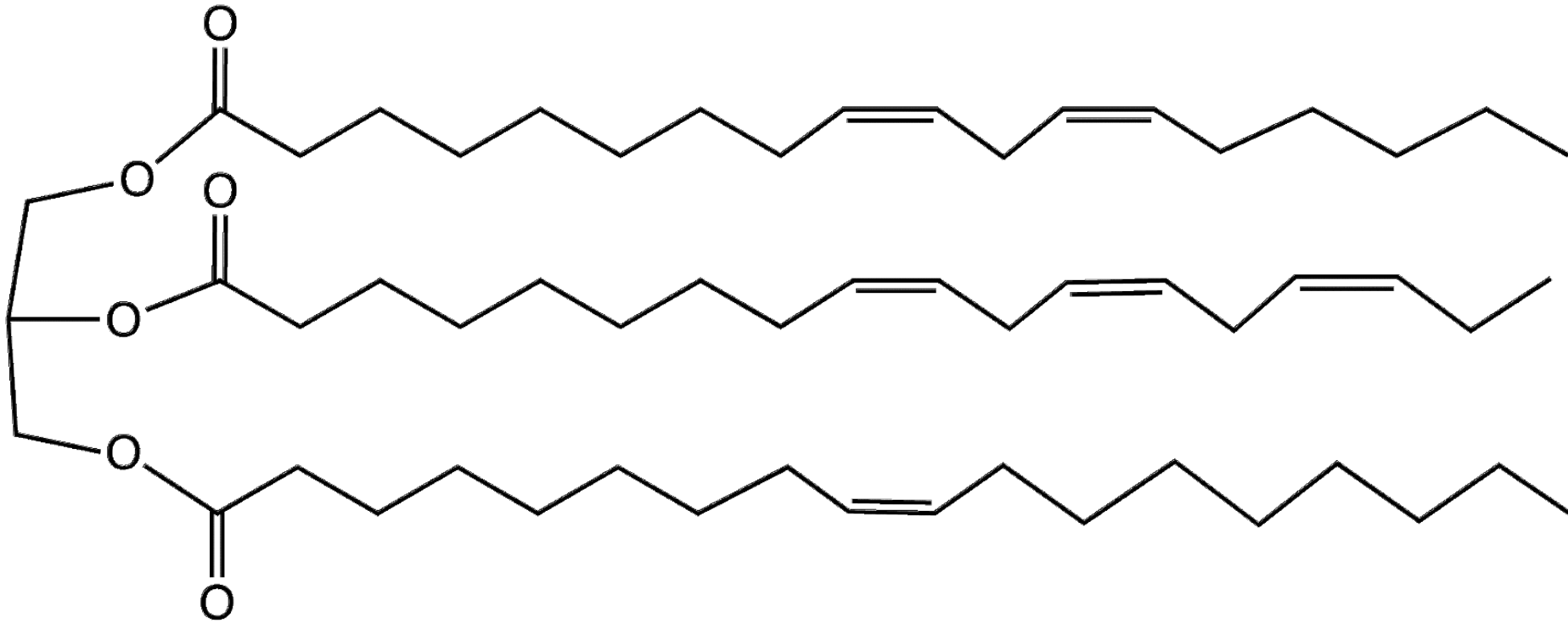
Μονοακυλ-γλυκερόλη (*Μονογλυκερίδιο*)



Τριακυλ-γλυκερόλη (Τριγλυκερίδιο)



Τριγλυκερίδιο λιναρελαίου



Λινολεϊκό οξύ
α-λινολεϊκό οξύ
Ολεϊκό οξύ

Λίπη και Έλαια στην Παγκόσμια Αγορά

| | |
|----------------|------|
| ☞ Φυτικά έλαια | 68 % |
| ☞ Ζωικά λίπη | 28 % |
| ☞ Ιχθυέλαια | 4 % |

Φυσικές & Χημικές Ιδιότητες Λιπιδίων που Επηρεάζονται κατά την Κατεργασία



Σημείο Τήξης Τριγλυκεριδίων

| Τριγλυκερίδιο | ΣΤ (°C) |
|---------------|---------|
| C6 | -15 |
| C12 | 15 |
| C14 | 33 |
| C16 | 45 |
| C18 | 55 |
| C18:1 (cis) | -32 |
| C18:1 (trans) | 15 |

Πολυμορφισμός – παράδειγμα βουτύρου κακάο

Πολυμερισμός Ακόρεστων Λιπαρών Οξέων των Λιπιδίων

- ➔ Θέρμανση σε υψηλές θερμοκρασίες π.χ. τηγάνισμα
- ➔ Μεταβολή δείκτη διάθλασης, MB, χρώματος, ιξώδους
- ➔ Μείωση θρεπτικής αξίας του ελαίου
- ➔ Ποιότητα τροφίμου

Λιπόλυση

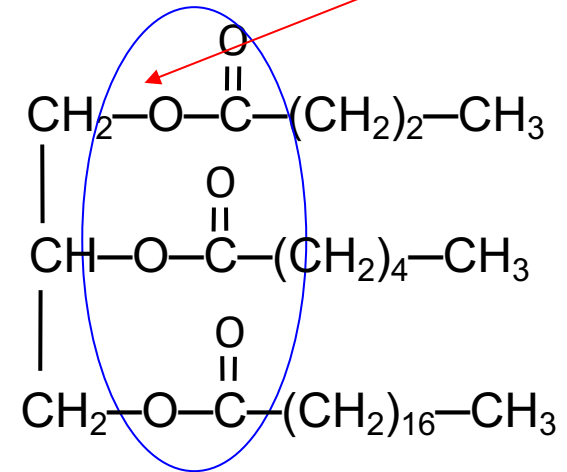
Υδρόλυση εστερικών δεσμών τριγλυκεριδίου προς ελεύθερα λιπαρά οξέα και γλυκερόλη

- ➔ Δράση λιπολυτικών ενζύμων ή θέρμανσης – παρουσία νερού
- ➔ Διαφορετική εξειδίκευση

Λιπάσες



- ❑ Δράση λιπάσης στο λίπος των τροφίμων → **Ανάπτυξη ταγγής γεύσης**
- ❑ Τα πτητικά C₄ λιπαρά οξέα (βουτυρικό) και άλλα μικρής αλυσίδας προσδίδουν άσχημες οσμές
- ❑ **Λιπολυτική τάγγιση** – ελιές, γάλα, βούτυρο, ξηροί καρποί
- ❑ Παράδειγμα ελαιόλαδου
- ❑ Επιθυμητή π.χ. στη γεύση και οσμή των μπλε τυριών
- ❑ **Εξευγενισμός** ή ραφινάρισμα (it. *raffinare*)

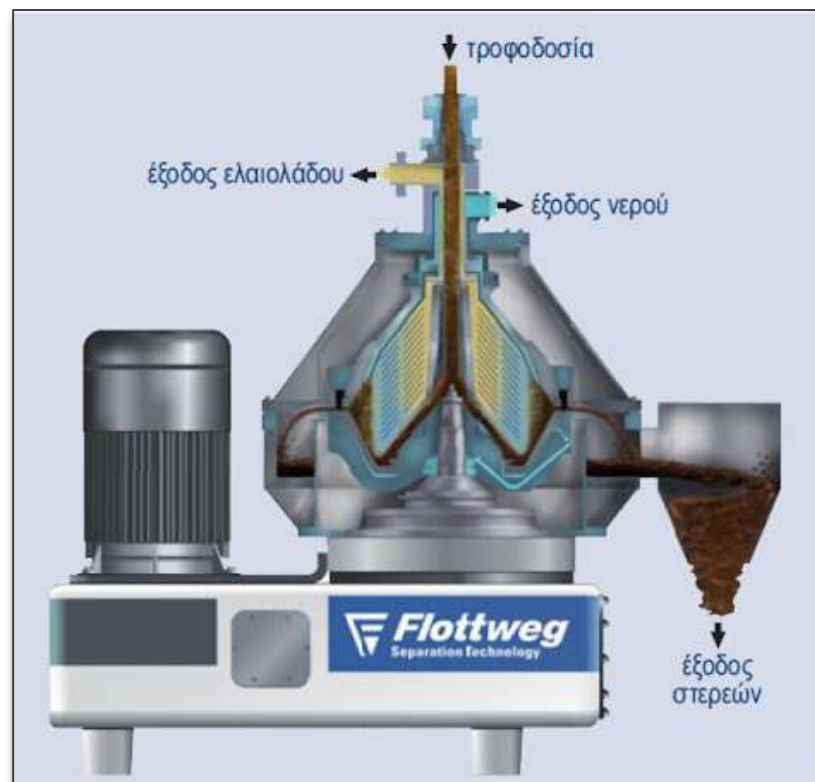


Λιπάση

Εξευγενισμός Φυτικών Ελαίων

Σύνολο διεργασιών με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας διαφόρων φυτικών ελαίων, τη μείωση της οξύτητας και τη βελτίωση των οργανοληπτικών τους χαρακτηριστικών.

- Διήθηση, Αποκομμίωση, Εξουδετέρωση, Αποχρωματισμός, Αποκρήρωση, Απόσμηση, Υδρογόνωση



Υδρογονωμένα λίπη – trans λιπαρά

- α Ακόρεστα λιπαρά που δημιουργούνται κατά τον εξευγενισμό
- α Πολύ μικρές ποσότητες στα γαλακτοκομικά και το κρέας
- α *Trans* – παράγονται κατά την υδρογόνωση που κάνει τα φυτικά έλαια λιγότερο ευπαθή
- α Αύξηση LDL / Μείωση HDL: κίνδυνος εμφάνισης καρδιαγγειακών νοσημάτων
- α Τυποποιημένα τρόφιμα

Φοινικέλαιο – Palm oil

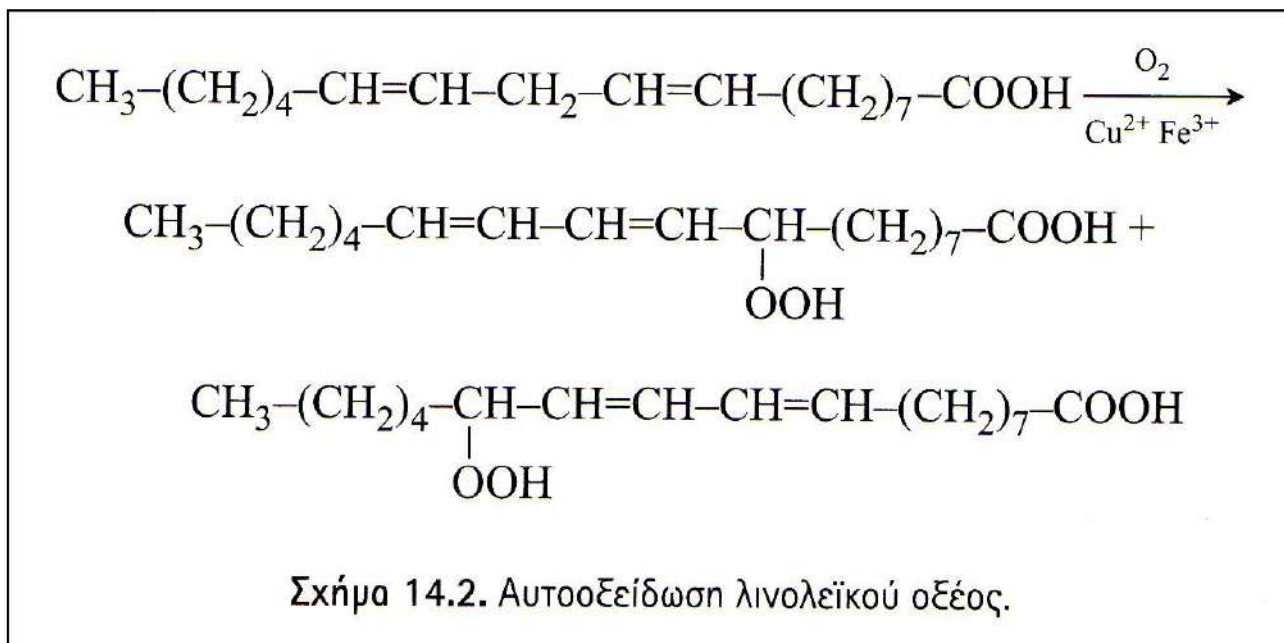
- α Χαμηλό κόστος, ποικίλες χρήσεις, υψηλή ανθεκτικότητα στις ακραίες θερμοκρασίες και κατά το τηγάνισμα → αυξημένη χρήση & αντικατάσταση ακριβών φυτικών ελαίων
- α Τυποποιημένα προϊόντα όπως σε κέικ, παγωτά, αρτοσκευάσματα, μπισκότα, σοκολάτες, μπάρες δημητριακών, chips και μαγιονέζες
- α Σύνθεση παρόμοια με ζωικού λίπους
- α Βασικό κορεσμένο λιπαρό οξύ: παλμιτικό (48%)
- α Επιστημονικοί φορείς της Ευρώπης και των ΗΠΑ, τονίζουν ότι η υπερβολική πρόσληψη παλμιτικού οξέος συμβάλλει στην εμφάνιση καρδιοπαθειών
- α Διεθνείς υγειονομικές αρχές πιέζουν για τη μείωση της κατανάλωσης φοινικέλαιου, λόγω του ιδιαίτερα αυξημένου κινδύνου εμφάνισης καρδιοπαθειών

Οξειδωτική τάγγιση Αυτοοξειδωση Λιπιδίων

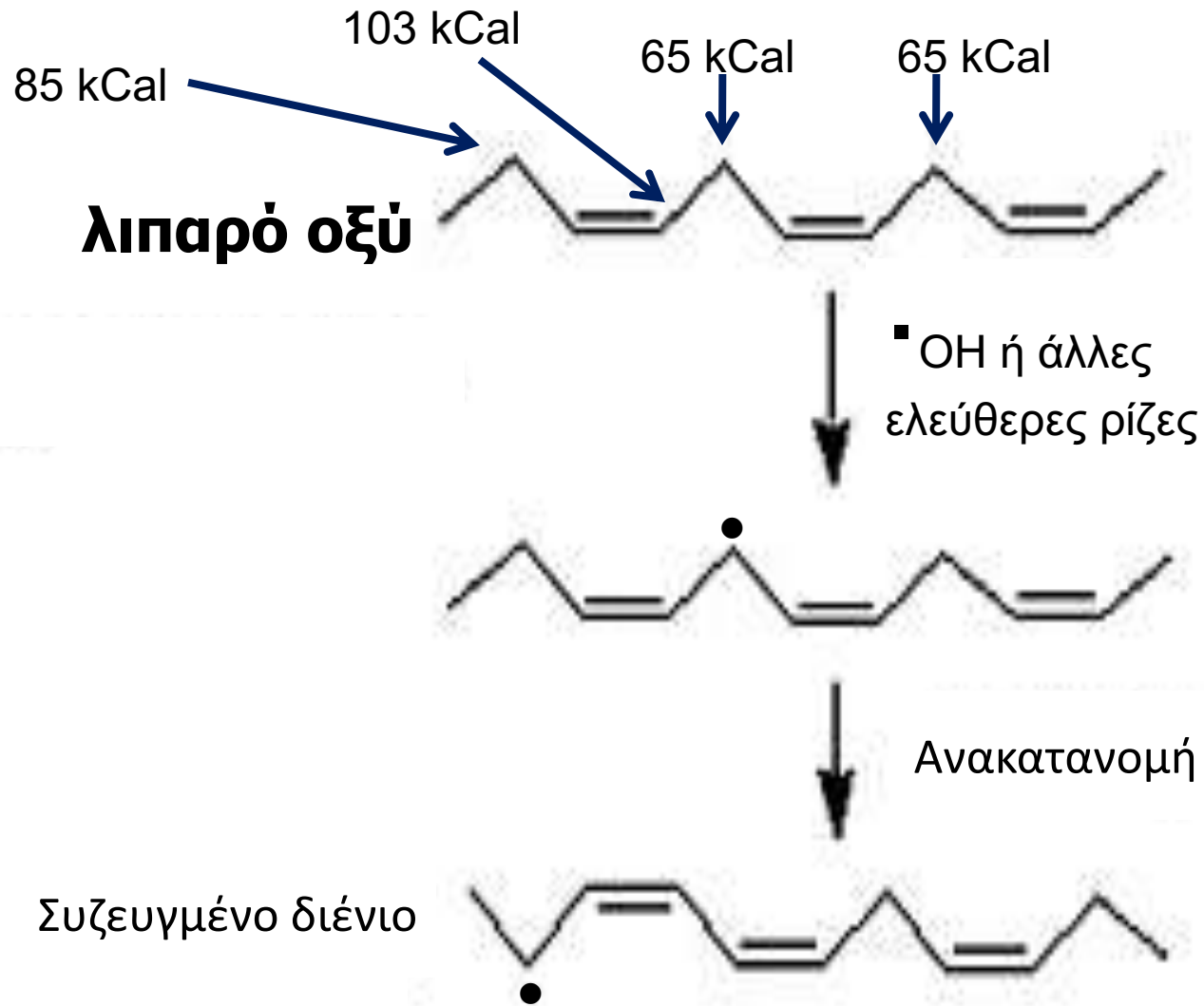


Η οξειδωτική τάγγιση όταν δεν είναι ενζυμικά καταλυόμενη ονομάζεται **αυτοοξείδωση**

- ✓ Εξαρτάται από: παρουσία O₂ & ακόρεστων δεσμών στα λίπη
- ✓ Εμφάνιση ταγγής γεύσης
- ✓ Προκαλεί αλλαγές στο χρώμα, στην υφή & τη θρεπτική αξία
- ✓ Τα συνήθη λιπαρά οξέα που οξειδώνονται είναι τα **ακόρεστα** ολεϊκό, λινολεϊκό και λινολενικό



Απαιτούμενη Ενέργεια (kcal/mol) για τη διάσπαση διαφορετικών δεσμών H-C



Αρχή: Η αυτοοξείδωση λιπιδίων είναι ένα φαινόμενο που απαρτίζεται θεωρητικά **από 3 στάδια:**

Στάδιο 1

Έναρξη αυτοοξείδωσης από αυτοκατάλυση που προκαλεί μία αρχική οξείδωση (αφυδρογόνωση) η οποία δίνει μία ελεύθερη ρίζα

Στάδιο 2

Η αρχική ελεύθερη ρίζα προκαλεί διαδοχικές αφυδρογονώσεις (οξειδώσεις) (200-300 μόρια!)

Τα παραγόμενα υδροϋπεροξειδία προκαλούν νέες αφυδρογονώσεις

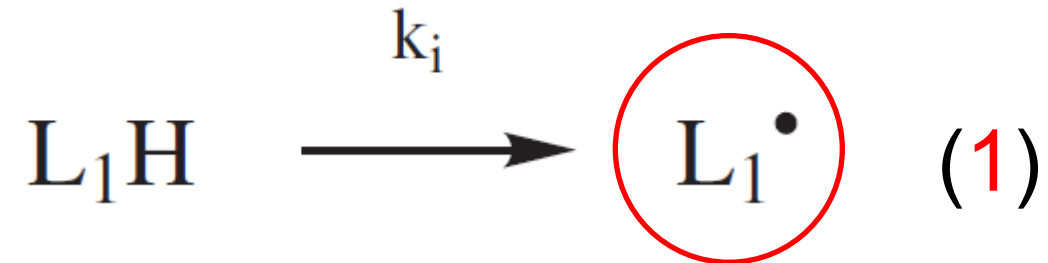
Οι ελεύθερες ρίζες αντιδρούν με τα παραγόμενα υδροϋπεροξειδία και δίνουν νέες ρίζες

Στάδιο 3

Οι αλυσίδες διαδοχικών ελευθέρων ριζών τερματίζονται με τη δημιουργία ενώσεων στις οποίες δεν υπάρχουν πλέον ελεύθερες ρίζες (ταγγή γεύση)

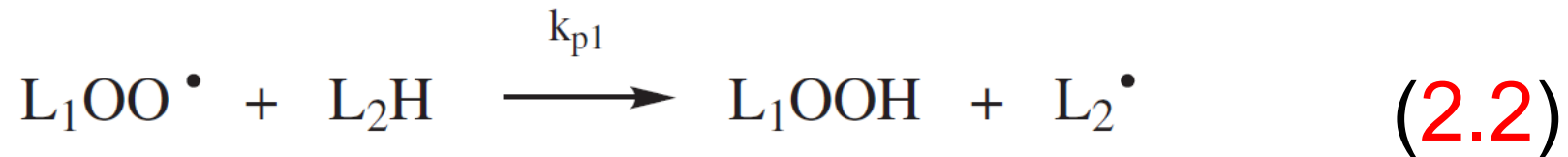
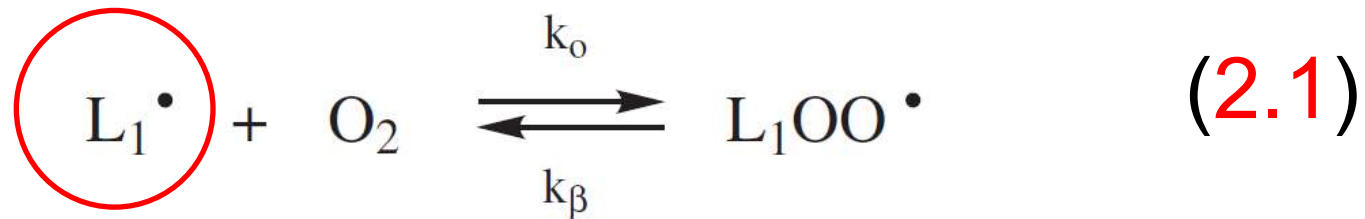
Στάδιο 1

Έναρξη αυτοοξείδωσης από αυτοκατάλυση που προκαλεί μία αρχική οξείδωση (αφυδρογόνωση) η οποία δίνει μία ελεύθερη ρίζα



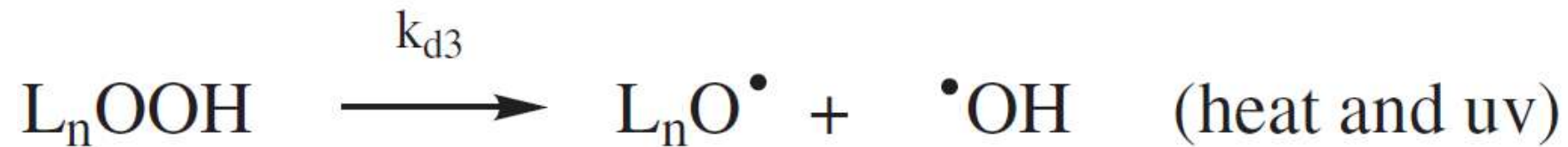
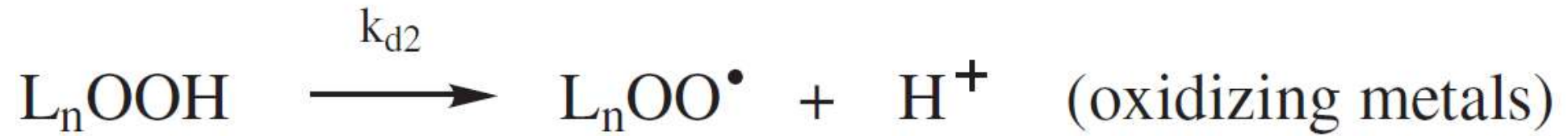
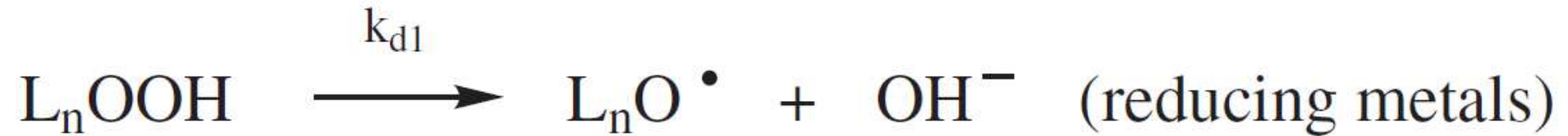
Στάδιο 2

Η αρχική ελεύθερη ρίζα (L_1^\bullet) προκαλεί διαδοχικές αφυδρογονώσεις (οξειδώσεις)



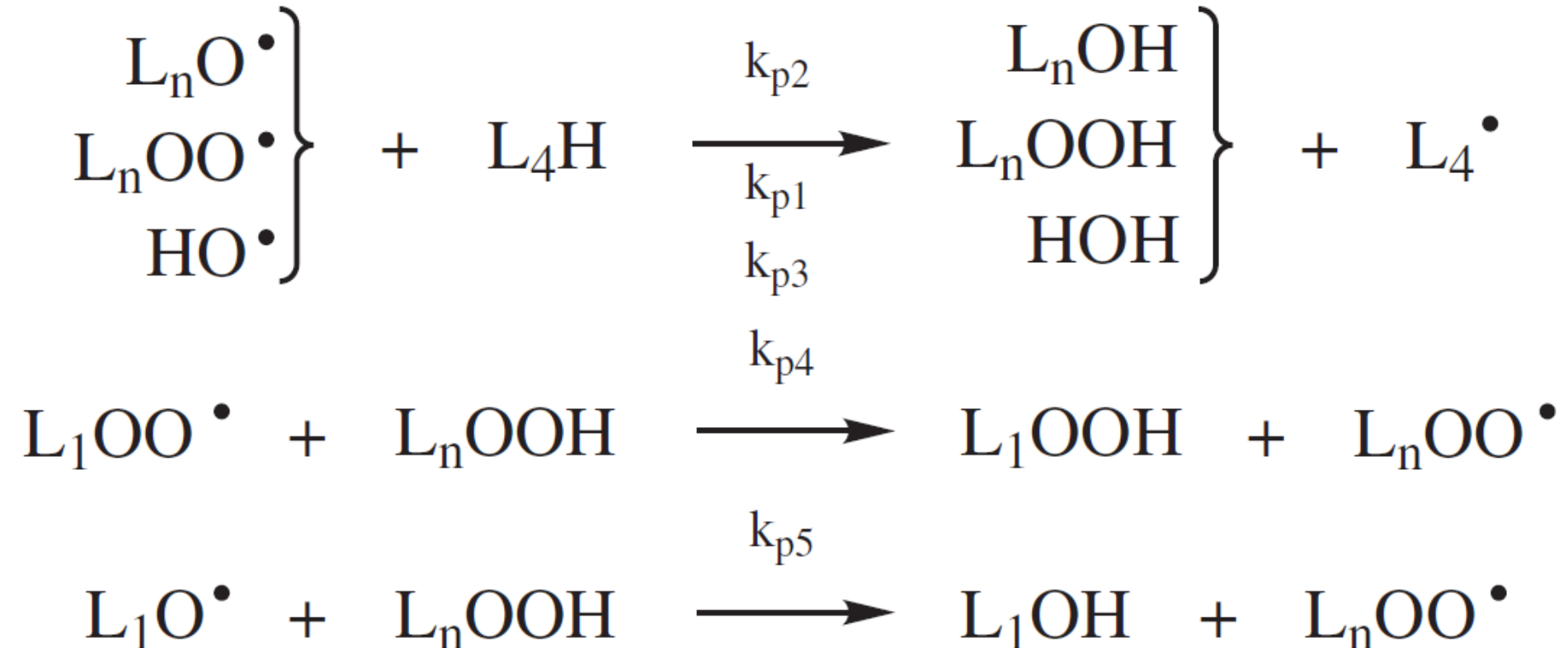
Στάδιο 2.3

Τα παραγόμενα λιποϋπεροξειδία (L_nOOH) προκαλούν νέες αφυδρογονώσεις και νέες ελεύθερες ρίζες

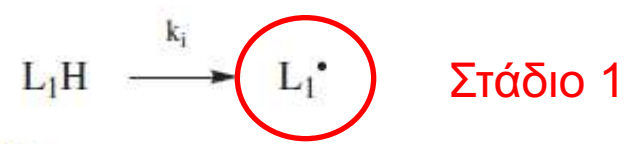


Στάδιο 2.4

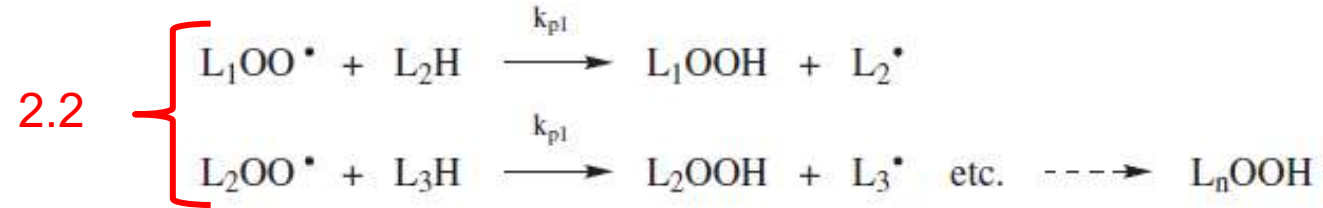
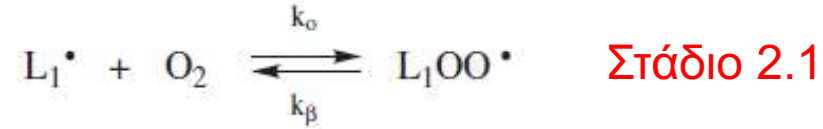
Οι ελεύθερες ρίζες (από το στάδιο 3) αντιδρούν με υπάρχοντα λιπίδια και υδροϋπεροξειδία και δίνουν νέα υδροϋπεροξειδία και νέες ρίζες



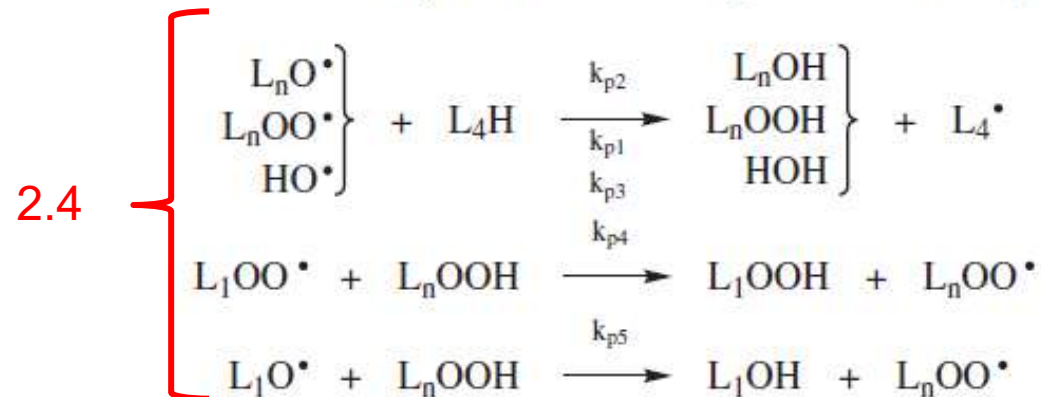
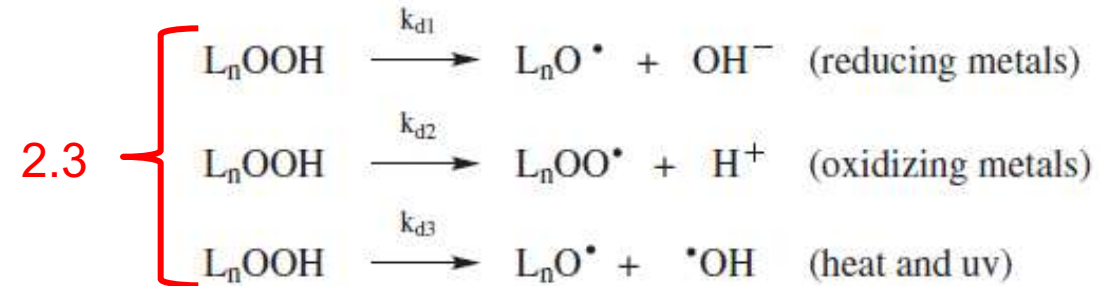
Σύνοψη



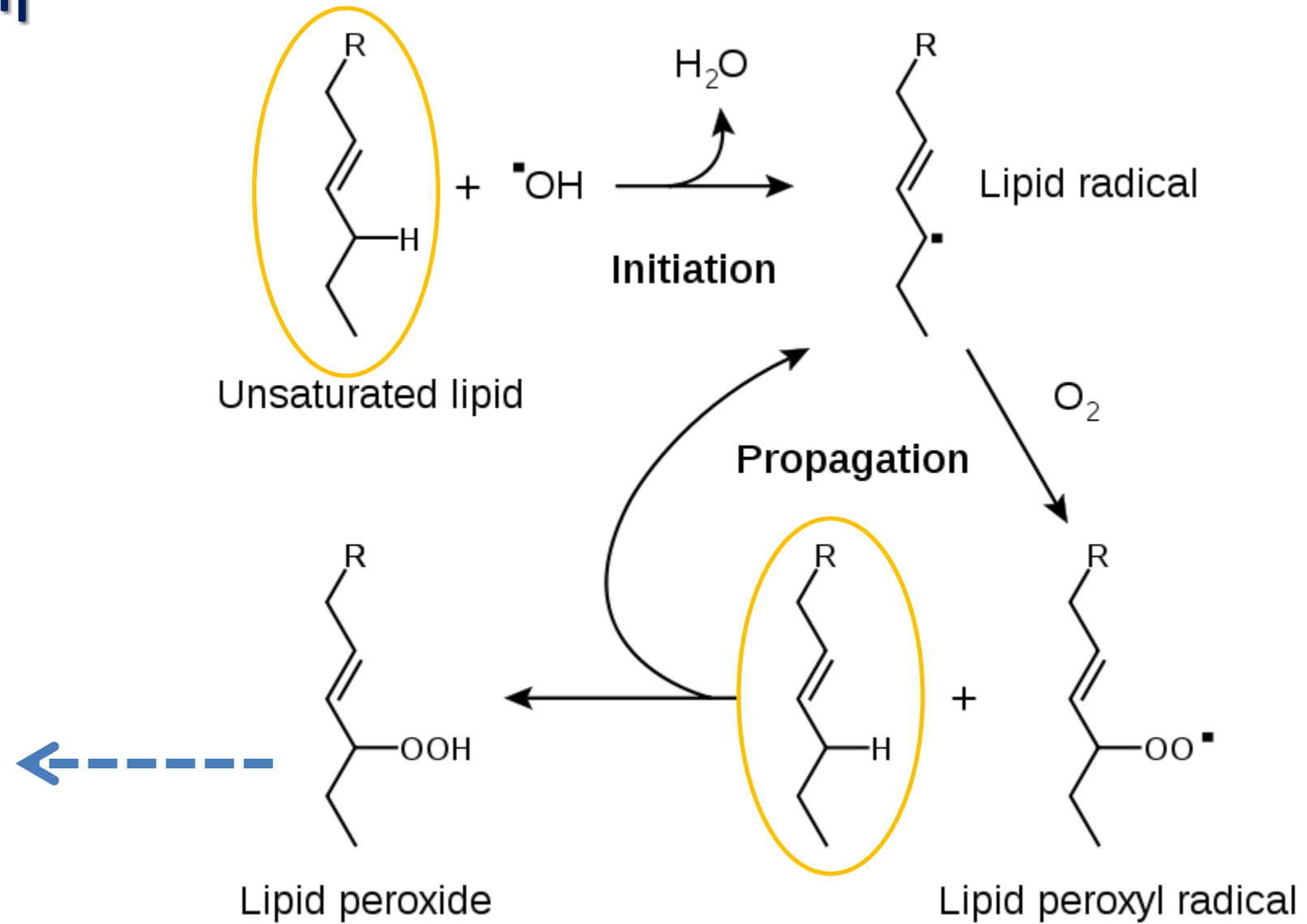
Propagation
Free radical chain reaction established



Free radical chain branching (initiation of new chains)

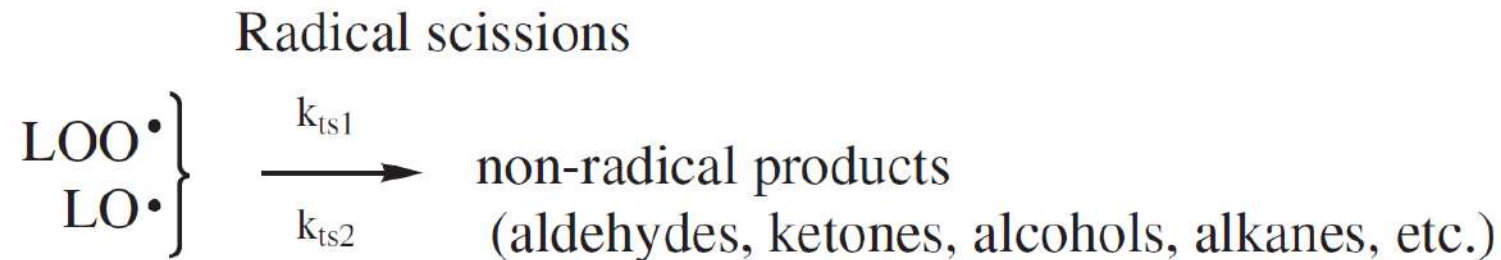
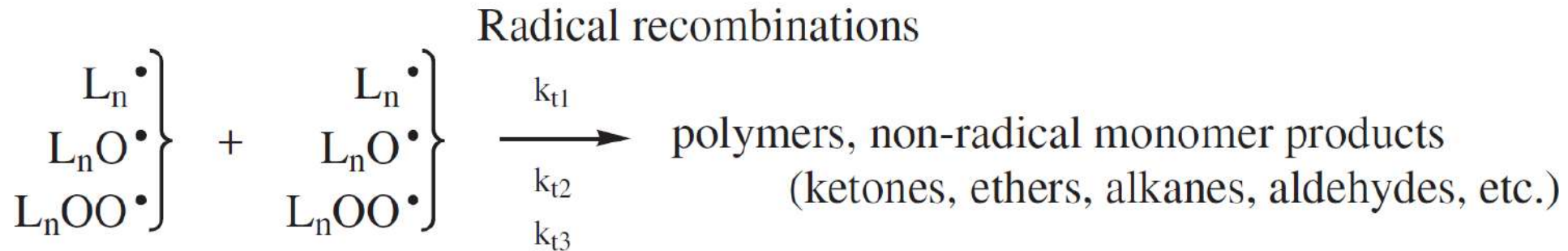


Περίληψη



Στάδιο 3

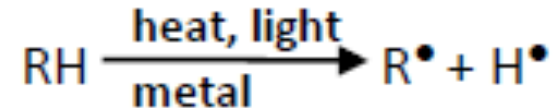
Οι αλυσίδες διαδοχικών ελευθέρων ριζών τερματίζονται με τη δημιουργία ενώσεων στις οποίες δεν υπάρχουν πλέον ελεύθερες ρίζες: εξουδετέρωση των ελευθέρων ριζών



Τα τελικά προϊόντα της οξείδωσης είναι μικρής αλυσίδας καρβονυλικές ενώσεις υπεύθυνες για την εμφάνιση ταγγής γεύσης

Αυτοοξειδωση λιπιδίων από το O₂ - Σύνοψη

Initiation



Propagation



Termination

Υδροϋπεροξείδιο



Οι ελεύθερες ρίζες αντιδρούν με άλλα συστατικά των τροφίμων π.χ. πρωτεΐνες

Προϊόντα διάσπασης υδροϋπεριξειδίων

Οξειδωτική τάγγιση μέσω ελευθέρων ριζών - κλασσική περίπτωση οξείδωσης λιπιδίων

- Αρχή
 - Δημιουργία πρώτης ελεύθερης ρίζας
- Διάδοση
 - Οι ελεύθερες ρίζες αντιδρούν και μεταφέρουν τα ασύζευκτά τους e^- σε άλλες ενώσεις (δημιουργία υδροϋπεροξειδίων)
- Τερματισμός
 - Σχηματισμός προϊόντων χωρίς ελεύθερες ρίζες (αποσύνθεση λιποϋπεροξειδίων)

Τάγγιση: υποβάθμιση της γεύσης των λιπιδίων

1. Λιπολυτική τάγγιση

Λιπάση (υδρόλυση)

Τα ελεύθερα λιπαρά οξέα προσδίδουν οσμή

2. Οξειδωτική τάγγιση

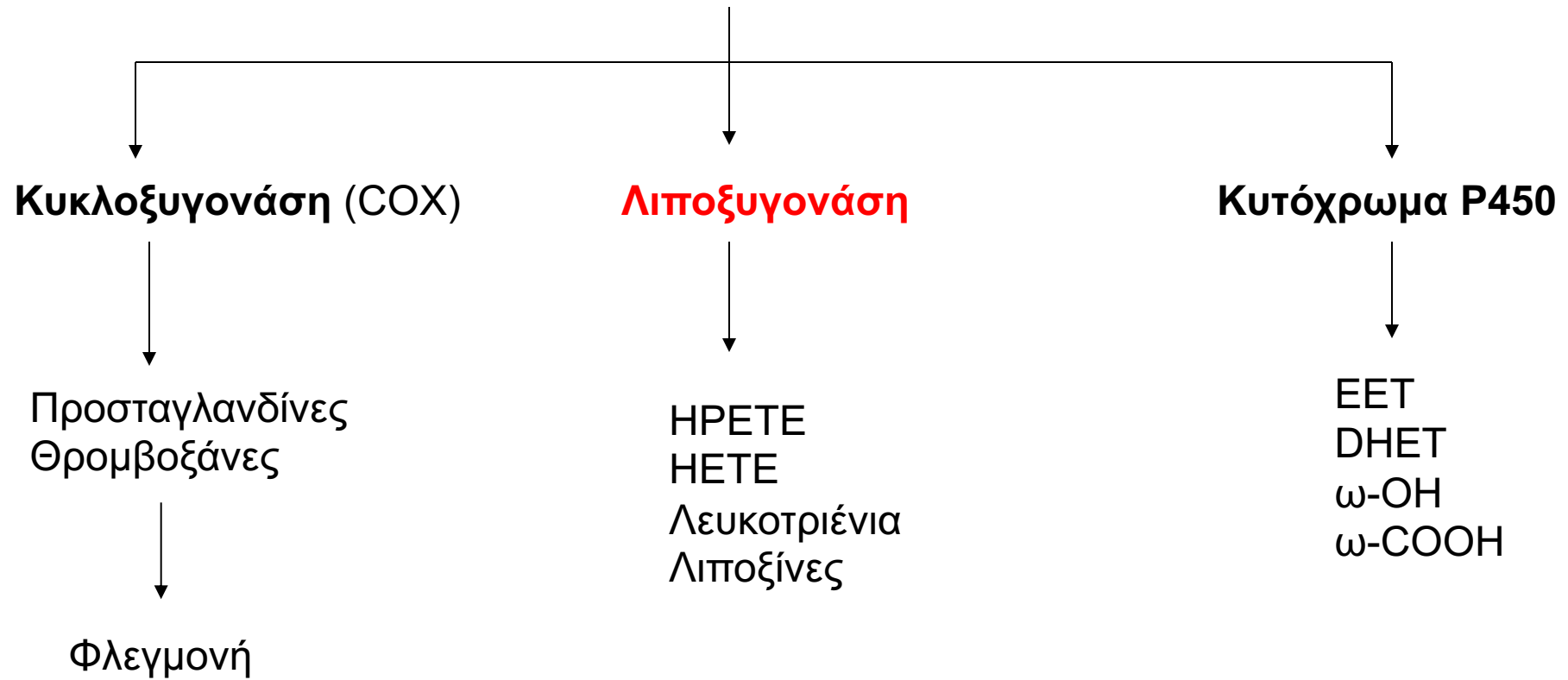
A. Οξείδωση μέσω ελευθέρων ριζών – αυτοοξείδωση

☞ Ο πιο συνηθισμένος τύπος οξειδωτικής αλλοίωσης λιπιδίων

Προϊόντα: αλδεΐδες και άλλες ενώσεις προσδίδουν οσμή

B. Λιποοξυγονάση (δράση σε χαμηλές θερμοκρασίες)

Αραχιδονικό οξύ (ω6)



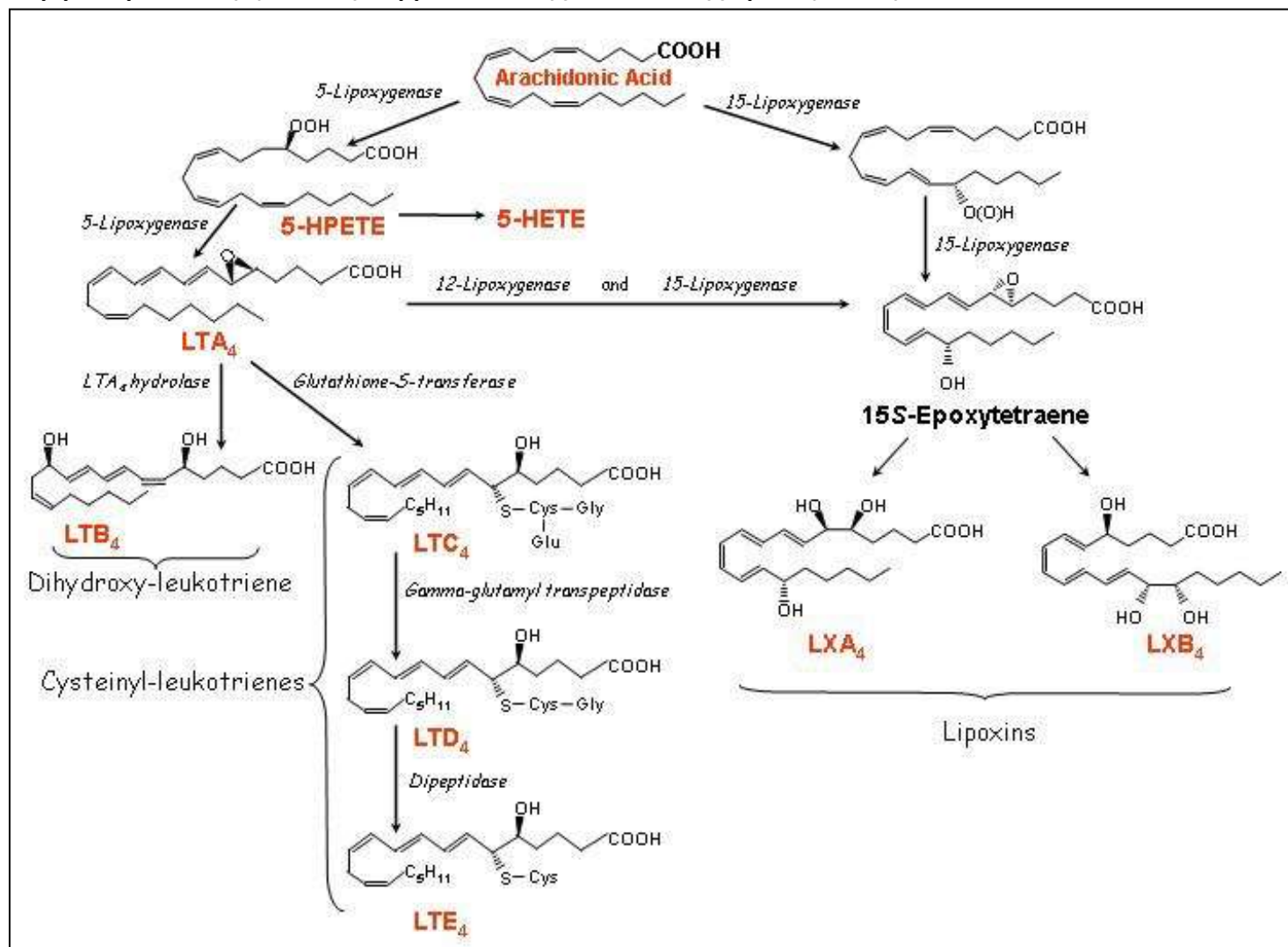
Οξείδωση λιπαρού οξέος από τρεις κατηγορίες ενδογενών ενζύμων

Λιποξυγονάση: καταλύτης στην οξείδωση λιπιδίων

Σε ελαιόσπορους, όσπρια, σιτηρά και φύλλα

Καταλύει την απευθείας οξείδωση των λιπιδίων με *cis-cis* 1,14 πενταδεκανοϊκές ομάδες σε υδροϋπεροξείδια.

Δρα σε χαμηλές θερμοκρασίες (κατεψυγμένα λαχανικά π.χ. μπιζέλια)

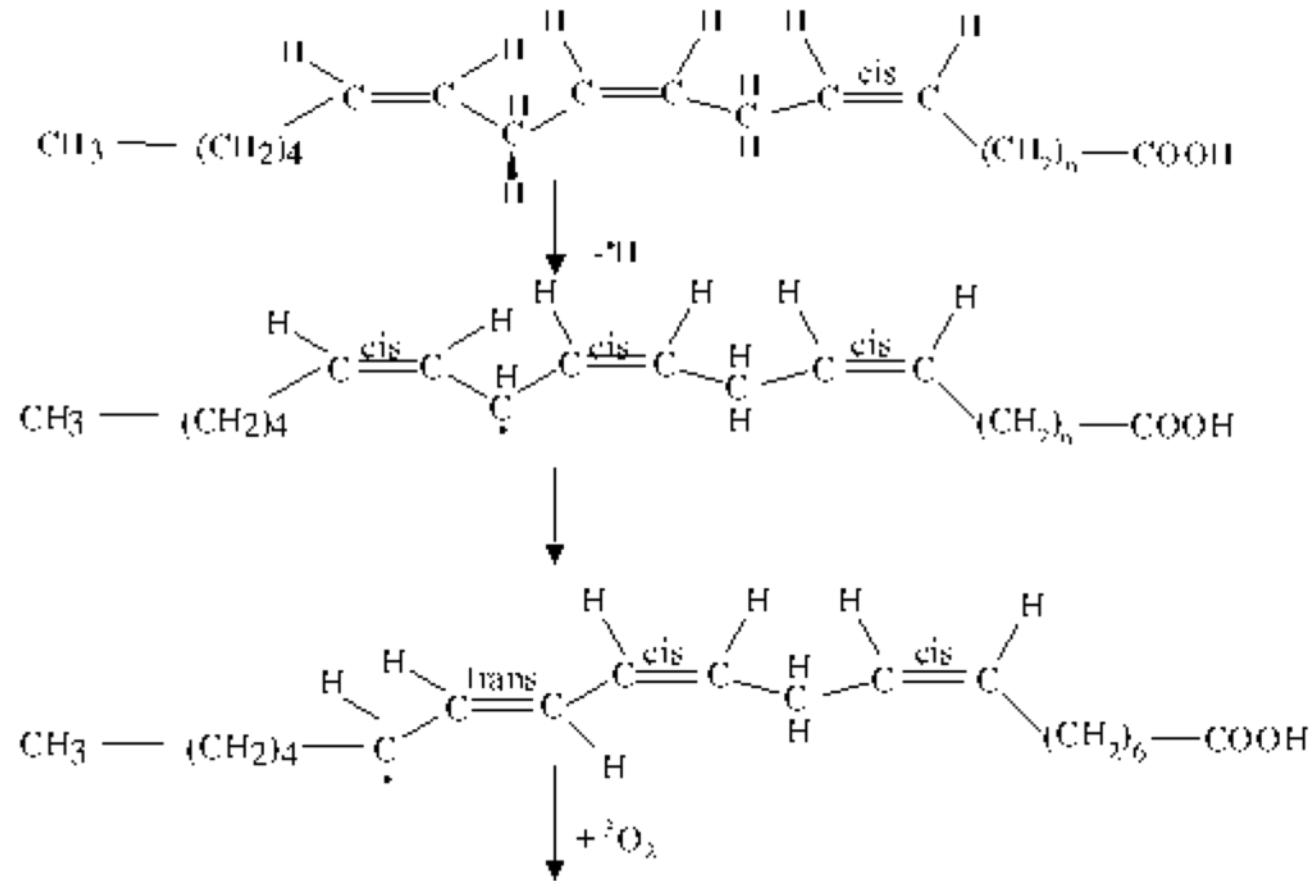


Ενζυμική Οξείδωση Λιπιδίων (**Λιποξυγονάση**)

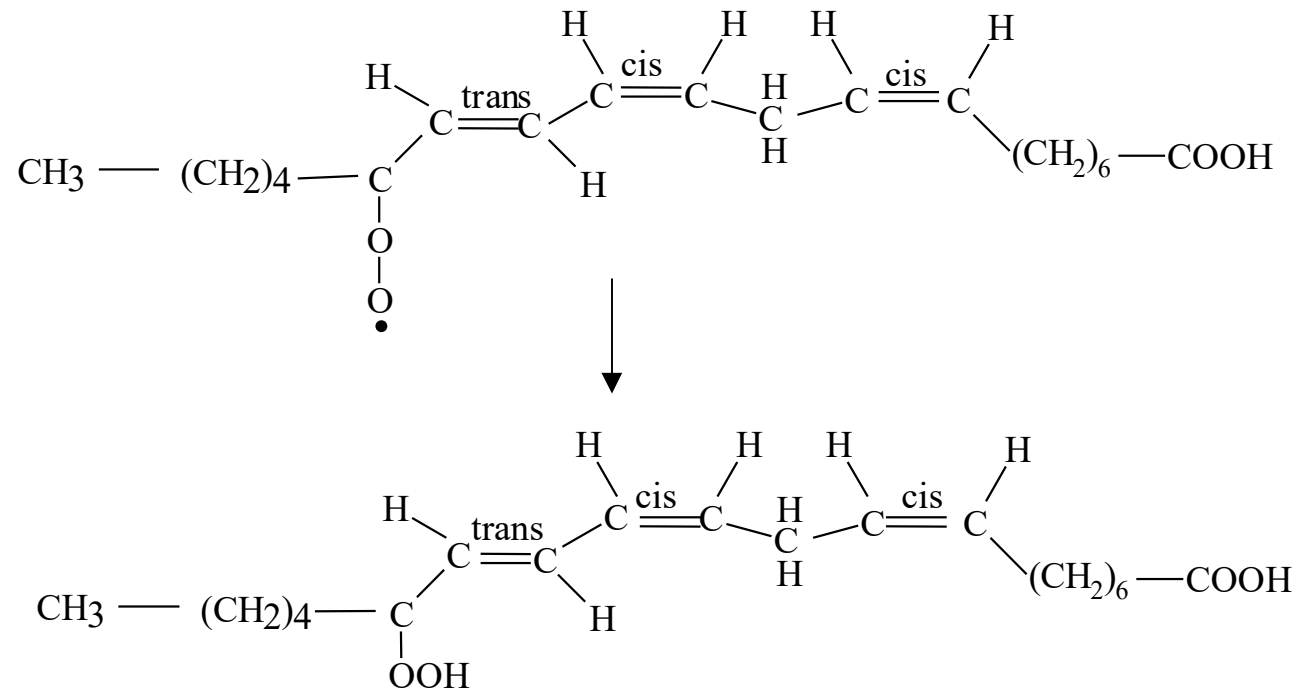
Επιζήμια αποτελέσματα

- A.** Καταστροφή των απαραίτητων λιπαρών οξέων
- B.** Οι ελεύθερες ρίζες προκαλούν βλάβες σε άλλες ενώσεις των τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων των βιταμινών και των πρωτεϊνών
- Γ.** Ανάπτυξη άσχημης οσμής και γεύσης σε κατεψυγμένα και αφυδατωμένα λαχανικά (φασόλια και μπιζέλια) ⇒ ανεπιθύμητες γεύσεις και οσμές (σανό)

Μηχανισμός λιποξυγονάσης: οξείδωση



Μηχανισμός λιποξυγονάσης: σχηματισμός υδροϋπεροξειδίου



Παράγοντες που Επηρεάζουν το Ρυθμό Οξειδωσης

1. Σύσταση λιπαρών οξέων
2. Θερμοκρασία
3. Υγρασία
4. Καταλύτες (Ιόντα μετάλλων)
5. Οξυγόνο
6. Φως
7. Αντιοξειδωτικά



Σύσταση Λιπαρών Οξέων

- Αριθμός, θέση, στερεοϊσομέρεια λιπαρών οξέων στο τριγλυκερίδιο
- Τα *cis* οξειδώνονται πιο γρήγορα από τα *trans*, έχουν πιο δραστικούς διπλούς δεσμούς
- Όσο αυξάνεται ο αριθμός των διπλών δεσμών, τόσο αυξάνεται η δημιουργία των ελευθέρων ριζών \Rightarrow η οξείδωση των λιπιδίων αυξάνει με το βαθμό ακορεστότητας

| <u>Τύπος λιπαρού οξέως</u> | <u>Σχετική ταχύτητα οξείδωσης</u> |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Στεαρικό (18:0) | 1 |
| Ελαϊκό (C18:1Δ9) | 100 |
| Λινολεϊκό (ω6 18:2Δ9,12) | 1200 |
| α-λινολενικό (ω3 18:3Δ9,12,15) | 2500 |

Θερμοκρασία

Ρυθμός αυτοοξείδωσης και μηχανισμός αντιδράσεων

- Σε χαμηλές T
δεν επηρεάζεται ο ακόρεστος χαρακτήρας των λιπών,
τα κορεσμένα λιπαρά οξέα δεν συμμετέχουν στην οξειδωτική τάγγιση
- Σε υψηλές T
Ένα σημαντικό ποσοστό διπλών δεσμών κορέννυται
Τα κορεσμένα λιπαρά οξέα συμμετέχουν στην οξειδωτική τάγγιση

Ενεργότητα νερού (υγρασία)

Πολύπλοκη επίδραση

Στα αφυδατωμένα (ενεργότητα $a_w < 0.3$) η οξείδωση ταχύτατη

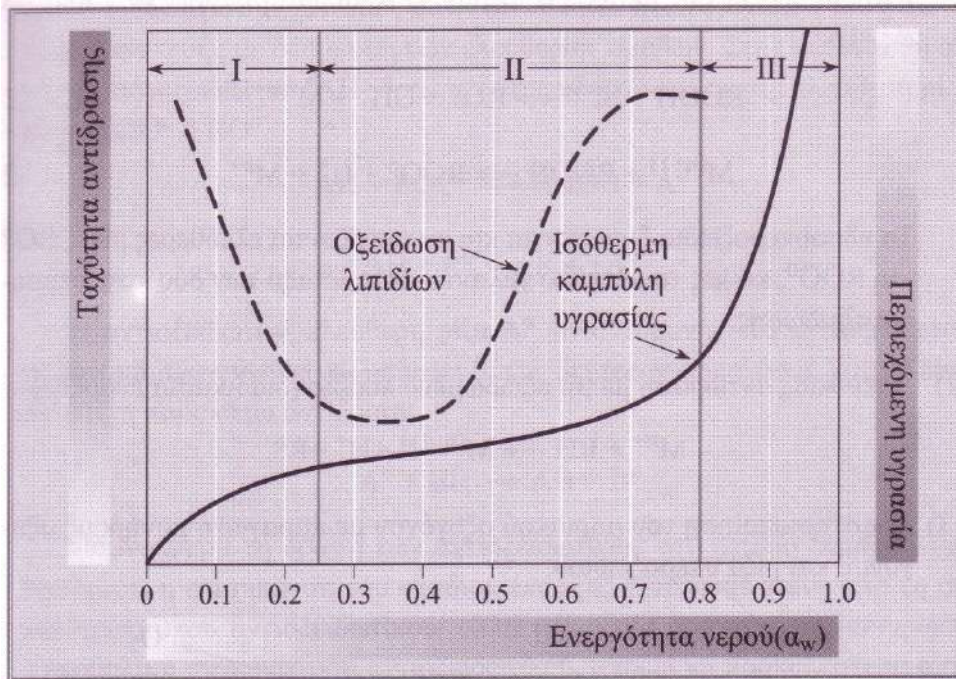
Για $0,55 < a_w < 0,85$ έχουμε επιβράδυνση της οξείδωσης

Για $a_w \approx 3$ (μονομοριακή στιβάδα νερού) έχουμε αναστολή της οξείδωσης

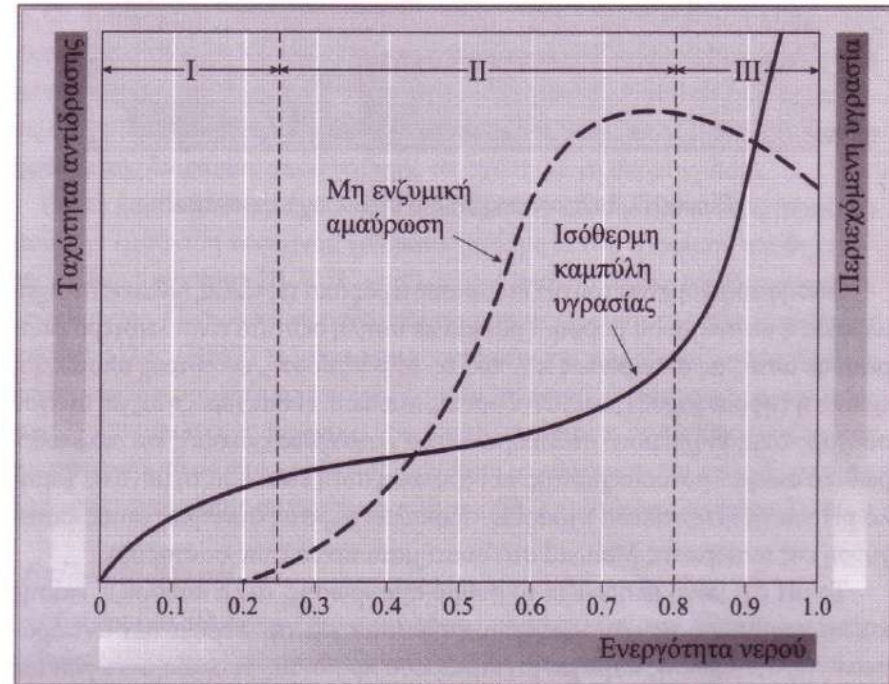
- Αντίδραση του νερού με υπεροξείδια με αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσής τους
- Ενυδάτωση μεταλλικών καταλυτών που υποβοηθούν τις οξειδώσεις
- Παραγωγή αδιαλύτων, μη δραστικών υδροξειδίων από μεταλλικούς καταλύτες
- Το νερό διευκολύνει τις ελεύθερες ρίζες να αντιδράσουν και με άλλα συστατικά

Επίδραση της ενεργότητας νερού

Οξείδωση λιπιδίων

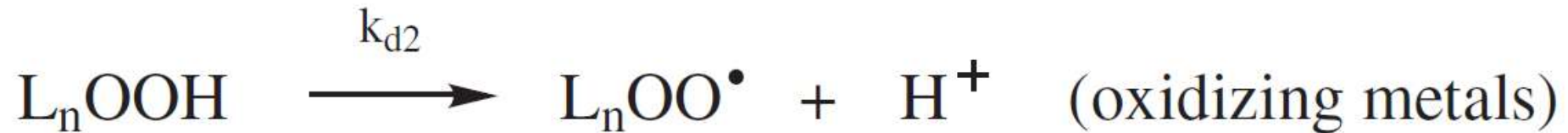
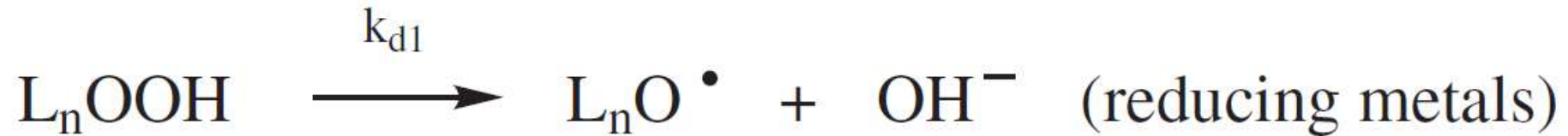


Μη ενζυμική αμάρωση υδατανθράκων



Ιόντα μετάλλων - Καταλύτες

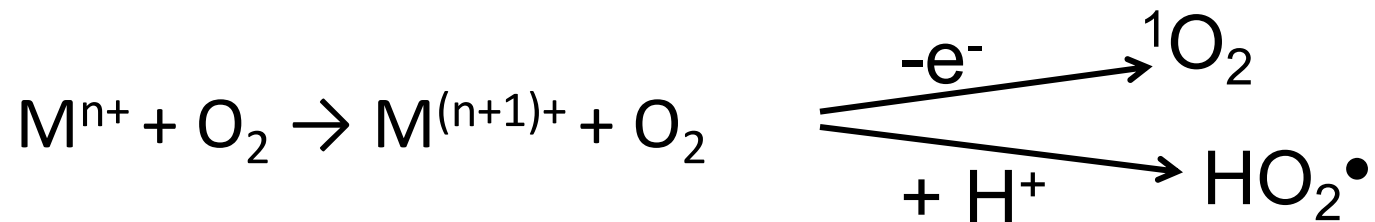
Τα ιόντα βαρέων μετάλλων (Cu, Fe, Co, Mn, Ni) είναι **δραστικοί καταλύτες της οξείδωσης των λιπιδίων σε ιχνοποσότητες**



Απευθείας αντίδραση με μη οξειδωμένο λιπίδιο (έναρξη):



Ενεργοποίηση του μοριακού O_2 για παραγωγή μονήρους O και ρίζας υπεροξειδίου



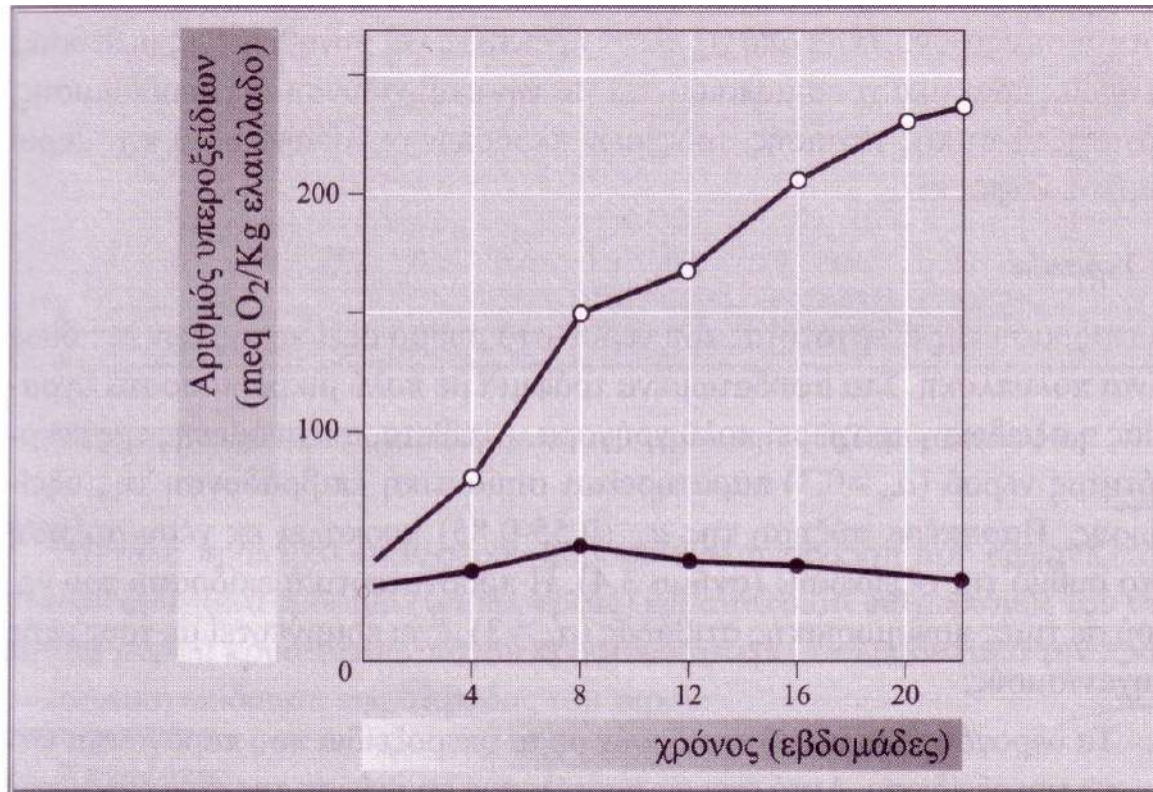
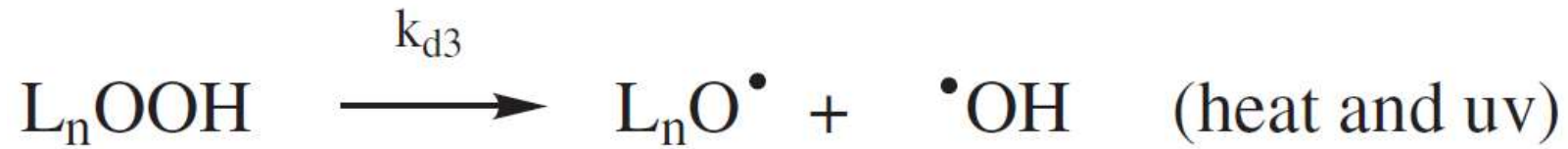
Κατάλυση του σταδίου τερματισμού

Φως

- Το ορατό και υπεριώδες φως επιταχύνουν την οξείδωση των λιπιδίων (φωτοοξείδωση)
- Το φαινόμενο συνδέεται με τη δράση χρωστικών ουσιών όπως η χλωροφύλλη και η φαιοφυτίνη τα φυτά, η αιμοσφαιρίνη και φωτοπορφυρίνη στα ζώα:
- Οι ουσίες αυτές απορροφούν ενέργεια από το φως, τη μεταφέρουν στο οξυγόνο (από O τριπλής κατάστασης σε O απλής) το οποίο αντιδρά αμέσως με το λιπίδιο, οπότε δημιουργούνται υπεροξείδια.

Αναστολείς φωτοοξείδωσης

- Όχι τα συνήθη αντιοξειδωτικά, αλλά ουσίες που προκαλούν απόσβεση του O απλής κατάστασης όπως η β-καροτίνη, ο συνδυασμός της με τοκοφερόλη, χηλικές ενώσεις Ni.



Δεν παίζει ρόλο το υλικό
συσκευασίας αλλά η
διαφάνεια

Επίδραση φωτός στην φωτοοξειδωση του ελαιολάδου

- Διαφανείς πλαστικές φιάλες
- Καλυμμένες με αλουμινόχαρτο

Αντιοξειδωτικά

- Ουσίες που επιβραδύνουν την αυτοοξείδωση
- Δέσμευση οξυγόνου & μετάλλων
- Στα λιπίδια: ιδιαίτερα επιθυμητή η δράση τους στην αναστολή του σταδίου έναρξης – δέσμευση ελευθέρων ριζών
- Φυσικές ή συνθετικές **φαινολικές** ενώσεις (π.χ. καπνός, καρυκεύματα σε αλλαντικά)

A. Δεσμευτές μετάλλων

Κιτρικά, EDTA, DTPA

Φωσφορικά

Δεσφериοξαμίνη

B. Δεσμευτές ελευθέρων ριζών (πρωτογενών και δευτερογενών)

Φαινολικά αντιοξειδωτικά

Βουτυλική υδροξυανισόλη (BHA) Βουτυλικό

υδροξυτολουόλιο (BHT) Προπυλεστέρες του

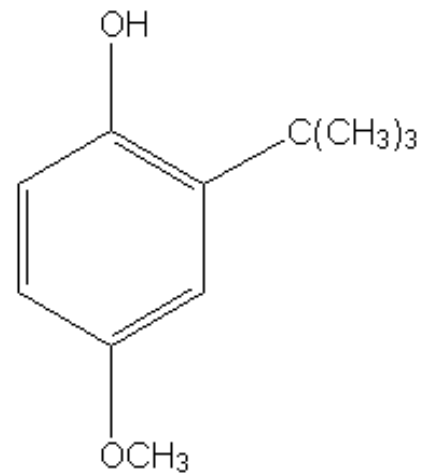
γαλικού οξέως (PG)

Τοκοφερόλη (βιταμίνη E)

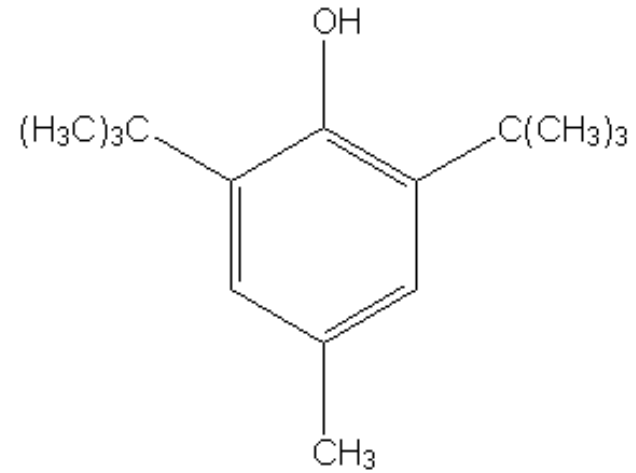
Χρήση σε συνδυασμούς - Συνέργεια (synergism)

Συνθετικά Φαινολικά Αντιοξειδωτικά

BHA
Butylated hydroxyanisole

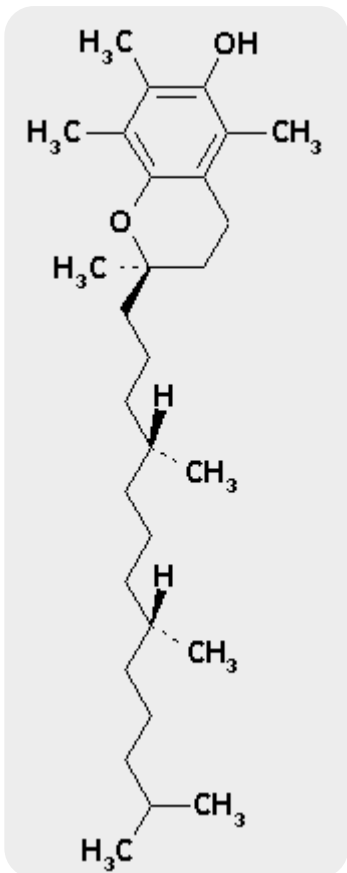


BHT
Butylated hydroxytoluene

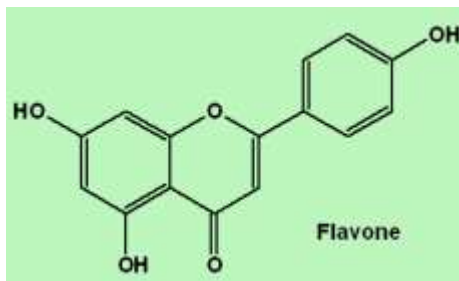


Φυσικά Αντιοξειδωτικά

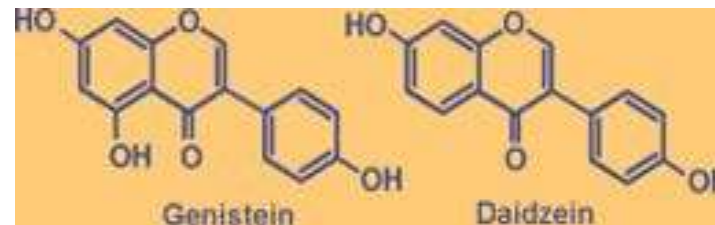
Φλαβονοειδή, πολυφαινόλες, τοκοφερόλη



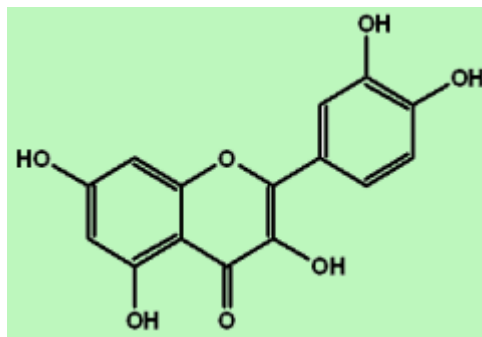
Tocopherol
(Vitamin E)



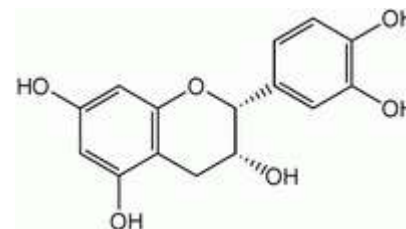
Flavone



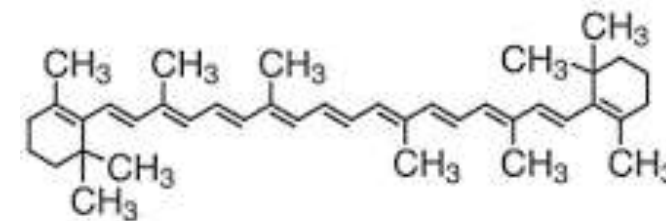
Isoflavone



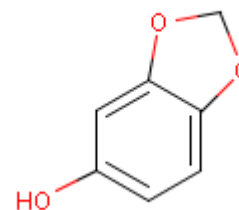
Quercetin



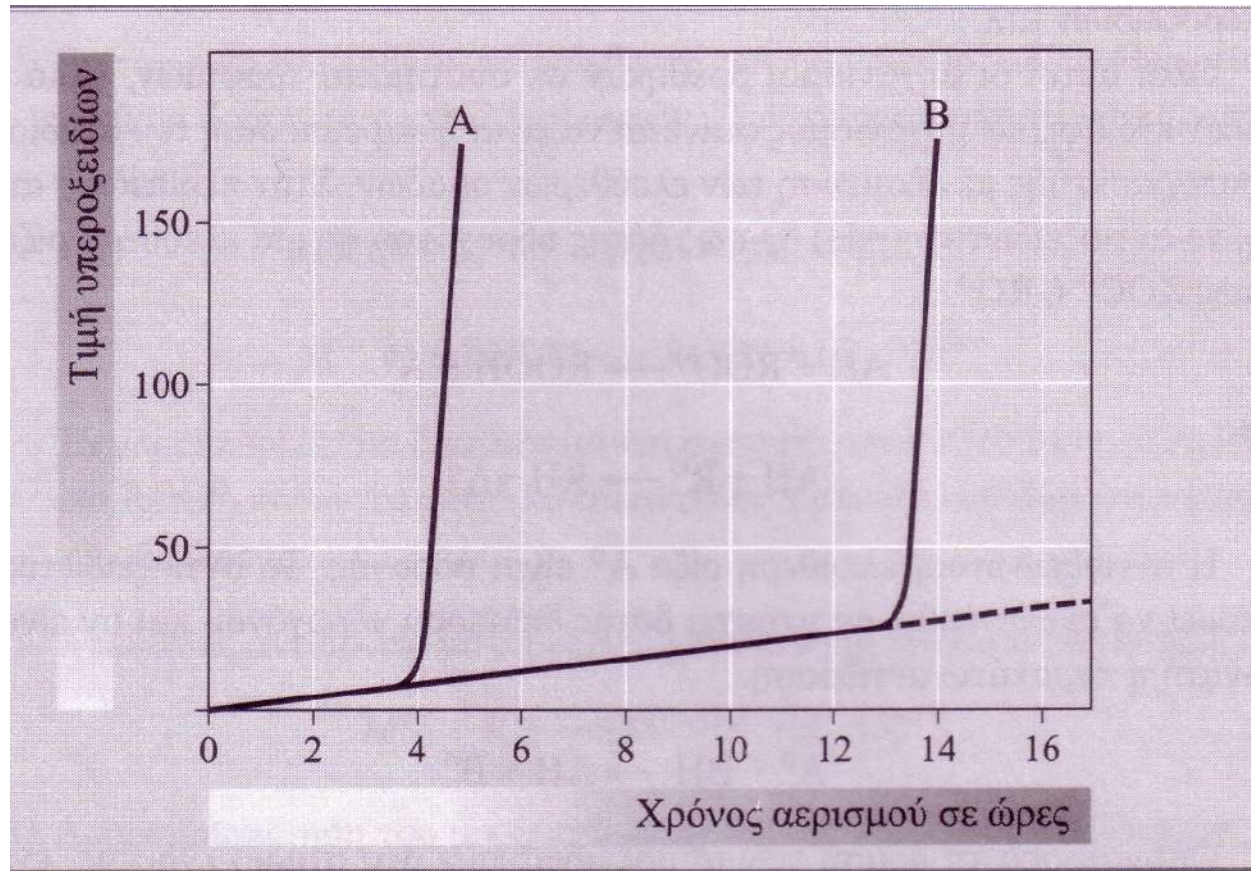
Epicatechin



β-carotene



Sesamol



Επίδραση αντιοξειδωτικού στο ρυθμό οξείδωσης λιπιδίου
(A) λίπος χωρίς αντιοξειδωτικό
(B) λίπος με αντιοξειδωτικό

Αντιοξειδωτικά – Επιθυμητές Ιδιότητες για Χρήση σε Τρόφιμα

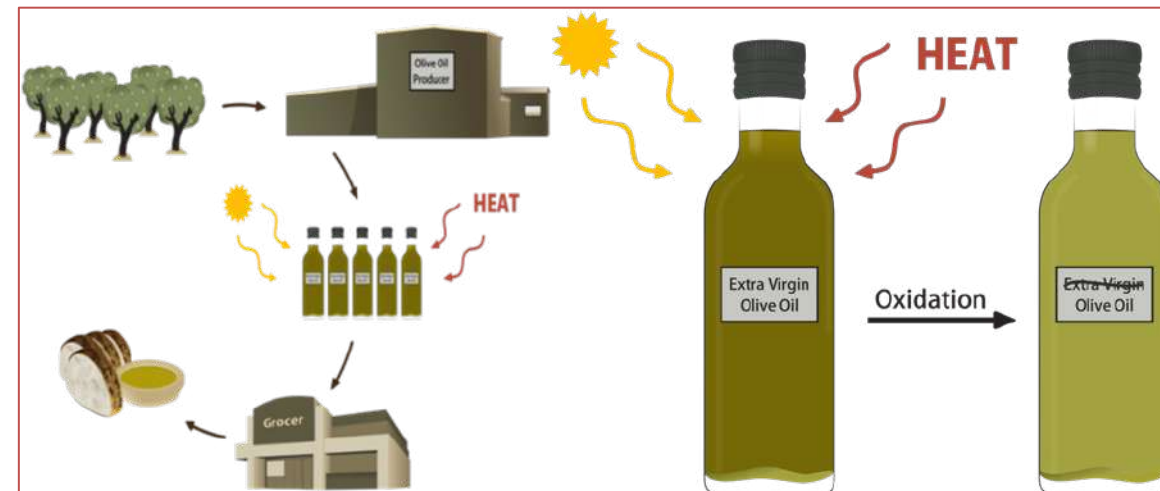
1. Να μην είναι τοξικό
2. Να μη μεταβάλλει το φυσικό άρωμα και χρώμα
3. Να είναι αποτελεσματικό σε μικρή συγκέντρωση
4. Να είναι λιποδιαλυτό
5. Να διατηρεί τη δραστηρότητά του καθόλη τη διάρκεια της επεξεργασίας και διατήρησης των τροφίμων
6. Να είναι εύκολη η παρασκευή και προμήθειά του
7. Να μην απορροφάται από το σώμα

Επίδραση της Οξείδωσης των Λιπιδίων στην Ποιότητα των Τροφίμων



Αλλαγές Δομής-Σύστασης

- Ανάπτυξη ανεπιθύμητων γεύσεων και οσμών (**off flavor**)
- Υγρασία, σύσταση, συνθήκες διατήρησης, τελικά προϊόντα οξείδωσης
- Αναστροφή γεύσης
- Επίδραση στο χρώμα (καροτενοειδή, Maillard σε παστά ψάρια)
- Επίδραση στη δομή
- Δημιουργία πλέγματος από αλληλοσυνδεόμενες πρωτεΐνες
- Σκληρότητα και ελαστικότητα κατεψυγμένων ψαριών



Επίδραση διαφόρων *κατεργασιών* των τροφίμων
στις λειτουργικές και θρεπτικές ιδιότητες των λιπιδίων



Επίδραση των *κατεργασιών* των τροφίμων
στις λειτουργικές και θρεπτικές ιδιότητες των λιπιδίων

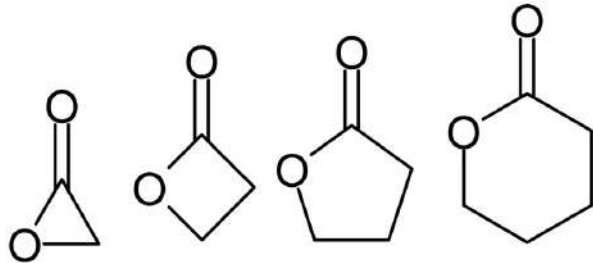
1. Θερμική κατεργασία
2. Ψύξη
3. Κατάψυξη
4. Αφυδάτωση
5. Ομογενοποίηση
6. Αποθήκευση λαχανικών

Θερμική Κατεργασία

Λίπη και έλαια

Χαρακτηριστικά θερμασμένων ελαίων

- Χαμηλές τιμές υπεροξειδίων τα οποία αποσυντίθενται γρήγορα
Προϊόντα αποσύνθεσης: λακτόνες, αλκοόλες, οξέα, εστέρες



λακτόνες: κυκλικοί εστέρες,
συμπύκνωση αλκοόλης και οξέως στο ίδιο μόριο

- **Επιθυμητή γεύση**, πιθανότατα χάρη στην εξαφάνιση των πτητικών προϊόντων αποικοδόμησης.
Τηγανητά: απόσταξη με υδρατμούς
- Πολυμερισμός ελαίων στο στάδιο *τερματισμού* της αυτοοξειδωσης, αύξηση ιξώδους
- Ελάττωση βαθμού ακορεστότητας. Πρώτα οξειδώνονται τα *πολυακόρεστα* λιπαρά οξέα
- Απελευθέρωση λιπαρών οξέων από το λίπος, ιδιαίτερα κατά το τηγάνισμα

Θερμική Κατεργασία

Παράγοντες που επηρεάζουν τις αλλαγές κατά το τηγάνισμα

- ➔ Θερμοκρασία, χρόνος, υπολείμματα μετάλλων
- ➔ Συσκευή τηγανίσματος: λόγος επιφάνειας/όγκου ελαίου

Συνεχής θέρμανση στους 170-200 °C παράγονται πτητικά και μη πτητικά προϊόντα, διμερή και πολυμερή, κυκλικά και μη τα οποία σε πολύ ψηλές συγκεντρώσεις είναι τοξικά σε πειραματόζωα

Έλεγχος υποβάθμισης γίνεται με τον προσδιορισμό των «ολικών πολικών συστατικών» (ΟΠΣ). Η περιεκτικότητα σε ΟΠΣ είναι 5-8 % πριν τη θέρμανση

Όταν τα ΟΠΣ φτάσουν το 27%, τα έλαια πρέπει να απορρίπτονται

Στην Ελλάδα απορρίπτονται στο 10-15%, αλλά δεν υπάρχουν αγορανομικές διατάξεις

Ελαιόλαδο

Ανθεκτικότητα στην οξείδωση κατά το τηγάνισμα: 10 % ΟΠΣ (σπορέλαια 10-15%)

Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα οξειδώνονται ευκολότερα

Θερμική Κατεργασία

Χαρακτηριστικά τηγανίσματος τροφίμων σε έλαια

Μεταφορά νερού

Το νερό στην τηγανιζόμενη τροφή μετακινείται από το κέντρο στην επιφάνεια και απομακρύνεται. Ο ρυθμός απώλειας νερού και η ευκολία μετανάστευσής του μέσω της τροφής καθορίζουν τα τελικά χαρακτηριστικά του τροφίμου.

Μεταφορά θερμότητας

Η εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια της τηγανιζόμενης τροφής απομακρύνει τη θερμότητα από την επιφάνεια και εμποδίζει την απανθράκωση της επιφάνειας. Η εξάτμιση του νερού σε ατμό απομακρύνει μεγάλο μέρος της θερμότητας από την διεπιφάνεια τροφίμου-λαδιού.

Απομάκρυνση θερμότητας

Όσο το νερό απομακρύνεται με επαρκή ρυθμό, η επιφάνεια του φαγητού δεν θα απανθρακωθεί. Το εσωτερικό νερό του φαγητού θα μεταφέρει επίσης θερμότητα από την επιφάνεια και προς το κέντρο.

Θερμική Κατεργασία

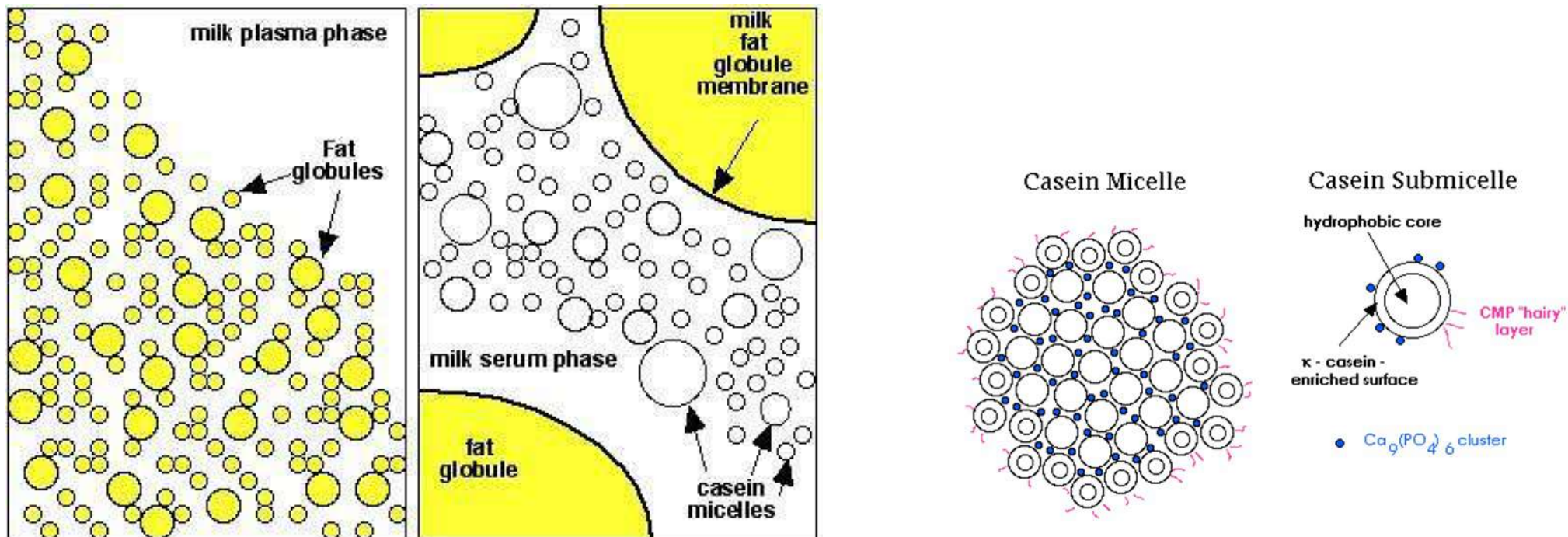
Συμπεριφορά των τροφίμων κατά το τηγάνισμα

- ❑ Απελευθέρωση νερού από το τρόφιμο στο έλαιο – επιτάχυνση της υδρόλυσης
- ❑ Δημιουργία στρώματος υδρατμών στην επιφάνεια του ελαίου που εμποδίζει την μεταφορά O_2 στο έλαιο
- ❑ Παραγωγή πτητικών συστατικών
- ❑ Προσρόφηση ελαίου στο τρόφιμο (35 % λίπος στα τσιπς)
- ❑ Απελευθέρωση ενδογενών λιπιδίων του τροφίμου

Κρέας

Τήξη του λίπους, διάρρηξη λιπωδών κυττάρων, διάσπαση σε πτητικά προϊόντα, Οσμή-γεύση μαγειρεμένου κρέατος

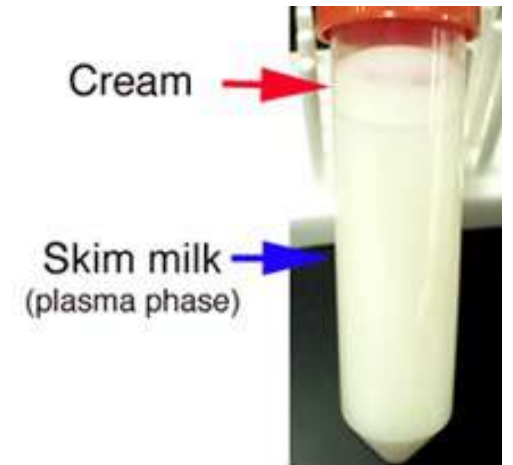
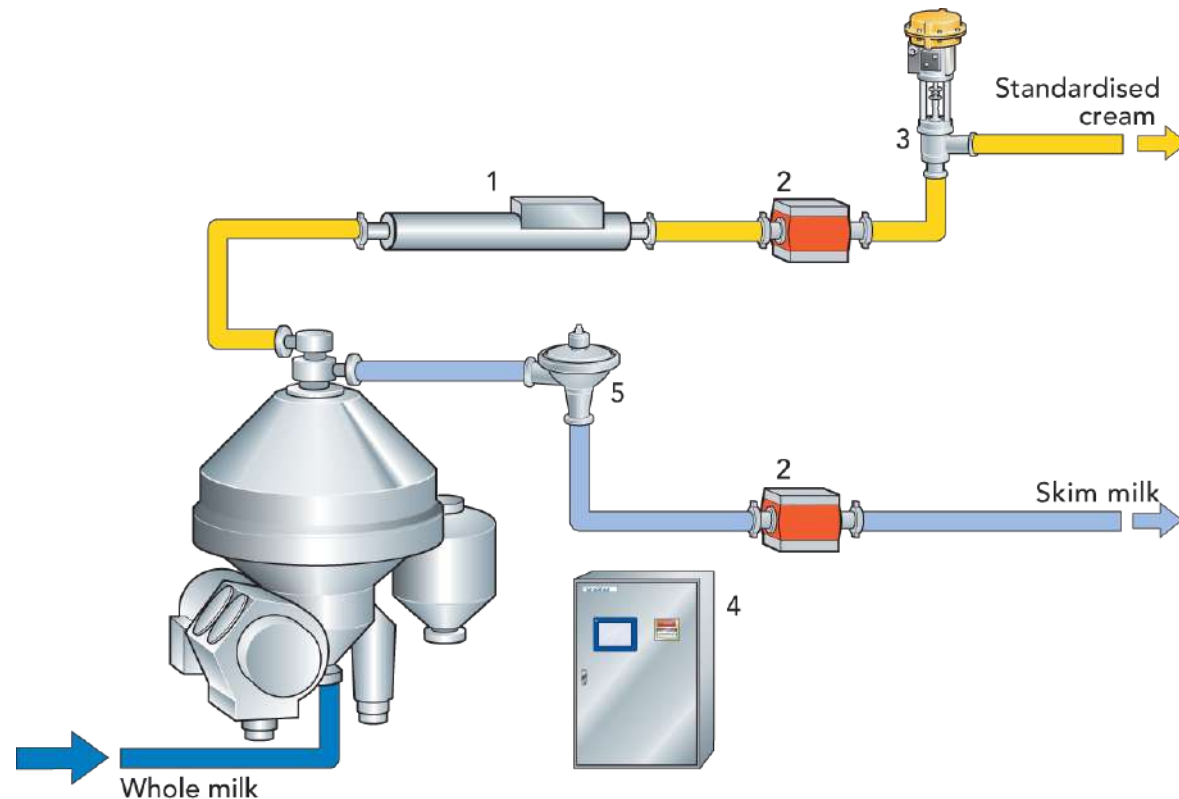
Δομή γάλακτος



Γαλάκτωμα σφαιριδίων λίπους και εναιώρημα μικκυλίων καζεΐνης (καζεΐνη, ασβέστιο, φωσφόρος) σε υδατική φάση που περιέχει λακτόζη, πρωτεΐνες ορού γάλακτος (β-λακτοσφαιρίνη, α-λακταλβουμίνη, αλβουμίνη βοείου ορού και ανοσοσφαιρίνες) και ορισμένα ιχνοστοιχεία

Αποκορύφωση

- Στο γάλα έχει σκοπό τον τεμαχισμό των λιποσφαιρίων, ώστε να μην συναθροίζονται και ανέρχονται στην επιφάνεια με μορφή κρέμας
- Επιτυγχάνεται με φυγοκέντρηση – παραγωγή άπαχου γάλακτος
- Αποβουτύρωση γάλακτος
- Βούτυρο
- Ξινόγαλα



Θερμική Κατεργασία

Γάλα

Μείωση αποκορυφωτικής ικανότητας εξαιτίας της αδρανοποίησης των ανοσοσφαιρινών

85-90°C για 15-20sec – απομάκρυνση συμπλόκου φωσφολιπιδίων & συστατικών μεμβράνης λιποσφαιρίων

100 °C - παράγονται λακτόνες και μεθυλοκετόνες (δριμεία γεύση)

120 °C - ενδοεστεροποίηση τριγλυκεριδίων

Ελάττωση αυτοοξειδωσης από την απελευθέρωση σουλφυδρυλικών ομάδων που δρουν ως αντιοξειδωτικά

Ψύξη

Κρέας

Θερμοκρασίες υψηλότερες από το σημείο πήξης (-1 έως +1 °C)

Έκθεση στο φώς, O₃, UV επιταχύνουν την οξείδωση των λιπιδίων → υποβάθμιση γεύσης

Συνθήκες συντήρησης – Απόλυτα σκοτεινό περιβάλλον, αντιοξειδωτικά: τοκοφερόλη (βιταμίνη E), γλουταμινικό Na

Γάλα

3-4°C → αλλαγές στις ιδιότητες της λιπαρής φάσης: κρυστάλλωση των υγρών τριγλυκεριδίων, ρήξη της μεμβράνης τους, άνοδος του ελεύθερου λίπους στην επιφάνεια, συσσωμάτωση, κορύφωση

Ενεργοποίηση λιποπρωτεϊνικής λιπάσης → γρήγορη τάγγιση του λίπους

⊕ 10°C – 30°C (διάρρηξη λιποσφαιριδίων) – 3°C

Η ψύξη ευνοεί την οξείδωση του λίπους: περιορίζεται η ανάπτυξη μικροοργανισμών, περισσότερο διαθέσιμο O₂ για οξειδώσεις

Κατάψυξη

Κρέας

Θερμοκρασίες $< -10^{\circ}\text{C}$. Οξείδωση του λίπους και από λιπολυτικά ένζυμα \rightarrow τάγγιση
Η σύνθεση των λιπαρών οξέων του λίπους επηρεάζει κατά πολύ την οξείδωσή τους.
Κρέατα με μικρό αριθμό ακόρεστων λιπαρών οξέων (βοδινό) είναι πιο σταθερά στην οξείδωση από κρέατα με πολλά ακόρεστα λιπαρά οξέα (ψάρια, χοιρινό).

Διάρκεια ωρίμανσης (απώλεια αντιοξειδωτικών ουσιών), παρουσία αιμοσφαιρίνης (περιεκτικότητα αίματος), συσκευασία (αεροστεγής), έκθεση στο φως, τεμαχισμός (επαφή λίπους με αιμοσφαιρίνη όπως στον κιμά), θερμοκρασία διατήρησης.

Γάλα

Αποσταθεροποίηση του γαλακτώματος του λίπους, αύξηση ελαιώδους υφής
Ζεστός καφές



Αφυδάτωση

Στα αφυδατωμένα τρόφιμα (ενεργότητα $a_w < 0.3$) η οξείδωση λιπιδίων είναι ταχύτερη.

Κρέας

Υψηλός ακόρεστος χαρακτήρας χοιρινού & λιπαρών ψαριών

☞ Αντιοξειδωτικά

Διατήρηση αφυδατωμένων μαγειρεμένων αφυδατωμένων και όχι ωμών μυικών ιστών
(διατηρείται η λιποξυγονάση)

Γάλα

Οξείδωση από λιπάση, ταγγή γεύση

Γεύση ψαριού από οξείδωση ακόρεστων συστατικών παρουσία υγρασίας και αζωτούχων ενώσεων

Στεαρώδης γεύση, περισσότερο στο πλήρες γάλα παρά στο άπαχο

Οξείδωση λόγω της μεγάλης επιφάνειας που παρουσιάζουν οι κόκκοι

Ομογενοποίηση

Γάλα

Τεμαχισμός λιποσφαιρίων ώστε να μην ανέρχονται στην επιφάνεια

Επηρεάζεται η σύσταση των λιποσφαιρίων → συμπεριφορά ως μεγάλα καζεϊνικά μικκύλια

Μειώνεται η προδιάθεση του λίπους για αυτοοξείδωση σε ομογενοποιημένο γάλα

Αυξάνει η τάγγιση λόγω λιπόλυσης



Μη ομογενοποιημένο γάλα
Σχηματισμός κρούστας



Γιαούρτι – Αποβολή ορού

Αλλαγές στα λιπίδια λαχανικών

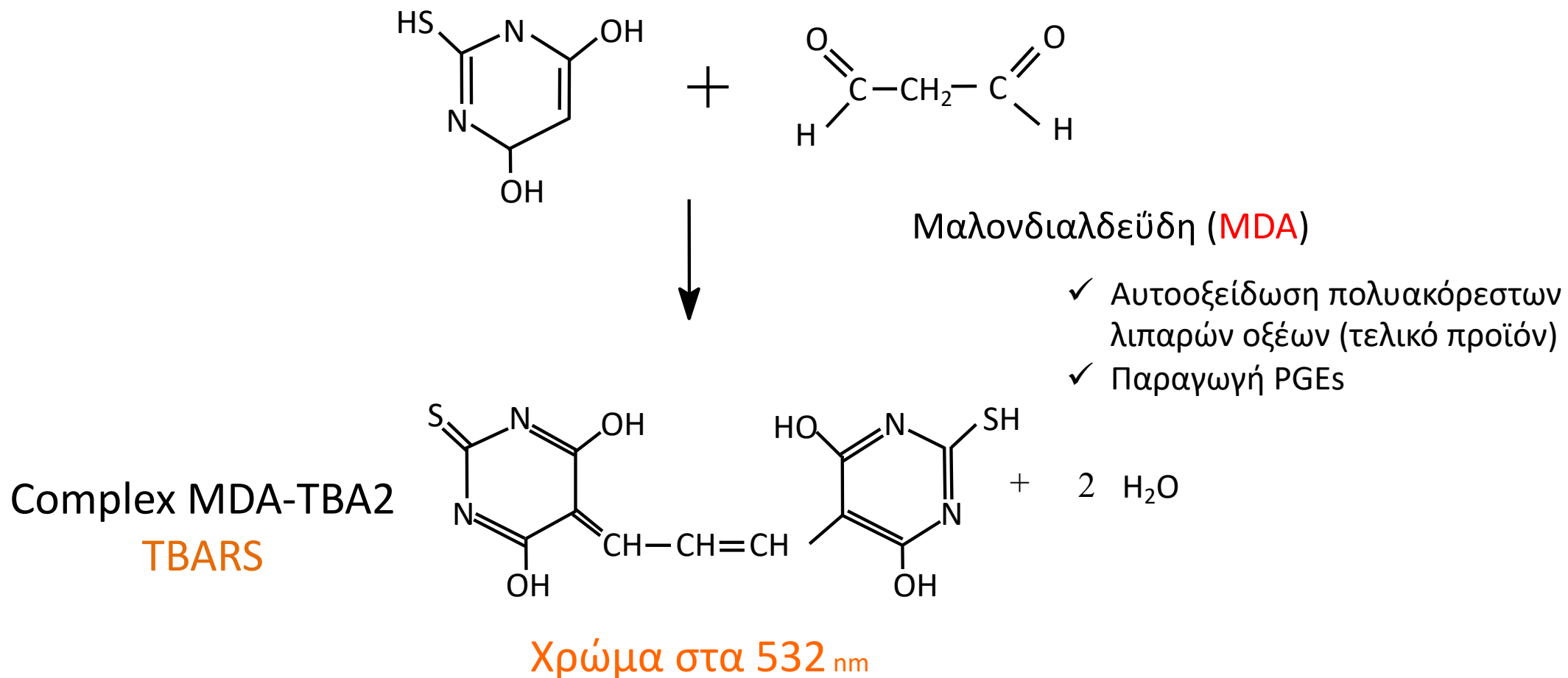
- ↪ Κατά την αποθήκευση
- ↪ Μικρές ποσότητες λιπιδίων
- ↪ Ανεπιθύμητες γεύσεις και οσμές
- ↪ Πατάτα, γλυκοπατάτα

Μέθοδοι Μέτρησης Οξειδωσης Λιπιδίων

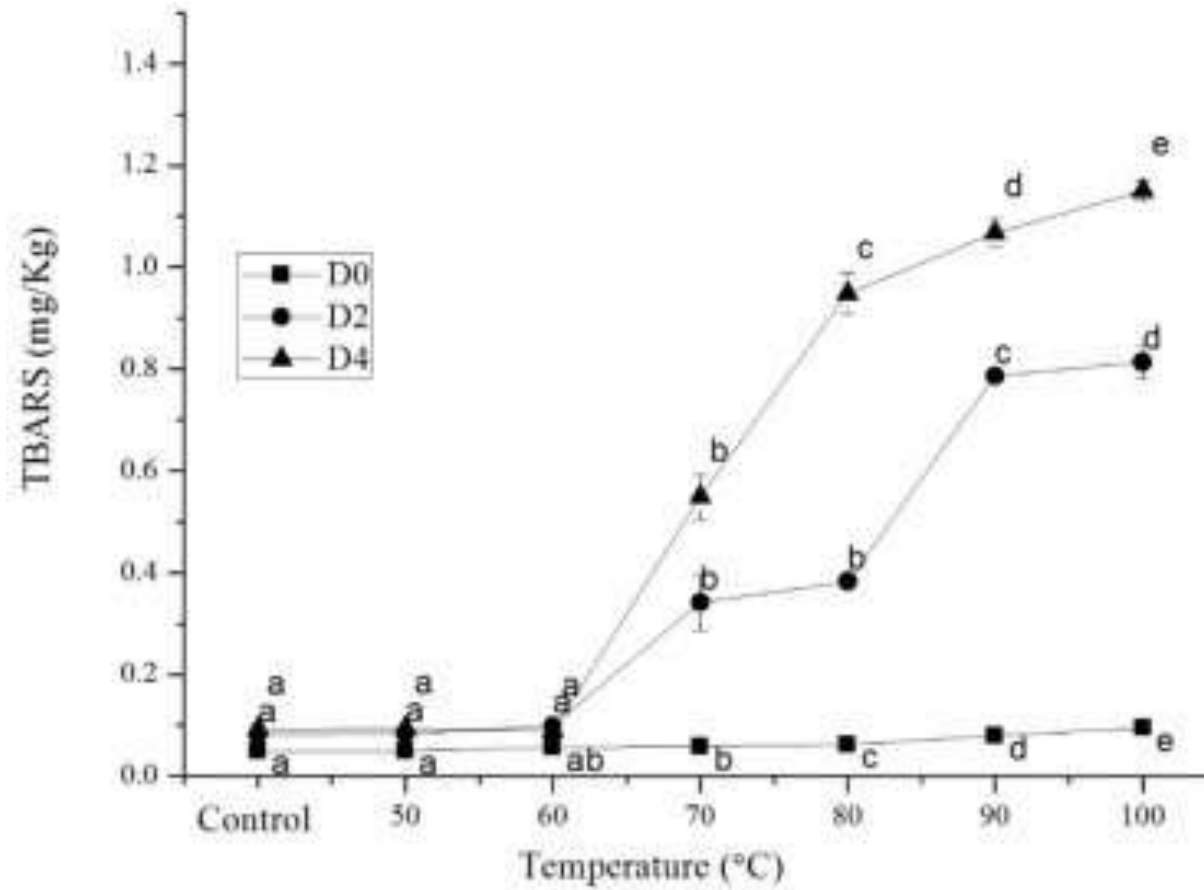
- Άμεση μέτρηση των ελεύθερων ριζών
 - Συντονισμός ηλεκτρονιακού σπιν (ESR)
 - Μέθοδοι παγίδευσης σπιν (EPR) ηλεκτρονικός παραμαγνητικός συντονισμός
- Έμμεση προσέγγιση: μετρά δείκτες ελεύθερων ριζών
 - Ουσίες που αντιδρούν με θειοβαρβιτουρικό οξύ (TBARS)
 - Χρωματογραφία λιπιδίων: Φθορίζουσες ενώσεις
 - Αέρια χρωματογραφία: Αέριες ενώσεις
 - Συζευγμένα διένια (CD)
 - Τιμή υπεροξειδίου
 - Τιμές ιωδίου

Η **μαλονδιαλδεΐδη** χρησιμοποιείται ως δείκτης οξείδωσης μέσω ελευθέρων ριζών (δείκτης οξειδωτικού στρες).

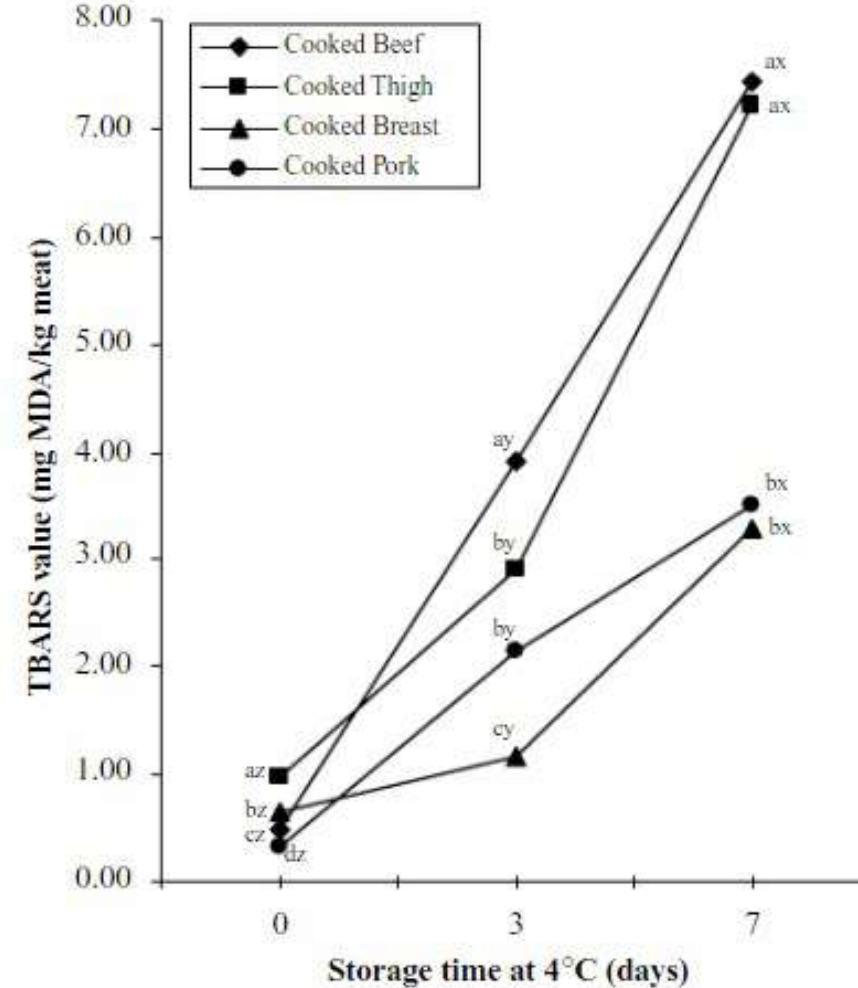
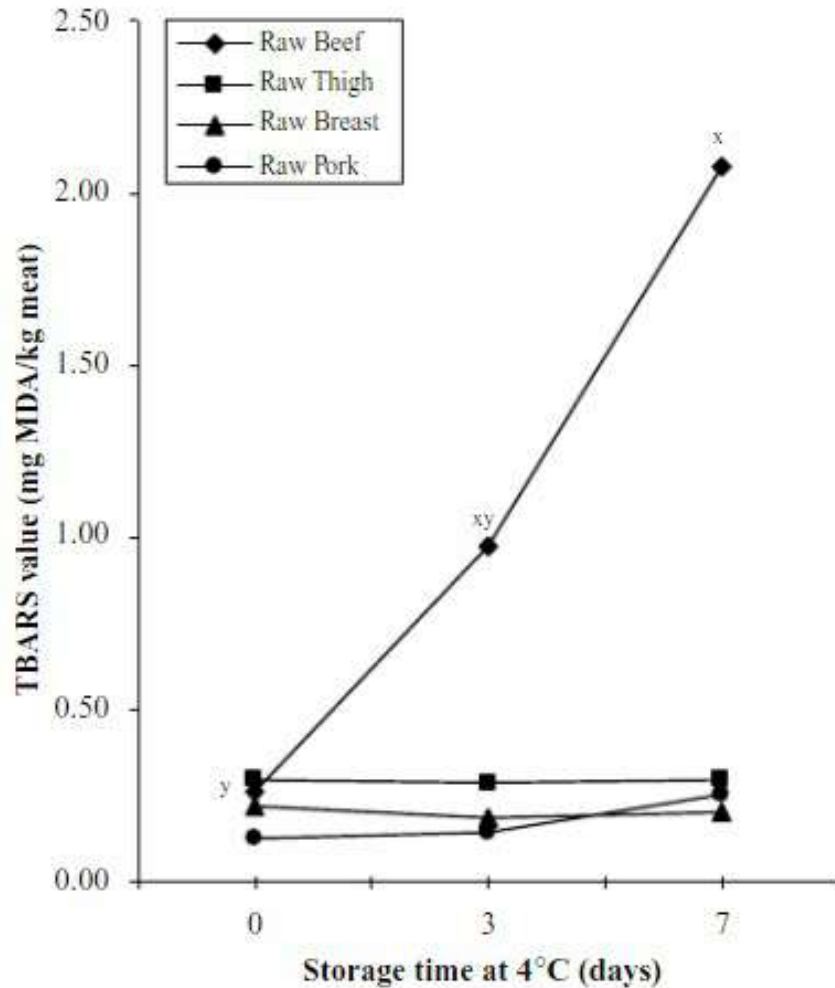
Η ποσότητα μαλονδιαλδεΐδης μπορεί να υπολογιστεί κατόπιν αντίδρασης με θειοβαρβιτουρικό οξύ (TBA) για τον προσδιορισμό της τάγγισης.



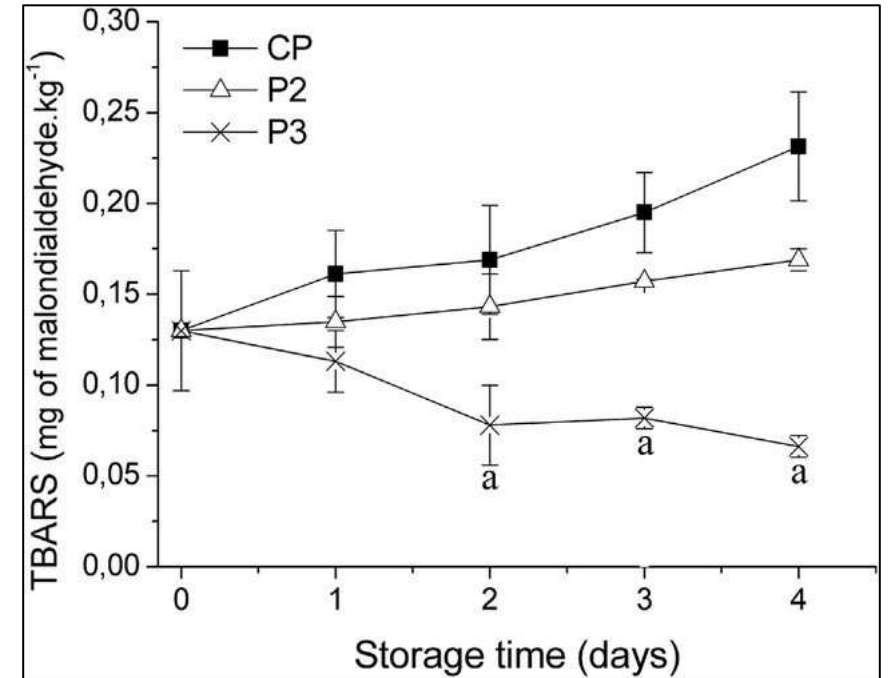
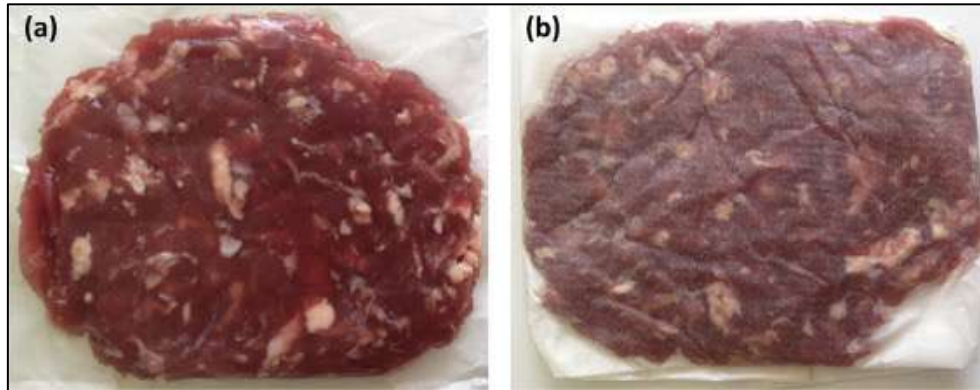
TBARS ωμού και μαγειρεμένου κρέατος



TBARS ωμού και μαγειρεμένου κρέατος



Ανάπτυξη 'έξυπνων' συσκευασιών τροφίμων για συντήρηση κρέατος



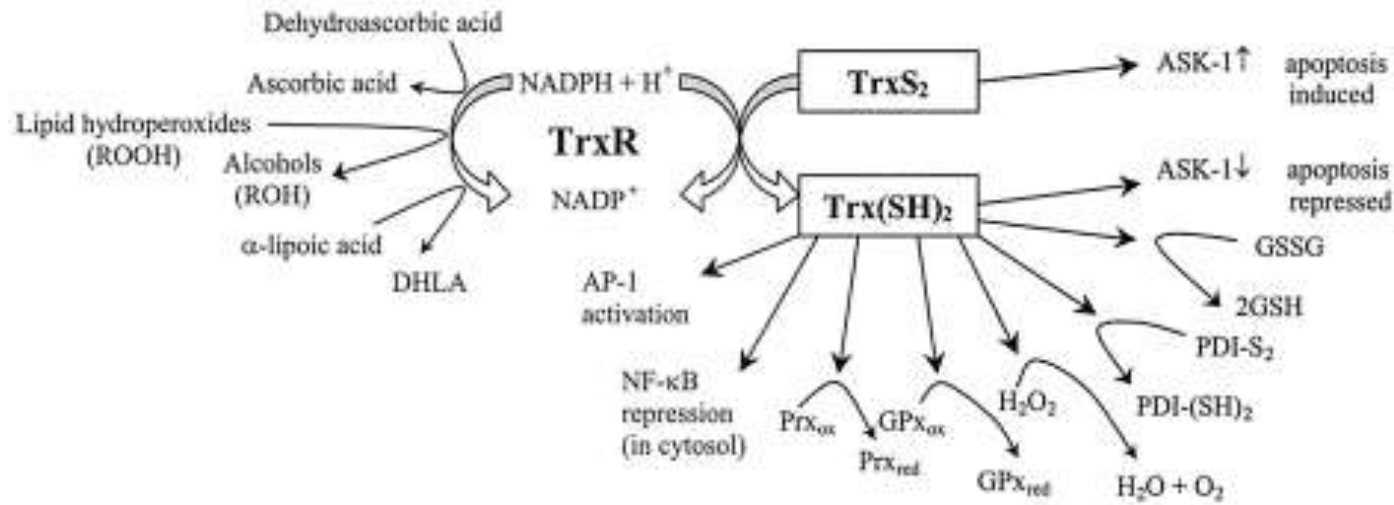
- ↪ Αντιμικροβιακές ιδιότητες
- ↪ Αναστολή οξειδωτικών διεργασιών
- ↪ Μεγαλύτερη συγκέντρωση κιτρικού οξέος → παρεμπόδιση ανάπτυξης ανεπιθύμητου καφέ χρώματος στο κρέας

CP: control paper w/o coating
P2: 0.5% citric acid coating
P3: 1% citric acid coating

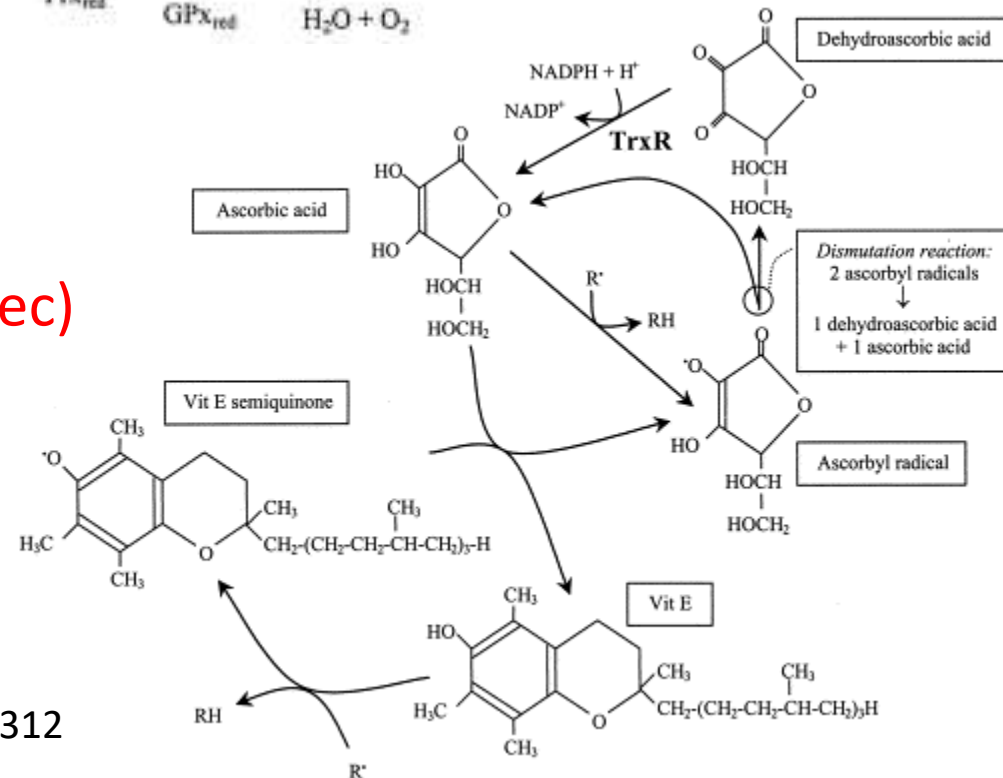
Αντιοξειδωτικοί μηχανισμοί του κυττάρου



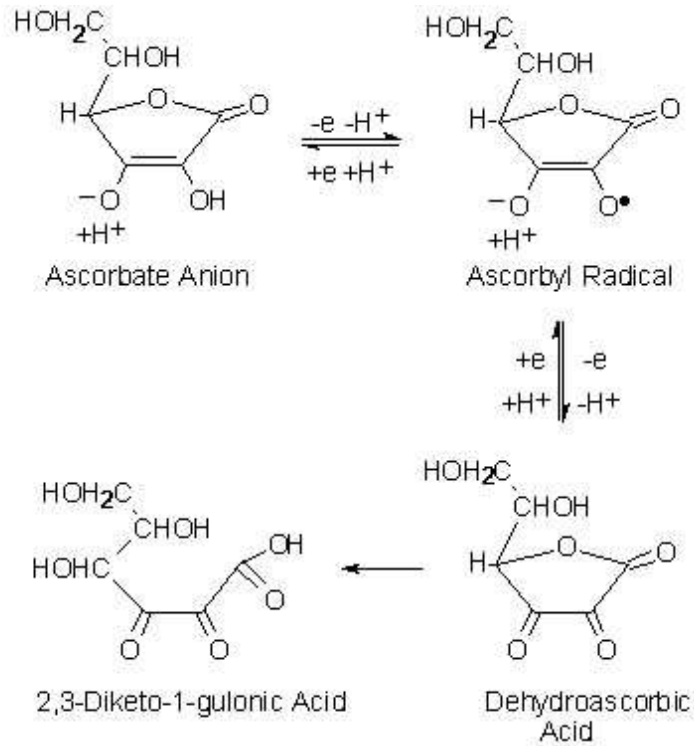
Το σύστημα θειορεδοξίνης στα θηλαστικά ανάγει συνεχώς τα ενδογενή αντιοξειδωτικά χαμηλού μοριακού βάρους



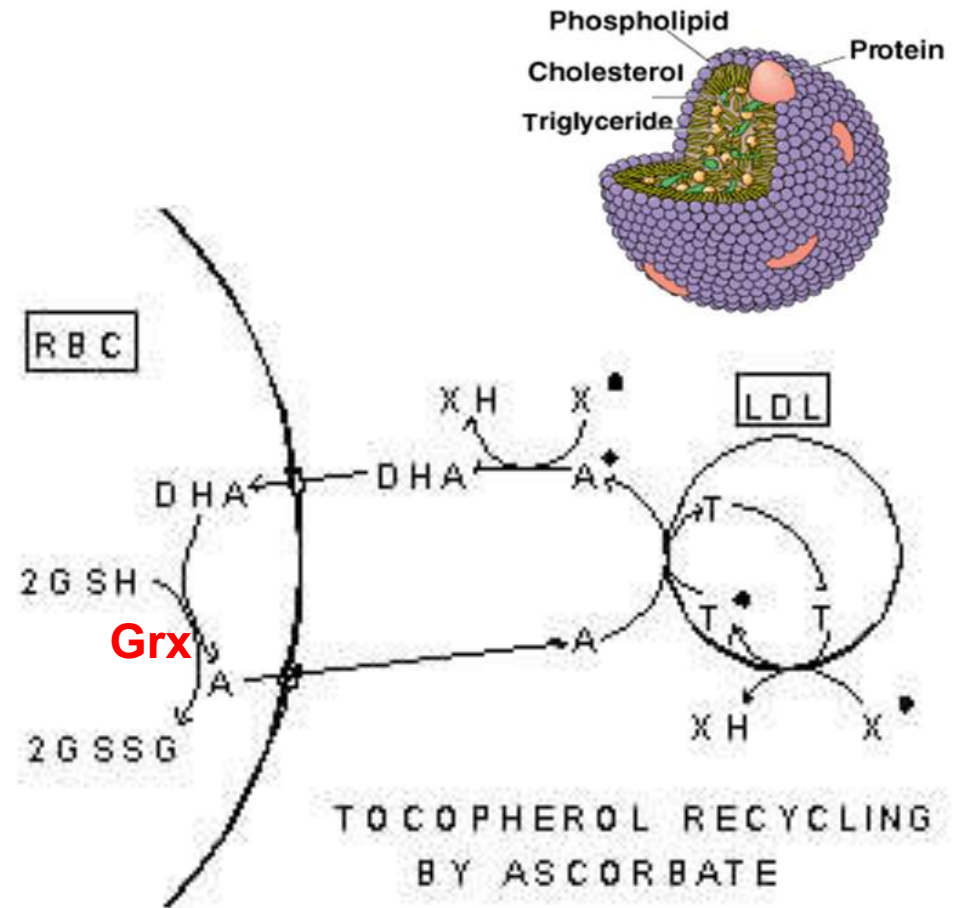
Η TrxR (αναγωγία) έχει ευρύ φάσμα υποστρωμάτων επειδή περιέχει σεληνιοκυστεΐνη (Sec)



Συνεργασία συστημάτων θειορεδοξίνης και γλουταρεδοξίνης στην αναγωγή οξειδωμένου LDL του πλάσματος του αίματος μέσω συνεργασίας ασκορβικού και τοκοφερόλης



Αναγωγή οξειδωμένης βιταμίνης E από ασκοβικό οξύ *in vivo*



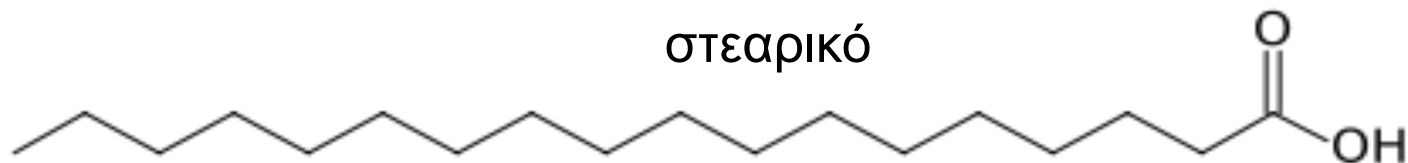
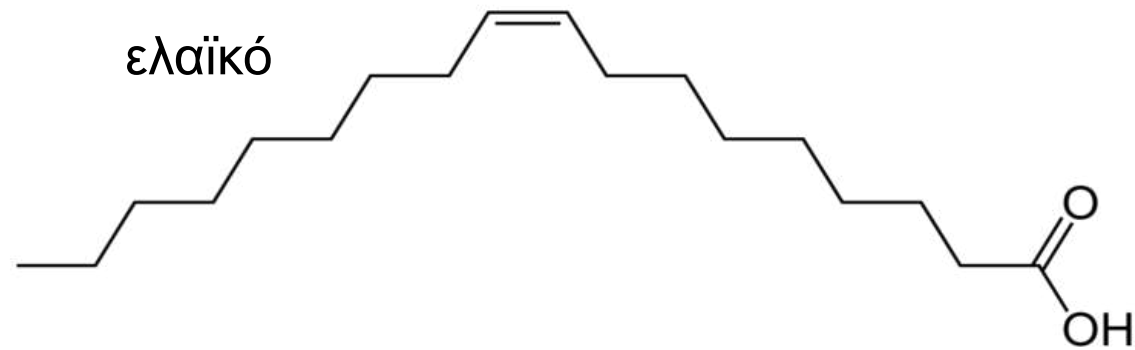
Φυσικές Αντιτοξικές Ιδιότητες Τροφίμων

Παράδειγμα της επίπτωσης των μονοακόρεστων
στον κυτταρικό μεταβολισμό



Επίδραση μονοακόρεστου ελαϊκού οξέος στην απόπτωση ηπατικών κυττάρων

Προσφέρει προστασία από κορεσμένα λίπη

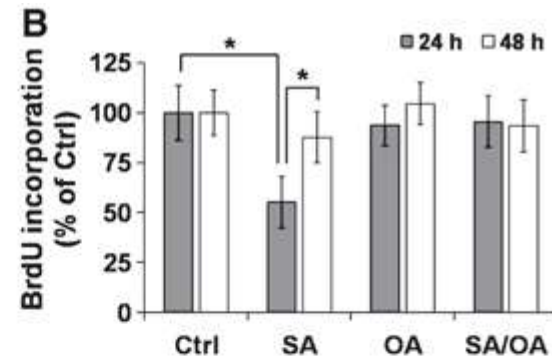
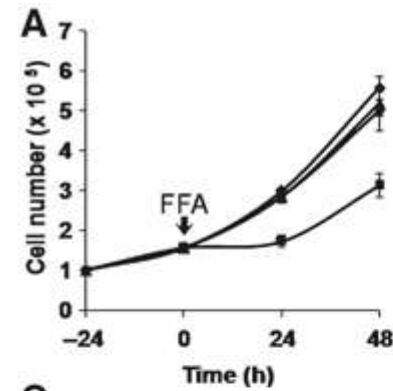


Take home messages

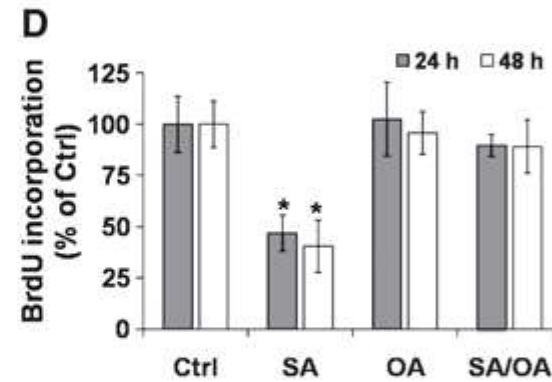
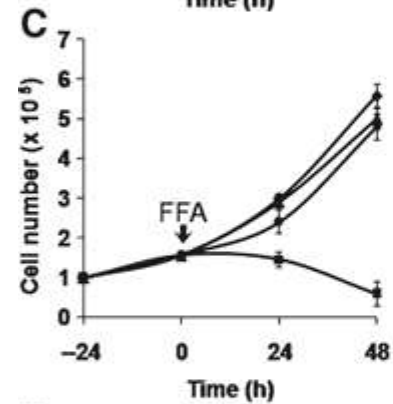
Η έκθεση διαφόρων κυτταρικών τύπων, συμπεριλαμβανομένων των ηπατοκυττάρων, σε **κορεσμένα λιπαρά οξέα μακριάς αλυσίδας (SFAs)** οδήγησε σε:

1. Αυξημένη έκφραση των προφλεγμονωδών κυτοκινών
 2. Αναστολή της σηματοδότησης της ινσουλίνης
 3. Επαγωγή στρες ενδοπλασματικού δικτύου (ER) και προαγωγή κυτταρικού θανάτου, κυρίως με απόπτωση
- ➔ Τα αντίστοιχα ακόρεστα λιπαρά οξέα (UFAs) δεν ήταν τοξικά στις ίδιες συγκεντρώσεις και, επιπλέον, η παρουσία τους προστατεύει τα κύτταρα από τα αποτελέσματα των SFA.

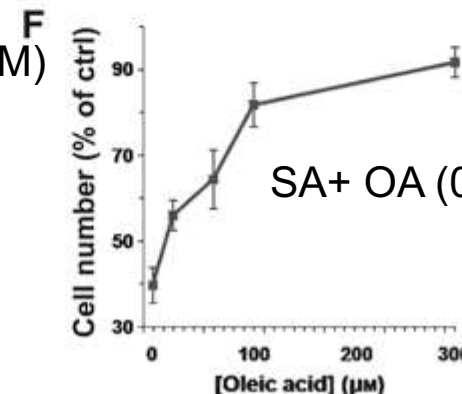
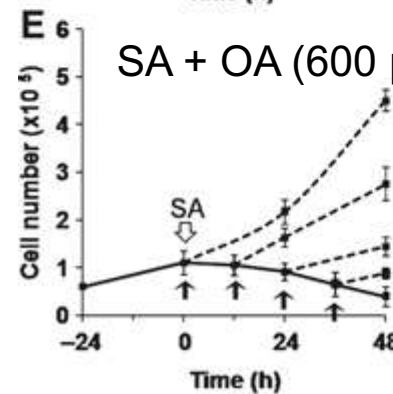
Το ελαϊκό οξύ (OA) αναστέλλει την κυτταροτοξικότητα που προκαλείται από το στεαρικό οξύ (SA)

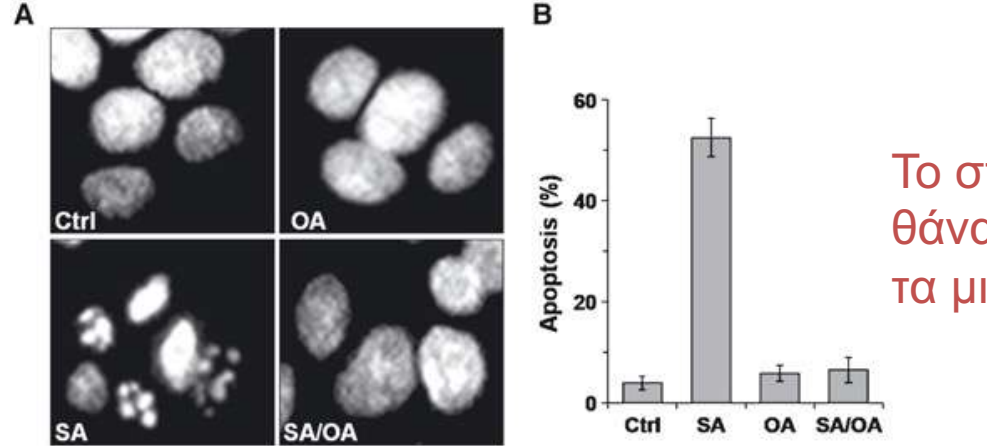


300 μ M

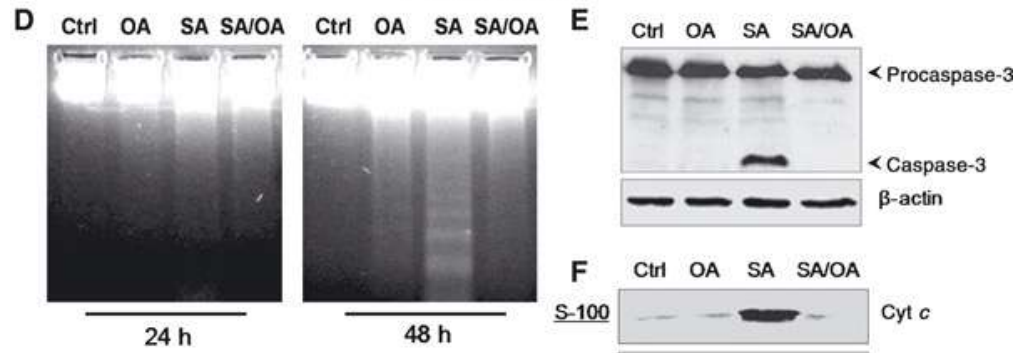
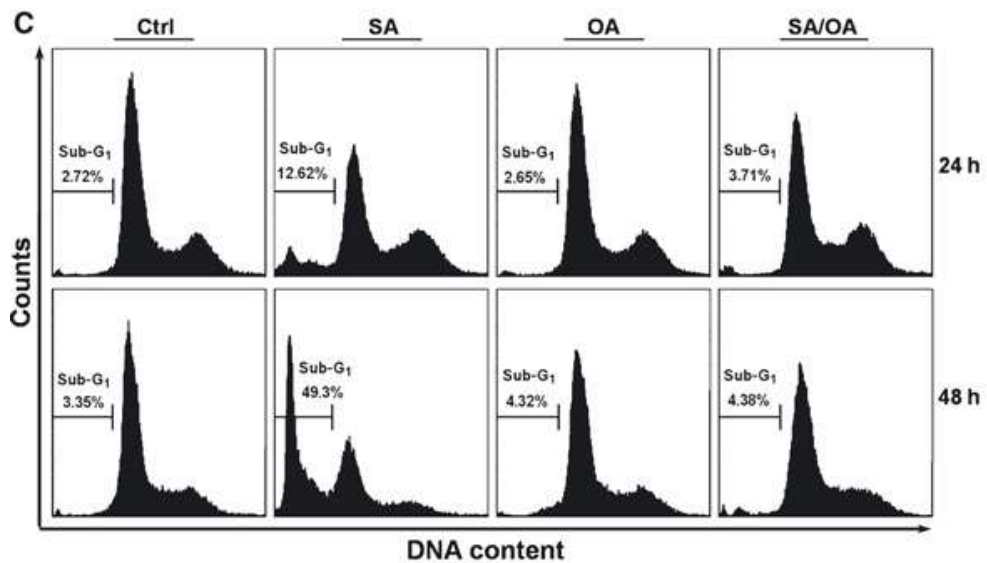


600 μ M

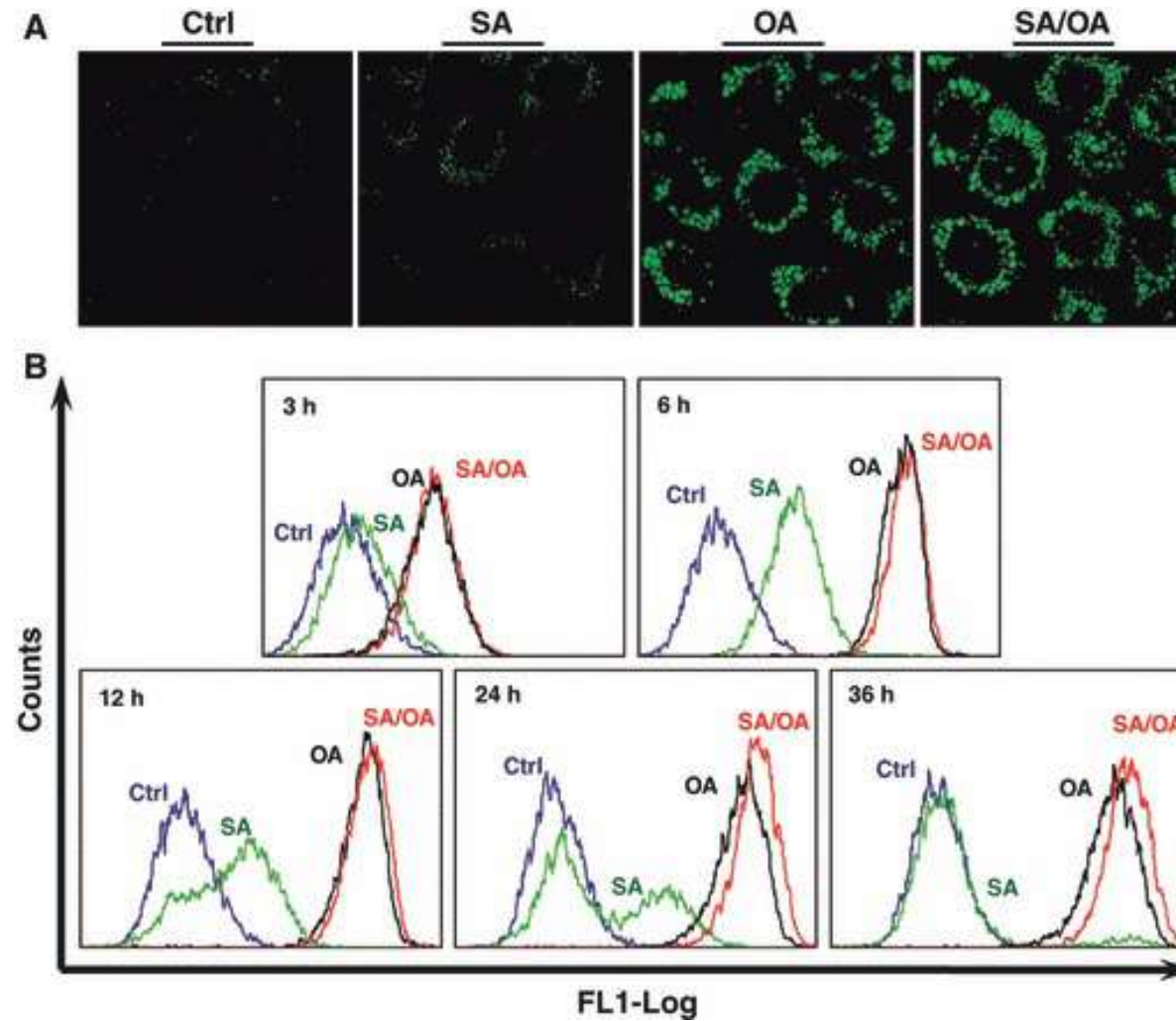




Το στεαρικό οξύ (SA) προκαλεί κυτταρικό θάνατο μέσω απόπτωσης επαγόμενης από τα μιτοχόνδρια



Το στεαρικό οξύ (SA) διακόπτει τη συσσώρευση σταγονιδίων λιπιδίων



Το στεαρικό οξύ πρέπει να ενεργοποιηθεί (με CoA) για να είναι τοξικό

