



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ,  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ  
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



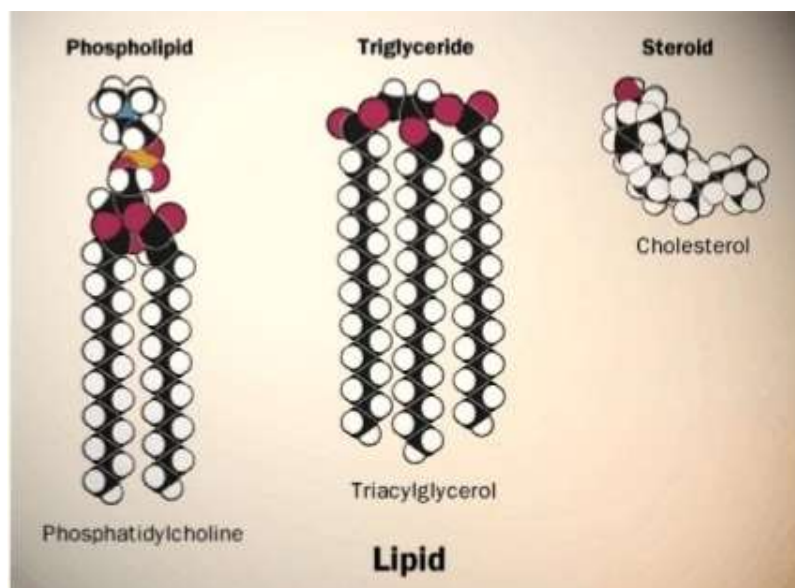
<http://agriculturaltechnology.teithe.gr/>

<http://www.ap.teithe.gr/>

ΜΙΧΑΛΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΘΕΜΑ: «ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΥΣΙΩΝ»



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΠΑΜΠΙΔΗΣ  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2017



## Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος.....	5
Περίληψη.....	7
Abstract .....	9
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΛΙΠΙΔΙΑ.....</b>	<b>11</b>
1.1.Γενικά για τα λιπίδια .....	11
1.2. Ρόλοι των λιπιδίων .....	18
1.3. Τα λίπη ως συστατικά του ζωικού σώματος.....	20
1.4. Επίδραση της τροφής στη φύση των λιπών που ο οργανισμός συνθέτει για λογαριασμό του.....	21
1.5. Οι λιπίδες στη διατροφή .....	22
1.6. Ανάγκες σε λιπίδες .....	23
1.7. Η χρήση των λιπών για τη διατροφή θηλαστικών .....	24
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΨΗ.....</b>	<b>28</b>
2.1. Εισαγωγή .....	28
2.2. Μεταβολισμός και πέψη λιπών και λιπαρών οξέων στην αγελάδα γαλακτοπαραγωγής .....	28
2.3. Πέψη και μεταβολισμός των λιπαρών ουσιών.....	29
2.4. Η διαδικασία της πέψης.....	29
2.5. Πέψη της τροφής στα μονογαστικά ζώα .....	30
2.6. Πέψη της τροφής στα μηρυκαστικά ζώα.....	31
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ .....</b>	<b>32</b>
3.1.Διάμεσος μεταβολισμός.....	32
3.2.Σκοπός του μεταβολισμού .....	34
3.3.Μεταβολισμός λιπαρών ουσιών.....	34
3.4.Περαιτέρω τύχη των προϊόντων υδρόλυσης των λιπών .....	37
3.5. Μεταβολισμός των λιπαρών οξέων.....	39
3.6.Παράγωγή κετονοσωμάτων (κετογένεση ή κετονογένεση) .....	40
3.7. Οξείδωση των ακόρεστων και των διακλαδισμένων λιπαρών οξέων .....	41
3.8. Βιοσύνθεση κορεσμένων λιπαρών οξέων.....	41
3.9. Εξωμιτοχονδριακό σύστημα για την εκ νέου (de novo) βιοσύνθεση λιπαρών οξέων (Λιπογένεση).....	42
3.10.Μιτοχονδριακό σύστημα βιοσύνθεσης λιπαρών οξέων .....	43
3.11. Μικροσωμικό σύστημα επιμήκυνσης της ανθρακικής αλυσίδας των λιπαρών οξέων .....	43
3.12. Μεταβολισμός ακόρεστων λιπαρών οξέων .....	44
3.13. Βιοσύνθεση μονο-ακόρεστων λιπαρών οξέων .....	44
3.14. Βιοσύνθεση πολύ-ακόρεστων λιπαρών οξέων-απαραίτητα λιπαρά οξέα .....	44
3.15.Βιοσύνθεση λιπών .....	44
3.16. Βιοσύνθεση σύνθετων λιπών .....	45
3.17. Μεταβολισμός Χοληστερόλης.....	46
3.18. Καταβολισμός των λιπαρών οξέων .....	47
Συμπεράσματα .....	49
Βιβλιογραφία .....	51

Παράρτημα .....	53
Εικόνα 1: Επιμήκυνση της ανθρακικής αλυσίδας των λιπαρών οξέων κατά το μιτοχονδριακό σύστημα. ....	53
Εικόνα 2: Σχηματική παράσταση μεταβολισμού χοληστερόλης.....	53
Εικόνα 3: Σχηματική αναπαράσταση της πέψης των λιπιδίων.....	54
Εικόνα 4: Οξείδωση λιπαρών οξέων και σχηματισμός υπεροξειδίων του υδρογόνου. ....	54
Εικόνα 5: Συνολική άποψη του μεταβολισμού των λιπών σε επίπεδο ζωικού οργανισμού. ....	55
Εικόνα 6: Σύνθεση λιπαρού οξέος (από φυσιολογία Θρέψεως Π. Καλαϊσάκη, 1981).....	55

## Πρόλογος

Τα λιπίδια που είναι διάφορες ομάδες οργανικών ενώσεων αποτελούν μια αξιόλογη κατηγορία βασικών θρεπτικών συστατικών των τροφίμων. Συναντώνται σε μεγάλη ποσότητα και ποικιλία ενώσεων τόσο στο ζωικό βασίλειο όσο και στο φυτικό και οι λειτουργίες που επιτελούν παίζουν σημαντικό ρόλο στην υγεία αλλά και στην αποδοτικότητα των ζώων. Η πτυχιακή διατριβή αυτή διενεργήθηκε με σκοπό να αναφερθούν πληροφορίες που σχετίζονται με τα λίπη και το μεταβολισμό τους καθώς αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι στη διάρκεια της ζωής των ζώων και συνδέονται άμεσα και με την διατροφή του ανθρώπου. Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύονται τα λιπίδια και περαιτέρω πληροφορίες που έχουν σχέση με αυτά τα θρεπτικά συστατικά που θα μπορούσαν να ληφθούν μέσα από ένα σωστό σιτηρέσιο. Γίνεται παράλληλα, μια εκτενέστερη ανάλυση των λιπιδίων καθώς χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες και διαθέτουν συγκεκριμένες ιδιότητες. Επιπροσθέτως, αναλύεται και ο ρόλος που έχουν τα λιπίδια στην διατροφή των θηλαστικών. Στην δεύτερη ενότητα παρουσιάζεται η ανάλυση της διαδικασίας της πέψης, καθώς αποτελεί μια πολύ αξιοσημείωτη διαδικασία που συνδέεται άμεσα με το μεταβολισμό. Στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η ολοκλήρωση την πτυχιακής εργασίας με μια σχετική ανάλυση μερικών σταδίων του μεταβολισμού των λιπιδίων, μέσω του οποίου παράγονται πολύ σημαντικές ενώσεις όπως αποτελούν τα λιπαρά οξέα. Η ανάλυση των λιπαρών οξέων είναι υψίστης σημασίας τόσο για τα ζώα όσο και για τον άνθρωπο καθώς είναι ουσίες που δεν μπορούν να συντεθούν από το ζωικό οργανισμό και έτσι πρέπει να παρέχονται σε αυτόν μέσω της τροφής. Αναλύονται επίσης, και ορισμένες λειτουργίες και αντιδράσεις που λαμβάνουν μέρος κατά τη διαδικασία του μεταβολισμού.

Ειρήνη Μιχαλοπούλου  
Δεκέμβριος 2017



## Περίληψη

Μιχαλοπούλου, Ε., 2017. Μεταβολισμός λιπαρών ουσιών. Πτυχιακή Διατριβή, Κατεύθυνση Ζωικής Παραγωγής, Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη, σελ. 1–55.

Όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί είναι απαραίτητο να λαμβάνουν θρεπτικά συστατικά για να ικανοποιήσουν τις απαραίτητες βιολογικές τους ανάγκες οι οποίες σχετίζονται με τις διαδικασίες ανάπτυξης και αναπαραγωγής. Παράλληλα, τα θρεπτικά συστατικά είναι απαραίτητα στη διατροφή των ζώων προκειμένου να ικανοποιήσουν τις διάφορες διατροφικές τους ανάγκες. Εάν τα ζώα δεν λαμβάνουν τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά, ο ρυθμός ανάπτυξης τους και η φυσική τους κατάσταση επηρεάζονται. Επίσης, πολύ σημαντική είναι η λήψη της απαραίτητης ενέργειας ώστε να έχουν το σωστό βάρος, να διατηρήσουν τη θερμοκρασία του σώματος τους, να αναπτυχθούν σκελετικά και να μην παρουσιάσουν θρεπτικές ανεπάρκειες οι οποίες είναι δυνατόν να δημιουργήσουν προβλήματα σημαντικά στην υγεία τους.

Τα λιπίδια, που αποτελούν μια σημαντική κατηγορία θρεπτικών συστατικών, είναι μια ομάδα ενώσεων που μπορούν να βρεθούν τόσο στους φυτικούς όσο και στους ζωικούς ιστούς. Γενικά, διακρίνονται σε 3 βασικές κατηγορίες που είναι τα απλά λιπίδια, τα σύνθετα και τα παράγωγα λιπιδίων. Τα λίπη είναι αδιάλυτα στο νερό και πρέπει να συντηρούνται κατάλληλα προκειμένου να μην υποστούν διάφορες αλλοιώσεις που μπορούν να προκληθούν από διάφορους παράγοντες όπως η θερμοκρασία, το φως, το οξυγόνο κ.α.

Τα λιπαρά οξέα που αποτελούν συστατικά των λιπών, είναι πολύ σημαντικά για τον άνθρωπο και τα ζώα. Τα απαραίτητα λιπαρά οξέα είναι μια ξεχωριστή κατηγορία οξέων που παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στο ζωικό οργανισμό και ονομάζονται έτσι καθώς δεν μπορούν να συντεθούν από το ζωικό οργανισμό και πρέπει να χορηγούνται μέσω της τροφής.

Ένα επιπλέον θέμα που συνδέεται με τις λιπαρές ουσίες είναι η πέψη και ο μεταβολισμός τους, διαδικασίες αλληλένδετες και πολύ σημαντικές. Με την πέψη τα ζώα μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα θρεπτικά συστατικά που εισέρχονται με την τροφή και αφού διασπαστούν να τα χρησιμοποιήσουν στα διάφορα μέρη του σώματος. Η διαδικασία της πέψης παρουσιάζει μερικές διαφορές στα μονογαστρικά και στα μηρυκαστικά, καθώς το στομάχι των μηρυκαστικών διακρίνεται σε τέσσερα διαμερίσματα.

Μέσω της πέψης, επιτυγχάνεται και η διαδικασία του μεταβολισμού που διακρίνεται σε δυο κατηγορίες: τον αναβολισμό και τον καταβολισμό. Αρχικά, με τον καταβολισμό έχουμε τη διάσπαση των πολύπλοκων ουσιών σε απλούστερες και στη συνέχεια πραγματοποιείται ο αναβολισμός που είναι η διαδικασία της παραγωγής απλούστερων ουσιών σε πολυπλοκότερες. Ο μεταβολισμός των λιπαρών ουσιών συνδέεται και με κάποιες μικροβιακές μεταβολικές διεργασίες όπως η υδρόλυση και η βιοϋδρογόνωση. Παράλληλα, συσχετίζεται και με τον μεταβολισμό των λιπαρών οξέων που ανάλογα με τους μεταβολικούς τους δρόμους χωρίζονται σε : οξειδωση των λιπαρών οξέων, βιοσύνθεση των

κορεσμένων λιπαρών οξέων, μεταβολισμός των ακόρεστων λιπαρών οξέων και τα απαραίτητα λιπαρά οξέα. Επιπροσθέτως, η παράγωγή των κετονοσωμάτων είναι μια σημαντική διαδικασία που συνδέεται με το μεταβολισμό όπως και η λιπογένεση, ο μεταβολισμός της χοληστερόλης κ.α. Γενικότερα, ο μεταβολισμός των λιπαρών ουσιών είναι ένα ευρύ θέμα το οποίο απασχολεί τους επιστήμονες εδώ και αρκετά χρόνια και ήδη έχουν πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες καθώς επηρεάζει άμεσα την υγεία των ζώων αλλά και των ανθρώπων.



### **Abstract**

Michalopoulou, E., 2017. Metabolism of lipids. Diploma Thesis, Division of Animal Production, Department of Agricultural Technology, School of Agricultural Technology, Food Technology and Nutrition, Alexander Technological Educational Institute of Thessaloniki. Thessaloniki, Greece, pp. 1–55.

All living organisms, should take nutrients to satisfy the biological needs which are related to the processes of development and reproduction. At the same time, the nutrients are necessary in animal nutrition in order to satisfy the various dietary requirements. If animals do not receive the necessary nutrients, their growth rate and their natural condition are affected. Furthermore, very important is to have the necessary energy so that they could have the correct weight, maintain the temperature of the body and not present deficiencies which may create severe problems for their health.

Lipids, which are an important class of nutrients, are a group of compounds that can be found in both plant and animal tissues. In general, are divided into three basic categories, which are the simple lipids, the complex and derived Lipids. Fats are insoluble in water and must be properly maintained in order not to suffer various alterations which may be caused by various factors such as temperature, light, oxygen, etc.

The fatty acids which are components of fat, are very important to humans and animals. Essential fatty acids, are a separate category of acids which play a very important role in the animal body and they are called essentials because they cannot synthesize from the animal body and should be given through food.

An additional issue related to fats is digestion and metabolism, processes interdependent and very important. Digestion can help animals use the nutrients which enter through the food and after they broke down they can be used in various parts of the body. The process of digestion presents some differences between monogastric animals and ruminants, as the stomach of ruminants is divided into four compartments.

Through the digestion, the process of metabolism is also achieved and breaks down into two categories which are anabolism and catabolism. Initially, catabolism is when some complex substances break down into smaller units and anabolism when smaller units construct a more complex one. Metabolism of fats is linked to some microbial metabolic processes such as hydrolysis and biohydrogeneration. Moreover, it is associated with the metabolism of fatty acids which are divided into: oxidation of fatty acids, biosynthesis of the saturated fatty acids, metabolism of unsaturated fatty acids and essential fatty acids. In addition, ketogenesis is an important process associated with the metabolism and lipogenesis, metabolism of cholesterol, etc. Generally, metabolism of fats is a wide subject which concerns scientists for several years and already many investigations have been carried out as it affects the health of animals and human beings.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΛΙΠΙΔΙΑ

### 1.1.Γενικά για τα λιπίδια

Τα λίπη αποτελούν μια κατηγορία βασικών θρεπτικών συστατικών που υπάρχουν στις ζωοτροφές και μπορεί να είναι φυτικής ή ζωικής προέλευσης. Τα μόρια των λιπιδίων αποτελούνται κυρίως από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο. Με τον όρο λιπίδια ή λιποειδή εννοούμε μια ομάδα οργανικών μορίων που δεν διαλύονται στο νερό αλλά διαλύονται σε οργανικούς διαλύτες όπως ο πετρελαϊκός αιθέρας, διαιθυλαιθέρας, βενζόλιο, χλωροφόρμιο κτλ. (Τσάκνης, 2014).

Τα λιπίδια ανάλογα με τη σύσταση του μορίου τους, χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες (Βασιλόπουλος, 1984):

1. Απλά λιπίδια
2. Σύνθετα λιπίδια
3. Παράγωγα λιπιδίων

#### 1) Απλά λιπίδια

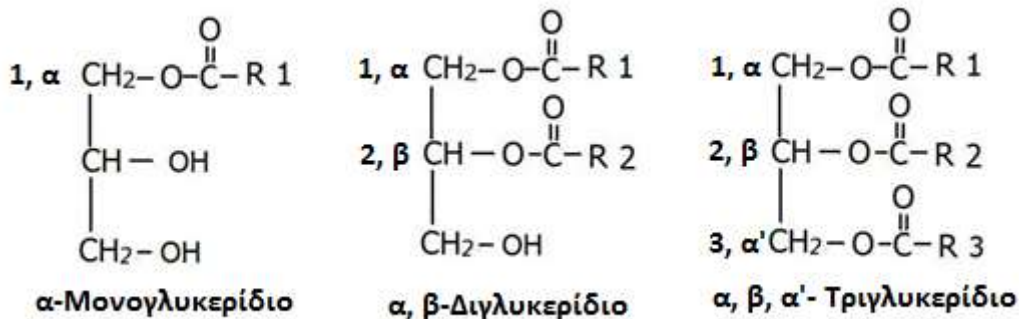
Απλά λιπίδια ονομάζονται γενικά οι εστέρες των λιπαρών οξέων με διάφορες αλκοόλες. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα παρακάτω :

- Λίπη και έλαια
- Κηροί
- Στερίδια
- Αιθολίδια
- Αιθερογλυκερίδια

## ΛΙΠΗ ΚΑΙ ΕΛΑΙΑ

Τα λίπη και έλαια είναι μίγματα γλυκεριδίων που αποτελούνται από εστέρες λιπαρών οξέων με την τρισθενή αλκοόλη γλυκερίνη. Η γλυκερίνη έχοντας τρεις υδροξυλικές ομάδες οδηγεί, ύστερα από εστεροποίηση, στο σχηματισμό μονο-,δι- και τριγλυκερίδια, ενώ σύμφωνα με τη νέα ονοματολογία λέγονται μονο-, δι- και τριακυλο-γλυκερόλες (Λιαμάδης, 2000). Η ανάλυση τους δείχνει ότι αποτελούνται από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο που συμμετέχουν σε ποσοστό 77,12 και 11% αντίστοιχα. Στη διατροφή αποτελούν θρεπτικές ύλες υψηλής ενεργειακής αξίας που περιέχουν λιποδιαλυτές βιταμίνες και απαραίτητα λιπαρά οξέα. Καλύπτουν τις ανάγκες του οργανισμού σε ενέργεια καθώς παρέχουν διπλάσια ή τριπλάσια ενέργεια από τις πρωτεΐνες ή τους υδατάνθρακες. Αποτελούν συνεπώς την πιο συμπυκνωμένη πηγή ενέργειας από τρόφιμα παρέχοντας στον οργανισμό 9 kcal/g. Γενικότερα, τα έλαια είναι πλούσια σε λινελαϊκό και ελαϊκό οξύ και μάλλον φτωχά σε κορεσμένα λιπαρά οξέα. Μερικά λίπη όμως που προέρχονται από ορισμένους καρπούς

φοινικοειδών δεν περιέχουν τόσο μεγάλη ποσότητα ακόρεστων λιπαρών σε σχέση με τα ανώτερα κορεσμένα που περιέχουν. (Καραμήτρος, Βασιλόπουλος, Λιαμάδης).



Σχήμα 1: Δομή γλυκεριδίων (Ιωάννης Τσάκνης, Ειρήνη Στρατή).

Ανάλογα με την προέλευση τους διακρίνονται σε ζωικά και φυτικά (Βασιλόπουλος, 1984).

Τα ζωικά λίπη και έλαια προέρχονται συνήθως από ζωικούς οργανισμούς και βρίσκονται στους ιστούς διαφόρων οργάνων ή εναποτίθενται κάτω από το δέρμα ή στην κοιλιακή χώρα του σώματός τους. Στους ζωικούς οργανισμούς συνήθως συναντάμε περισσότερα λίπη παρά έλαια. Τα σημαντικότερα ζωικά λίπη και έλαια είναι το νωπό βούτυρο της αγελάδας, το πρόβειο, το βοδινό λίπος καθώς και το ιχθυέλαιο και το μουρουνέλαιο.

Τα λίπη φυτικής προέλευσης προέρχονται από διάφορα μέρη των φυτών όπως σπέρματα, πυρήνες και καρπικά σαρκώματα. Στους φυτικούς οργανισμούς συναντάμε κυρίως έλαια παρά λίπη. Τα κυριότερα φυτικά έλαια είναι το έλαιο από ελιές, το αραχιδέλαιο, βαμβακέλαιο κ.α.

### Ιδιότητες λιπών και ελαίων

Τα λίπη που βρίσκονται στο σώμα των ζώων είναι σώματα στερεά και συνήθως βρίσκονται στη θερμοκρασία των 20 βαθμών Κελσίου. (Καραμήτρος, 2004). Επίσης είναι αδιάλυτα στο νερό και την αλκοόλη ενώ διαλύονται εύκολα στον αιθέρα, το βενζόλιο, τον τετραχλωράνθρακα κ.α. Αντίθετα, τα έλαια βρίσκονται σε υγρή κατάσταση στην ίδια θερμοκρασία δωματίου των 20 βαθμών Κελσίου και είναι τα διάφορα λάδια που είναι διαδεδομένα όπως το ελαιόλαδο, το σπορέλαιο κ.α. Τα έλαια επίσης μπορούν να μετατραπούν σε στερεά λίπη εάν κατεργασθούν με υδρογόνο σε υψηλή θερμοκρασία και με αυξημένη πίεση και παρουσία καταλυτών.

Τα λίπη και τα έλαια πρέπει να συντηρούνται προσεκτικά κάτω υπό ορισμένες συνθήκες αλλιώς άμα δεν επιμελούνται σωστά για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορούν να δημιουργηθούν διάφορες αλλοιώσεις και να μεταβληθεί η σύστασή τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μπορούν να μεταβληθούν από διάφορους εξωτερικούς παράγοντες όπως

είναι το φως, η υγρασία, η θερμοκρασία, το οξυγόνο κα καθώς και από διάφορους εσωτερικούς παράγοντες όπως είναι οι προσβολές από διάφορα βακτήρια, μύκητες κ.α. Κάποιες από τις αλλοιώσεις που θα μπορούσαν να δημιουργηθούν είναι οι παρακάτω: το τάγγισμα και η οσμή ψαριού (Λιαμάδης, 1984).

### **I. Τάγγισμα**

Μια από τις συχνότερες μεταβολές που συμβαίνουν είναι το τάγγισμα στο οποίο δημιουργούνται διάφορες μεταβολές του χρωματισμού των λιπαρών ουσιών καθώς και μπορεί να υπάρξει μείωση της θρεπτικής τους αξίας κ.α. Συνήθως εκδηλώνεται με μια δυσάρεστη οσμή και γεύση. Εξαιτίας της τάγγισης, τα λίπη και τα έλαια μπορεί να γίνουν επικίνδυνα για την υγεία του ανθρώπου και των ζώων. Το τάγγισμα των λιπαρών ουσιών στα λάδια είναι εντονότερο από ότι είναι στα λίπη, γεγονός που οφείλεται στις κακές συνθήκες αποθήκευσης τους. Προκειμένου να αποτρέψουν την κατάσταση αυτή, μερικές φορές οι βιομηχανίες ζωοτροφές χορηγούν βιταμίνη Ε σαν αντιοξειδωτικό, μέσα στα μίγματα των τροφών που περιέχουν λίπος ή διάφορα υποπροϊόντα σποροelaiουργίας. Το τάγγισμα διακρίνεται σε οξειδωτικό και υδρολυτικό.

#### **Οξειδωτικό τάγγισμα (αυτοξείδωση)**

Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα είναι κάποια από τα συστατικά των λιπών και ελαίων που είναι περισσότερο επιδεκτικά αυτοξείδωσης και αυτοξειδώνονται σε συνθήκες θερμοκρασίας μικρότερες από 100 βαθμούς Κελσίου. Κατά καιρούς διατυπώθηκαν διάφορες θεωρίες σχετικά με τον χημισμό της αυτοξείδωσης άλλα τελικά επικράτησε η υδρουπεροξειδική οδό, θεωρία που πρότεινε ο Farmer και οι συνεργάτες του. Σύμφωνα με αυτήν την θεωρία υπάρχουν κάποια στάδια της αυτοξείδωσης που περιλαμβάνουν την εκκίνηση, διάδοση, αποσύνθεση και περάτωση των λιπιδίων.

#### **Υδρολυτικό τάγγισμα**

Το υδρολυτικό τάγγισμα δεν είναι τόσο σπουδαίο όσο το οξειδωτικό. Σε αυτό, τα λίπη και τα έλαια υφίστανται υδρόλυση που δημιουργείται από την επίδραση των διαφόρων λιπασών που προέρχονται από βακτήρια, μύκητες, ζύμες κ.α.

#### **Λιποί παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη της αυτοξείδωσης**

Μερικοί ακόμη παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη της αυτοξείδωσης των λιπαρών ουσιών αποτελούν οι παρακάτω :

##### **➤ Θερμοκρασία**

Καθώς ανεβαίνει η θερμοκρασία ανεβαίνει αντίστοιχα και η ταχύτητα της αυτοξείδωσης. Αυτό συμβαίνει επειδή διευκολύνεται η αντίδραση της ενεργοποίησης του σταδίου εκκίνησης.

➤ **Φως**

Μαζί με την θερμοκρασία, την ίδια ακριβώς επιρροή έχει και το φως, καθώς όσο αυξάνεται και ειδικά το υπεριώδες, επιταχύνει την διάσπαση των υπεροξειδικών ριζών στο στάδιο εκκίνησης.

➤ **Οξυγόνο**

Με την παρουσία του οξυγόνου είναι πιο εύκολη η αυτοοξειδωση των λιπαρών ουσιών. Προκειμένου να διατηρούνται καλύτερα πρέπει να απομακρύνεται το οξυγόνο, γεγονός που πετυχαίνεται με την σωστή συσκευασία των λιπαρών ουσιών σε κενό ή σε ατμόσφαιρα αδρανούς αερίου.

➤ **Υγρασία**

Η επίδραση της υγρασίας αποτελεί μια ιδιόμορφη κατάσταση, καθώς και στα χαμηλά επίπεδα υγρασίας όσο και στα ψηλά υπάρχει γρήγορη ανάπτυξη του οξειδωτικού ταγγίσματος. Ωστόσο μπορεί να υπάρξει κάποια ιδανική τιμή υγρασίας στην οποία η αυτοοξειδωση θα παρουσιάζει την μικρότερη ταχύτητα και αυτό γίνεται στην περίπτωση που η μονοστιβάδα του νερού θα δράσει προστατευτικά κάτω υπό ορισμένες συνθήκες όπως π.χ. με την αντίδραση της με τους μεταλλικούς καταλύτες.

➤ **Ακτινοβολίες ιονισμού**

Οι ακτινοβολίες ιονισμού ευνοούν τον σχηματισμό των ελεύθερων ριζών και έτσι αυξάνεται η αυτοοξειδωση των λιπαρών ουσιών.

➤ **Μεταλλικοί καταλύτες**

Μερικά ιόντα από βαριά μέταλλα, όπως είναι ο σίδηρος, χαλκός και το μαγγάνιο αυξάνουν την ταχύτητα της οξειδωσης. Αυτό συμβαίνει επειδή αυξάνουν την ταχύτητα της διάσπασης του υδρουπεροξειδίου με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η παραγωγή των ελεύθερων ριζών.

## **II. Οσμή ψαριού**

Η αλλοίωση αυτή μπορεί να εμφανιστεί σε μια ποικιλία λιπών και τροφίμων όπως είναι το βούτυρο, το γάλα, ο κρόκος του αυγού κ.α. Εμφανίζεται με την παρουσία οσμής ψαριού ή ιχθυελαίου (Βασιλόπουλος, 1984). Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει κάποια σαφής εξήγηση στην αιτιολόγηση αυτής της αλλοίωσης. Η μυρωδιά αυτή μπορεί να οφείλεται στην παρουσία τριμεθυλαμινοξειδίου, καθώς και η παρουσία χλωριούχου νατρίου προκαλεί την αλλοίωση αυτή. Με το πέρασμα των χρόνων όμως η αλλοίωση του βουτύρου που προκαλεί την οσμή ψαριού, άρχισε να χάνει την σημασία της επειδή πλέον τα λίπη δεν περιέχουν υψηλά ποσοστά σε χλωριούχο νάτριο.

## **ΚΗΡΟΙ**

Οι κηροί υπάγονται στα απλά λιπίδια και είναι εστέρες λιπαρών οξέων μεγάλου μοριακού βάρους με μεγάλου μοριακού βάρους μονοσθενείς αλκοόλες. Στη φύση υπάρχουν και στο φυτικό και στο ζωικό βασίλειο. Βρίσκονται στις επιφάνειες διαφόρων φυτών και φυτικών προϊόντων αλλά και των ζώων με στόχο να τα προστατεύουν από την υγρασία και το νερό. Μερικά από τα πιο γνωστά φυσικά κεριά που υπάρχουν είναι το κερι της μέλισσας, η λανολίνη του μαλλιού των προβάτων καθώς και το σαρματσέτο του εγκεφάλου θαλάσσιων κητών (καρχαρίας, φάλαινα).

## **ΣΤΕΡΙΔΙΑ**

Είναι εστέρες λιπαρών οξέων με στερόλες. Τα πιο γνωστά που συμμετέχουν περισσότερο είναι το παλμιτικό, ελαϊκό και το στεατικό οξύ. Από το μίγμα αυτών των τριών και σε συνδυασμό με την χοληστερόλη, λανοστερόλη και αγνοστερόλη συντίθενται η λανολίνη, ουσία που υπάρχει στο λίπος των μαλλιών των προβάτων.

## **ΑΙΘΟΛΙΔΙΑ**

Τα αιθολίδια είναι πολυμερή υδροξυοξέων, εστεροποιημένων μεταξύ τους.

## **ΑΙΘΕΡΟΓΛΥΚΕΡΙΔΙΑ**

Τα αιθερογλυκερίδια είναι ουσίες που βρίσκονται κυρίως στα ιχθυέλαια και αποτελούνται από την ένωση γλυκερίνης με ανώτερες αλκοόλες. Τρία σπουδαία αιθερογλυκερίδια αποτελούν ο χιμυλικός, ο βαθυλικός και ο σελαχικός αιθέρας.

## **2) ΣΥΝΘΕΤΑ ΛΙΠΙΔΙΑ**

Τα σύνθετα λιπίδια είναι ενώσεις που περιέχουν και άλλες προσθετικές ομάδες σε ένα εστέρα λιπαρού οξέος και μία αλκοόλη. Κατά την υδρόλυσή τους παρέχουν λιπαρά οξέα, αλκοόλες και πρόσθετες ομάδες. Τα σύνθετα λιπίδια διακρίνονται σε τρεις ομάδες: φωσφολιπίδια, γλυκολιπίδια και σε λιποπρωτεΐδια.

### **Φωσφολιπίδια**

Τα φωσφολιπίδια ή φωσφατίδια είναι εστέρες που περιέχουν λιπαρά οξέα, φωσφορικό οξύ και άλλες ομάδες οι οποίες συνήθως περιέχουν άζωτο. Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται τα φωσφατίδια, τα φωσφοϊνοσιτίδια και τα σφιγγολιπίδια. Στα φωσφατίδια υπάγονται οι λεκιθίνες, οι κεφαλίνες και τα πλασμαλογόνα.

### **Γλυκολιπίδια**

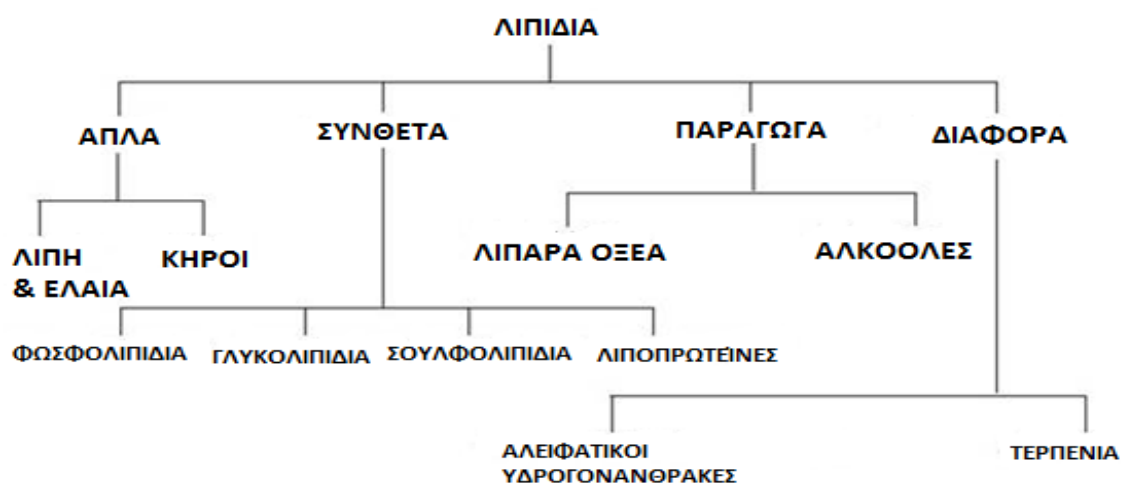
Γλυκολιπίδια ή σεροβροζίδια ονομάζονται οι ενώσεις που στο μόριο τους διακρίνεται και η παρουσία σακχάρου καθώς και δεν περιέχουν φωσφορικό οξύ αλλά περιέχουν λιπαρά οξέα, έναν υδατάνθρακα και ένα αζωτούχο τμήμα. Σε αυτά ανήκουν τα κερεβροσίδια, τα κερεβροσουλφατίδια και τα γαγγλιοσίδια.

### Λιποπρωτεΐδια

Ενώσεις που απομονώθηκαν από διάφορους φυτικούς και ζωικούς ιστούς και αποτελούνται από λιπίδες ενωμένες με πρωτεΐνες. Κάποια παραδείγματα αποτελούν η θρομβοπλασίνη που απομονώθηκε από τον πνεύμονα του βοδιού και η λιποβιτελλίνη που απομονώθηκε από τον κρόκο του αυγού.

### 3) ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΛΙΠΙΔΙΩΝ

Παράγωγα λιπίδια ονομάζονται οι ενώσεις που προέρχονται από την υδρόλυση των απλών ή σύνθετων λιπιδίων και διαθέτουν γενικές ιδιότητες των λιπιδίων (Λιαμάδης,2000). Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα λιπαρά οξέα, αλκοόλες όπως η γλυκερίνη, οι υδρογονάνθρακες (τερπένια) και γενικά οι ενώσεις που συμμετέχουν στη δομή του μορίου των λιπαρών ουσιών (Βασιλόπουλος,1984). Παρακάτω θα αναφερθούν περισσότερες πληροφορίες για τα λιπαρά οξέα καθώς είναι υψηλής σημασίας ουσίες τόσο για τα ζώα όσο και για τον άνθρωπο.



Σχήμα 2: ταξινόμηση λιπιδίων.

### Λιπαρά οξέα

Τα λιπαρά οξέα αποτελούν συστατικά των φυσικών λιπών και διακρίνονται κυρίως για τον άρτιο αριθμό ατόμων άνθρακα που περιέχουν (Λιαμάδης, 2000). Τα περισσότερα από αυτά αναγνωρίζονται στη φύση και περιέχουν μια καρβοξυλική ομάδα και μια ευθεία αλυσίδα ατόμων C που μπορεί να είναι κορεσμένη ή ακόρεστη. Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα κυρίως που διαθέτουν έναν ή περισσότερους διπλούς δεσμούς έχουν διαφορετικές ιδιότητες από τα κορεσμένα. Μια ιδιότητα που έχει μεγάλη φυσιολογική σημασία είναι τα χαμηλότερα σημεία τήξης που από χημική άποψη είναι πολύ πιο ενεργά. Μερικά από τα κοινά λιπαρά οξέα που συναντώνται στα φυτικά και στα ζωικά λίπη είναι τα παρακάτω:

Κορεσμένα :βουτυρικό, παλμιτικό, στεατικό, λαυρικό



Ακόρεστα : ελαιϊκό, λινελαϊκό, λινολενικό

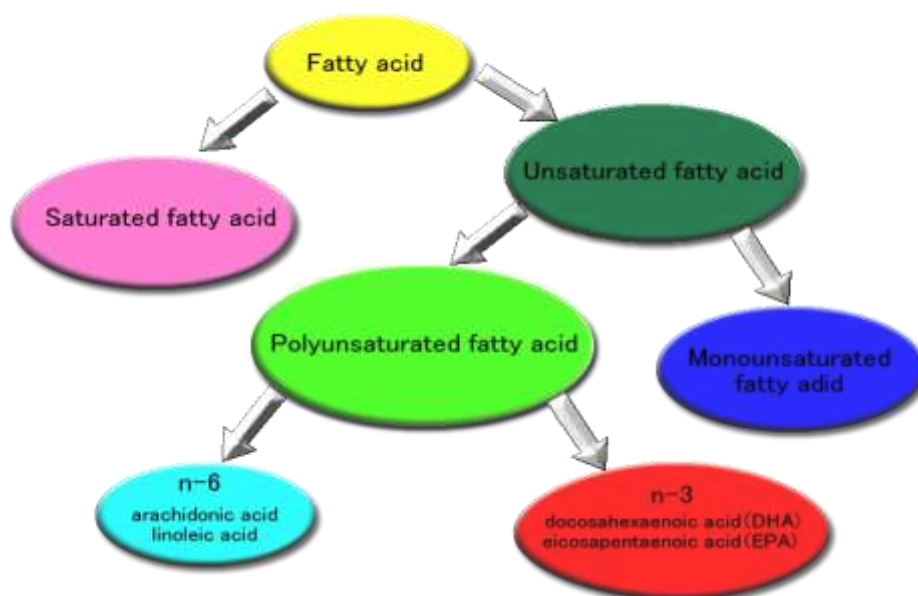
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον από τα ανώτερα λιπαρά οξέα παρουσιάζουν το λινελαϊκό, το λινολενικό και το αραχιδονικό(Κανδύλης, 2006). Το λινελαϊκό και το λινολενικό περιέχονται στα περισσότερα φυτικά έλαια όπως στο λινέλαιο και έχοντας ιδιαίτερη θρεπτική σημασία αποτελούν τα απαραίτητα λιπαρά οξέα. Απαραίτητα λιπαρά οξέα ονομάζονται αυτά τα λιπαρά οξέα που δεν μπορούν να συντεθούν από τον ζωικό οργανισμό και γι'αυτό το λόγο πρέπει να χορηγούνται μέσω της τροφής. Προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες των θηλαστικών και των πτηνών στα οξέα αυτά , αρκεί η χορήγηση του λινελαϊκού οξέως μόνο, καθώς αυτό αποτελεί μια πρόδρομη ένωση για τη βιοσύνθεση των άλλων δυο. Τα οξέα αυτά παράλληλα συμμετέχουν σε διάφορες μεμβράνες καθώς παίζουν και σημαντικό ρόλο στη μεταφορά των λιπιδίων και σε μερικά λιποπρωτεϊνικά ένζυμα. Πέρα από αυτά χρησιμοποιούνται και ως πηγή για τη σύνθεση των εικοσιενοειδών στα όποια περιλαμβάνονται κάποιες ορμονοειδείς ουσίες όπως οι προσταγλανδίνες, οι θρομβοξάνες και τα λευκοτριένια οι οποίες ρυθμίζουν την πήξη του αίματος, την πίεση του αίματος καθώς και άλλες λειτουργίες του οργανισμού. Επιπροσθέτως, αποτελούν πηγή και άλλων σημαντικών λιπαρών οξέων όπως του εικοσιπεντανοϊκού (EPA) ,του υδροξυ-εικοσιτριενοϊκού (HETR) και του εικοσιδιεξανοϊκού (DHA). Κάποιες από τις ευεργετικές επιδράσεις του EPA και του DHA στην υγεία του ανθρώπου αναφέρονται παρακάτω (Ζέρβας, 2005):

1. Μειώνει το επίπεδο των λιπιδίων και αυξάνει την υψηλή πυκνότητα των λιποπρωτεϊνών.
2. Μειώνει το σχηματισμό θρόμβων.
3. Σταθεροποιεί τους καρδιακούς παλμούς.
4. Χρησιμεύουν στην παραγωγή των προσταγλανδινών της σειράς E3(αντιφλεγμονώδης δράση ).
5. Μειώνουν την πίεση του αίματος (αντί –υπερτασική δράση ).
6. Βοηθούν στην ομαλή ανάπτυξη και λειτουργία του κεντρικού νευρικού συστήματος.
7. Παρουσιάζουν μια βελτίωση σχετικά με τα κλινικά συμπτώματα κατάθλιψης και σχιζοφρένειας.

Μερικά από τα συμπτώματα που είναι άμεσα συνδεδεμένα με την ανεπαρκή κάλυψη των αναγκών του οργανισμού σε απαραίτητα λιπαρά οξέα είναι τα παρακάτω (Ζέρβας,2005):

1. Αυξημένη ευαισθησία από την προσβολή των βακτηρίων
2. Στειρότητα
3. Μειωμένος ρυθμός ανάπτυξης
4. Μειωμένη οπτική ικανότητα
5. Μειωμένη σταθερότητα των βιομεμβρανών
6. Ευθραυστότητα των τριχοειδών
7. Μειωμένη περισταλτική κίνηση του μυοκαρδίου
8. Μειωμένη κατακράτηση αζώτου
9. Μειωμένη σύνθεση ATP στο ήπαρ και την καρδιά

Τα απαραίτητα λιπαρά οξέα μπορεί να περιέχονται σε διάφορες τροφές. Τα ελαιούχα σπέρματα είναι πλούσια σε λινελαϊκό οξύ, ιδιαίτερα ο λιναρόσπορος. Στα σιτηρέσια των χοίρων και των πτηνών περιλαμβάνεται μια αξιόλογη ποσότητα υποπροϊόντων σπορελαιουργίας και έτσι έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν με την τροφή μια ικανοποιητική ποσότητα ακόρεστων λιπαρών οξέων. Στα σιτηρέσια των μηρυκαστικών περιλαμβάνεται συνήθως χλωρά νομή σε υψηλό ποσοστό και έτσι περιέχουν μεγάλα ποσοστά λινελαϊκού και α-λινολενικού οξέως.



Σχήμα 3: Κατάταξη λιπαρών οξέων.

## 1.2. Ρόλοι των λιπιδίων

Τα λίπη όπως προαναφέρθηκε διαδραματίζουν δυο σημαντικούς βιολογικούς ρόλους τόσο στη φυσιολογία θρέψης των ζώων όσο και των ανθρώπων (Λιαμάδης, 2000). Ο ένας τους ρόλος είναι ότι αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας με τη μορφή του λίπους αποθήκευσης και ο άλλος ότι αποτελούν με τη μορφή των σύνθετων λιπών κυρίως, ένα απαραίτητο δομικό υλικό των ζώντων κυττάρων. Το επιθήλιο του πεπτικού σωλήνα, απορροφάει τις διάφορες χημικές ουσίες οι οποίες στη συνέχεια, μετασχηματίζονται κατά ένα μεγάλο ποσοστό σε λίπη. Τα λίπη αυτά αποθηκεύονται σε ειδικούς ιστούς και κινητοποιούνται είτε κάθε φορά που ο οργανισμός θα χρειαστεί να ικανοποιήσει τις ενεργειακές του ανάγκες είτε γιατί δεν λαμβάνει μέσω των τροφών που καταναλώνει, τις επαρκείς ποσότητες θρεπτικών ουσιών. Γενικά τα λίπη που αποθηκεύονται στο ήπαρ, σε σύγκριση με τα λίπη άλλων λιπιδίων ιστών, χρησιμοποιούνται και κινητοποιούνται με ταχύτερο ρυθμό.

Ένας επιπλέον σημαντικός ρόλος των λιπών όπως ήδη αναφέρθηκε είναι ότι αποτελούν με τη μορφή κυρίως σύνθετων λιπών, δομικά συστατικά διαφόρων ιστών του οργανισμού. Ένα παράδειγμα είναι τα φωσφολιπίδια της κυτταρικής μεμβράνης ή των

μιτοχονδρίων που αποτελούν δομικά λίπη, όπως και τα τριγλυκερίδια του λιπώδους ιστού αποτελούν αποθήκες ενέργειας. Πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι κυρίαρχο ρόλο στη διακίνηση των λιπών στο ζωικό οργανισμό διαδραματίζουν οι λιποπρωτεΐνες του αίματος που αποτελούνται από φωσφατίδια που είναι μια μορφή σύνθετων λιπών, ελεύθερα λιπαρά οξέα καθώς και μια ορισμένη αναλογία τριγλυκεριδίων. Παράλληλα υπάρχει ένα ποσοστό λιπώδους ιστού περίπου 50% , το οποίο βρίσκεται κάτω από το δέρμα και αποτελεί το υποδόριο λίπος. Το παραπάνω χρησιμεύει ως μονωτικό στρώμα καθώς εμποδίζει την ταχεία διαφυγή της θερμότητας του σώματος μέσω ακτινοβολίας. Το υπόλοιπο μέρος τους λιπώδους ιστού περιβάλλει διάφορα όργανα, τα νεφρά κυρίως ,και συναντάται και στους μύες και σε άλλες θέσεις. Μερικές πληροφορίες θα αναφερθούν παρακάτω αναλυτικότερα.

Τα περισσότερα από τα λίπη που απορροφούνται ,μεταφέρονται στο ήπαρ όπου και μεταβολίζονται. Στη συνέχεια, υπάρχει ένας μηχανισμός μεγάλης θρεπτικής σημασίας ο οποίος μεταφέρει τα λίπη από το ήπαρ στους άλλους ιστούς. Ο μηχανισμός αυτός συνιστάται από το συνδυασμό τριγλυκεριδίων με χολίνη και φωσφορικό οξύ, με αποτέλεσμα τη δημιουργία της λεκιθίνης , μιας φωσφατίδης που είναι απαραίτητη για τη μεταφορά των λιπών. Όταν όμως δεν υπάρχουν οι κατάλληλες ποσότητες χολίνης τότε υπάρχει περίπτωση να προκληθεί κάποια σοβαρή μεταβολική διαταραχή ,καθώς τα λίπη συσσωρεύονται κατά έναν ανώμαλο τρόπο στο ήπαρ. Όλα τα λίπη σε κατάσταση μεταβολισμού, απαντούν λιγότερο ή περισσότερο με τη μορφή λιπαρών οξέων. Τα λιπαρά αυτά οξέα μεταφέρονται στις θέσεις μεταβολισμού από τις θέσεις αποθήκευσης ή απορρόφησης , ως λίπη του πλάσματος του αίματος. Αυτό σημαίνει ότι το πλάσμα του αίματος περιέχει πάντα κάποια σημαντική ποσότητα λίπους, η οποία διαφέρει στα διάφορα είδη ζώων. Παράλληλα, το πλάσμα του αίματος περιέχει πάντα και μια μικρή ποσότητα ελεύθερων λιπαρών οξέων , τα οποία αποτελούν την κύρια μορφή με την οποία αυτά μεταφέρονται από το λίπος αποθήκευσης στις θέσεις όπου οξειδώνονται.

Κάποιες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια ραδιενεργών ισοτόπων, οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι τα σωματικά λίπη βρίσκονται σε μια εντελώς δυναμική κατάσταση συνεχούς μεταβολής , όπως αποδεικνύεται από το γεγονός ότι : α) λιπαρά οξέα από το αποθηκευμένο λίπος συνεχώς μετακινούνται και μεταφέρονται, β) λίπη που απορροφήθηκαν αναμιγνύονται με αλλά που προέρχονται από το λίπος αποθήκευσης, γ) κάποια λιπαρά οξέα μετατρέπονται σταθερά σε αλλά και δ) ένα μέρος των λιπαρών οξέων διασπάται μέσω της β-οξειδωσης και του κύκλου του Krebs , ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες ενώ ένα άλλο οστεοποιείται με τη γλυκερίνη προκειμένου να μεταφερθεί και πάλι στο λίπος αποθήκευσης. Πρέπει να αναφερθεί ότι είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι όλες οι παραπάνω αντιδράσεις πραγματοποιούνται με τέτοια ισορροπία ώστε τα μίγματα των λιπαρών οξέων στις αποθήκες λίπους , το αίμα και τα όργανα να μην μεταβάλλονται αισθητά, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά.

### 1.3. Τα λίπη ως συστατικά του ζωικού σώματος

#### Αποταμιευτικό λίπος

Το αποταμιευτικό λίπος σχεδόν αποκλειστικά αποτελείται από ουδέτερα λίπη και εκπροσωπεί την κινητή μορφή λίπους που υπάρχει μέσα στον οργανισμό (Ζέρβας, 2005). Αυξάνεται ιδιαίτερα μετά την ενηλικίωση του ζώου, και ειδικά όταν αυτό τρέφεται πλούσια ενώ μειώνεται όταν το ζώο τρέφεται ανεπαρκώς. Αυτός είναι και ο λόγος που μπορεί να ανέρχεται η περιεκτικότητα του λίπους στα πολύ ισχνά ζώα στο 5% και στα καλώς διατρεφόμενα στο 10-15% ,ενώ στα παχύσαρκα μπορεί να φτάσει στο 50-60%. Η σύσταση του αποταμιευτικού λίπους επηρεάζεται από τη σύσταση του λίπους της τροφής καθώς δεν είναι σταθερή. Όπως προαναφέρθηκε το αποταμιευτικό λίπος βρίσκεται σε όλα τα κύτταρα και ιδιαίτερα μέσα στον υποδόριο συνδετικό ιστό, (που παίζει και ρόλο μονωτικής ουσίας), στην κοιλιακή κοιλότητα και στο συνδετικό ιστό μεταξύ των μυών καθώς και στο μυελό των οστών που τα κύτταρα του περιέχουν ποσοστό λίπους 65% ( Κανδρέλης κ.α.). Ο ρόλος του αποταμιευτικού λίπους είναι πολλαπλός καθώς χρησιμοποιείται και ως θερμομονωτικό αλλά και ως πηγή ενέργειας σε μερικά θερμόαιμα ζώα προκειμένου να διατηρήσουν σε σταθερά επίπεδα τη θερμοκρασία του σώματος. Ο ρόλος του αυτός είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε διάφορα ζώα, όπως αυτά που γεννώνται άτριχα ή αυτά που διαμένουν σε κάποιο ψυχρό περιβάλλον και πρέπει να προσαρμοστούν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η καμήλα η οποία παρόλο που διανύει ερημικές αποστάσεις, ο καταβολισμός του λίπους του υβού της είναι σε θέση να της παρέχει την απαραίτητη ενέργεια που χρειάζεται για να κινείται, με ταυτόχρονη παροχή νερού που προέρχεται από τη διάσπαση του λίπους του ζώου (Καραμήτρος, 2004). Έτσι ελαχιστοποιείται τόσο η παροχή τροφής όσο και νερού στο ζώο. Τα ζώα αυτά μέσω των αποθεμάτων φαιού λιπώδους ιστού, είχαν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν την παραγόμενη ενέργεια που ελευθερώνεται υπό μορφή θερμότητας.

#### Οργανωτικό λίπος

Το οργανωτικό λίπος σε σχέση με το αποταμιευτικό αντιπροσωπεύει τη μη κινητή μορφή λίπους στον οργανισμό και αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από λιποειδή. (Λιαμάδης, 2000). Διαφέρει ανάμεσα στα διάφορα είδη ζώων καθώς και από όργανο σε όργανο αλλά δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη σύνθεση του λίπους της τροφής καθώς έχει σταθερή σύνθεση. Παράλληλα συμμετέχει στη δομή των κυτταρικών μεμβρανών στο ζωικό οργανισμό και η ποσότητα του είναι περίπου σταθερή.

#### Ουδέτερα λίπη

Τα ουδέτερα λίπη τα οποία απαντούν τόσο στο ζωικό οργανισμό όσο και στις τροφές, είναι μίγματα τριγλυκερίδιων, δηλαδή εστέρων της γλυκερίνης με κορεσμένα ή ακόρεστα λιπαρά οξέα και υπάρχουν τόσο στο σώμα των ζώων όσο και στις τροφές (Λιαμάδης, 2000). Η γλυκερίνη συνήθως εστεροποιείται σε ένα τριγλυκερίδιο από περισσότερα λιπαρά οξέα ενώ σπάνια είναι η περίπτωση τριγλυκερίδιου με το ίδιο λιπαρό οξύ. Το σημείο τήξης του

λίπους εξαρτάται από την περιεκτικότητα του σε ακόρεστα λιπαρά οξέα , καθώς και από το μήκος της αλυσίδας των κορεσμένων λιπαρών οξέων. Συνήθως τα λίπη που περιέχουν πολλά ακόρεστα λιπαρά οξέα ή πολλά κατώτερα κορεσμένα λιπαρά οξέα έχουν χαμηλό σημείο τήξης. Η θέση και το είδος του λιπαρού οξέως στο μόριο ενός τριγλυκεριδίου καθορίζουν την ταχύτητα τήξης, χωρίς όμως να μετατοπίζουν το σημείο τήξης του. Στο σώμα των ζώων τα ουδέτερα λίπη που υπάρχουν, πλεονάζουν σε τριακυλογλυκερόλες, οι οποίες είναι πλούσιες σε παλμιτικό, στεατικό και ελαϊκό οξύ. Το παλμιτικό και το στεατικό οξύ βρίσκονται σε μεγαλύτερη ποσότητα στο λίπος των μηρυκαστικών σε σχέση με το ελαϊκό οξύ, εξαιτίας της υδρογόνωσης του λίπους της τροφής στους προστόμαχους των μηρυκαστικών. Γι' αυτό και το σημείο τήξης τους είναι υψηλότερο από τα άλλα είδη ζώων. Γενικά το σημείο τήξης του σωματικού λίπους δεν έχει ενιαία τιμή και είναι λίγο υψηλότερο της θερμοκρασίας της θέσης του σώματος στην οποία έχει αποταμιευτεί.

#### **1.4. Επίδραση της τροφής στη φύση των λιπών που ο οργανισμός συνθέτει για λογαριασμό του**

Η φύση του αποθηκευμένου λίπους όπως και γενικότερα όλων των λιπών που συνθέτει ο ζωικός οργανισμός , επηρεάζεται από την τροφή σημαντικά και εξηγείται από το ότι το σωματικό λίπος προέρχεται τόσο από τους υδατάνθρακες όσο και από τα λιπαρά οξέα που υπάρχουν στο αίμα (Λιαμάδης, 2000). Έτσι ο βαθμός σκληρότητας του σωματικού λίπους μπορεί να παρουσιάσει διάφορες μεταβολές και καθώς μπορεί να επηρεάσει και την ποιότητα του σφαγίου των κρεοπαραγωγών ζώων, καλό θα ήταν να αναφερθούν κάποιες λεπτομέρειες σχετικά με το θέμα αυτό.

Γενικότερα, έχει διαπιστωθεί ότι οι ιδιαίτερες ιδιότητες των λιπιδίων της τροφής, μπορούν να επηρεάσουν και να τροποποιήσουν τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των λιπιδίων που αποθηκεύει το ζώο στις λιπαποθήκες του. Έχει αποδειχτεί ότι τα λίπη που συνθέτονται από πρωτεΐνες ή υδατάνθρακες είναι σκληρά, ενώ κάποια λίπη που συνθέτονται από λίπη παρουσιάζουν ιδιότητες που μοιάζουν με τις ιδιότητες των καταναλισκόμενων λιπών. Έτσι, σύμφωνα με έρευνες, στην περίπτωση του χοίρου π.χ. μετά την χρησιμοποίηση φυτικών ελαίων ως συμπλήρωμα ενός σιτηρεσίου που αποτελούνταν από αραβόσιτο και διάφορα υποπροϊόντα κρέατος, έδειξαν ότι το βαμβακέλαιο που είναι σχετικά πλούσιο σε λιπαρά οξέα, έδωσε σκληρό λίπος και με σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε κορεσμένα λιπαρά οξέα, ενώ το αραχιδέλαιο, το σογιέλαιο και το αραβοσιτέλαιο, που είναι πλούσια σε ακόρεστα λιπαρά οξέα οδήγησαν στην εναπόθεση μαλακού λίπους. Επιπρόσθετα, διαπιστώθηκε ότι στη σύνθεση σκληρού λίπους οδήγησαν και οι πρωτεΐνες και οι υδατάνθρακες, με λίπος που περιείχε κυρίως παλμιτικό, στεατικό και ελαϊκό οξύ.

Σχετικές έρευνες έδειξαν επίσης ότι το σιτηρέσιο μπορεί να επηρεάσει και το λίπος που έχει ήδη αποθηκευτεί. Έτσι, ενώ μπορεί να έχει αποθηκευτεί μαλακό λίπος, είναι εφικτό μετά από τη χορήγηση κάποιου σιτηρεσίου που ευνοεί την παραγωγή σκληρού λίπους , να γίνει βαθμιαία σκληρότερο το ήδη αποθηκευμένο μαλακό λίπος. Άλλωστε τόσο στους χοίρους όσο και στα βοοειδή που τρέφονται με σιτηρέσια πλούσια σε δημητριακούς

καρπούς, το σωματικό λίπος που αποθηκεύεται γίνεται πιο σκληρό με την πρόοδο της ηλικίας, γεγονός που οφείλεται στο ότι ολοένα και σημαντικότερο μέρος του προέρχεται από τους υδατάνθρακες. Ωστόσο ο χαρακτήρας του λίπους της τροφής φαίνεται να επηρεάζει και τη φύση του λίπους του παραγόμενου γάλακτος.

Τέλος, το συμπέρασμα από όλα τα παραπάνω που αναφέρθηκαν είναι ότι η φύση των λιπιδίων της τροφής επηρεάζει και τη φύση των λιπιδίων του σφαγίου χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι ο ζωικός οργανισμός τηρεί μια παθητική στάση. Αντίθετα πρέπει να τονιστεί ότι υπάρχουν πολλά γεγονότα που δείχνουν ότι ο οργανισμός <<ελέγχει>> τα λίπη του σιτηρεσίου και γενικά φαίνεται να <<αντιστέκεται>> στις τροποποιήσεις του λιπώδους ιστού του. Ένα παράδειγμα του ενεργού ρόλου του οργανισμού αποτελεί η μετατροπή των ακόρεστων λιπαρών οξέων σε κορεσμένα. Η παραπάνω αναφορά αφορά αποκλειστικά τα μονογαστρικά ζώα καθώς στα μηρυκαστικά, η φύση του λίπους δεν φαίνεται να επηρεάζει τη σύσταση των εφεδρικών λιπών που εναποθέτουν παρόλο που επηρεάζει τη φύση του παραγόμενου γάλακτος.

### 1.5. Οι λιπίδες στη διατροφή

Την σπουδαία σημασία των λιπιδίων στην υγεία και στην αποδοτικότητα των ζώων την κατανοούμε μέσω του σημαντικού ρόλου που παίζει για τον οργανισμό τους. (Βασιλόπουλος, 1985). Μερικά από τα χαρακτηριστικά που διακρίνονται τα λιπίδια είναι τα παρακάτω :

- Όπως προαναφέρθηκε αποτελούν μια σημαντική πηγή ενέργειας για τους οργανισμούς καθώς ένα κιλό λίπους αποδίδει 9.2 kcal.
- Παράλληλα αποτελούν και την κύρια πηγή ενέργειας για τα ζώα που βρίσκονται σε χειμερία νάρκη.
- Αποτελούν ένα από τα πιο βασικά συστατικά των κυττάρων, του αίματος και της λέμφου.
- Λαμβάνουν μέρος στο σχηματισμό νέων ιστών στους οργανισμούς που βρίσκονται υπό ανάπτυξη καθώς και βοηθούν στη δόμηση διαφόρων ζωοκομικών προϊόντων όπως είναι το γάλα, τα αυγά κ.α.
- Αποτελούν <<ενεργειακή παρακαταθήκη >> με τη μορφή των λιπαροθηκών (υποδόριος ιστός) του σώματος.
- Προστατεύουν μέχρι ένα σημείο τα νεύρα, τις αρθρώσεις και τα αγγεία.
- Παράλληλα προστατεύουν τον οργανισμό από τις θερμοκρασίες του περιβάλλοντος, είτε υψηλές είτε χαμηλές καθώς αποτελούν κύρια συστατικά του υποδόριου ιστού και χρησιμεύουν στη θερμική μόνωση των ζώων και στην προστασία των εσωτερικών οργάνων του οργανισμού.
- Προστατεύουν τα ακόρεστα λιπαρά οξέα που είναι απαραίτητα για τον οργανισμό όπως το λινελαϊκό, λινολενικό, αραχιδονικό κ.α.
- Συμβάλλουν στην καλύτερη απορρόφηση των ανόργανων ουσιών (P, Ca) και βιταμινών (D, A, E, K, καροτένια). Γενικά υπάρχει η διαπίστωση ότι, όταν στο

σιτηρέσιο περιλαμβάνονται λίπη σε ποσοστό 4% οι ωτόκες όρνιθες απορροφούν μέχρι και το 60% περίπου των καροτενίων.

### 1.6. Ανάγκες σε λιπίδες

Εξαιτίας της αποδόμησης των λιπαρών ουσιών στον οργανισμό των ζώων καθώς και της αδυναμίας τους να συνθέτουν λιπαρά οξέα με περισσότερους από ένα δεσμούς (λινελαϊκό, λινολενικό), κάθε ζώο πρέπει να προσλαμβάνει ορισμένη ποσότητα λιπιδίων καθώς είναι απαραίτητα για τη ζωή (Βασιλόπουλος, 1985). Ύστερα από κάποια πειράματα που έκαναν οι Burr και Burr σε επίμυες, παρατήρησαν ότι με τον αποκλεισμό των ακόρεστων λιπαρών οξέων από την διατροφή, παρουσιάζονται κάποια προβλήματα όπως η εξασθένηση των δυνάμεων, η ελάττωση της ανάπτυξης, η απώλεια βάρους καθώς και διάφορες υποδόριες αλλοιώσεις μαζί με τριχόπτωση και απολέπιση στην ουρά με έντονο κνησμό. Επίσης μπορεί να προκληθεί στειρότητα τόσο στα θηλυκά όσο και στα αρσενικά. Άμα όμως προστίθεται στην τροφή κάποια ποσότητα, έστω και μικρή, λινολαϊκού οξέος τότε μπορούν να θεραπευτούν και να αποφευχθούν οι παραπάνω παθολογικές καταστάσεις. Αργότερα επίσης βρέθηκε, ότι και το αραχιδονικό και το λινολενικό περιέχουν ανάλογη ενέργεια αλλά σε μικρότερο βαθμό. Κάποιες παραπλήσιες παθολογικές καταστάσεις που οφείλονται στην έλλειψη ακόρεστων λιπαρών οξέων, παρατηρήθηκαν επίσης και σε άλλα ζώα όπως το σκύλο, το πρόβατο, το χοίρο κ.α. Παρόλο που τα ακόρεστα λιπαρά οξέα είναι πάρα πολύ σημαντικά για τον κάθε οργανισμό, υπάρχουν αντίστοιχα και κάποια άλλα που είναι επιβλαβή για την υγεία του κάτω από ορισμένες συνθήκες. Κάποια από αυτά όπως είναι το κουπαναδονικό οξύ που υπάρχει στο μουρουνέλαιο, το οποίο άμα χορηγηθεί σε μεγάλες ποσότητες ειδικά στα μοσχάρια και τα αρνιά μπορεί να προκαλέσει δηλητηρίαση μέσω της παραγωγής υπεροξειδίων. Αυτές οι δηλητηρίασεις συνήθως παρατηρούνται όταν το μουρουνέλαιο βρίσκεται σε ποσοστό υψηλότερο από 2-3%. Μερικά άλλα επιβλαβή οξέα είναι το 20 C και 22 C τετρααιθενικά οξέα. Ακόμη και το λινελαϊκό άμα χορηγηθεί σε υψηλές ποσότητες μπορεί να προκαλέσει βλάβη στην υγεία των ορνίθων, καθώς και το χοιρινό λίπος ή τα έλαια από ηλίανθο και φάλαινα. Γενικότερα, η ποσότητα των λιπιδίων που απαιτείται να προσληφθεί είναι σχετικά μικρή (Ασπιώτης, Cramton, Craplet, Delage, Ferrando, Maynard κ.α.). Στο σιτηρέσιο φτάνει τα παρακάτω ποσοστά για τα αντίστοιχα ζώα:

- 1,45% για τον επίμυ
- 0,5g πεπτών λιπαρών ουσιών ανά kg ζ. βάρους για την γαλακτοπαραγωγό αγελάδα
- 1 g πεπτών λιπαρών ουσιών για την αίγα
- 1-1,5% του σιτηρεσίου για το χοίρο, 2-5,5% για το κουνέλι.

Γενικά πρέπει να αναφερθεί ότι ένα σιτηρέσιο το οποίο περιλαμβάνει ένα μικρό ποσοστό 2-3% λιπιδίων ,οι οποίες έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά όπως π.χ. ακόρεστα λιπαρά οξέα σε ποσοστό 55-75% στις όρνιθες ,αρκεί προκειμένου να καλύψει το ποσοστό των λιπαρών οξέων που χρειάζεται ένας οργανισμός. Το μικρό ποσοστό των λιπιδίων είναι

και ένας από τους λόγους που δεν απασχολεί ιδιαίτερα την εφαρμοσμένη διατροφή των ζώων, καθώς βρίσκεται πολύ εύκολα στα συνήθη σιτηρέσια και καλύπτει τις ανάγκες του οργανισμού σε τέτοιες ουσίες. Στην περίπτωση όμως που κάποιος επιθυμεί να εμπλουτίσει το σιτηρέσιο σε λιπαρές ουσίες, τότε το διαιτητικό θέμα των λιπιδίων αποκτά ιδιαίτερη σημασία. Αυτό οφείλεται στα προβλήματα που δημιουργούνται με την παρατεταμένη χρήση λιπαρών ουσιών πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια. Η πράξη αυτή θα μπορούσε να προκαλέσει δυσμενείς επιδράσεις τόσο στην υγεία όσο και στην αποδοτικότητα του ζώου. Μερικά από τα προβλήματα που θα μπορούσαν να προκληθούν είναι πεπτικές διαταραχές που εκδηλώνονται με διάφορες μορφές όπως π.χ. μείωση των γαστρικών εκκρίσεων, ελάττωση της πηκτικότητας των θρεπτικών ουσιών, διαρροϊκές κενώσεις κ.α. Αντίθετα όμως με μια μακρόχρονη χορήγηση λιπιδίων που δεν επαρκεί, ανάλογα με το είδος και την ποσότητα τους, θα μπορούσαν να εκδηλωθούν διαταραχές που είναι παρόμοιες με εκείνες που δημιουργεί η παντελής στέρηση ακόρεστων λιπαρών οξέων από την διατροφή. Παράλληλα, θα μπορούσε να επηρεάσει αρνητικά και τις ζωοκομικές αποδόσεις.

### **1.7. Η χρήση των λιπών για τη διατροφή θηλαστικών**

Λίγο μετά το τέλος του Β' παγκοσμίου πολέμου, υπήρχε μια ελάττωση στην κατανάλωση του σαπουνιού στις Η.Π.Α. γεγονός που προκλήθηκε από τη μεγάλη διάδοση των συνθετικών απορρυπαντικών (Βασιλόπουλος, 1985). Η μείωση αυτή σε συνδυασμό με την μείωση των ζωικών λιπών στη διατροφή του ανθρώπου, εξαιτίας της σύνδεσης τους με τις καρδιαγγειακές παθήσεις, εμφάνισαν πολλά πλεονάσματα λιπών. Έτσι δημιουργήθηκε η σκέψη να χρησιμοποιηθούν τα λίπη με ένα κερδοφόρο τρόπο, όπως θα μπορούσαν να αποτελέσουν με τη χρήση τους στη διατροφή των ζώων. Προκειμένου όμως να γίνει αυτό θα έπρεπε να ερευνηθεί άμα είναι εφικτό να προστεθούν τα λίπη στο σιτηρέσιο καθώς και τις επιδράσεις που θα μπορούσαν να προκαλέσουν στην υγεία και την αποδοτικότητα των ζωικών οργανισμών. Αυτό ώθησε πολλούς ερευνητές να στραφούν σε αυτήν την κατεύθυνση και να ασχοληθούν με εργασίες οι οποίες πρόσφεραν χρήσιμα συμπεράσματα στον τομέα αυτόν. Ένα από τα πολύτιμα αυτά συμπεράσματα ήταν ότι ο εμπλουτισμός της τροφής σε λίπη, κάτω από ορισμένες συνθήκες, συνέβαλλε στην καλύτερη εκμετάλλευση της καθώς και στην κατόρθωση ζωολογικών προϊόντων με οικονομικότερη απόδοση. Το γεγονός αυτό παρότρυνε τις βιομηχανίες που παρασκευάζουν μίγματα τροφίμων να αρχίσουν να χρησιμοποιούν τα λίπη στη διατροφή. Αναλυτικότερα, η χρήση των λιπών στη διατροφή διαφόρων ζώων έχει τις ακόλουθες κατηγορίες (Delage, Δημακόπουλος, Καλαισιάκης, NRC, Young κ.α.):

#### **Νεαρά μηρυκαστικά**

Α) Στη διατροφή των νεαρών μοσχαριών και αρνιών, κυρίως στην παρασκευή υποκατάστατων γάλακτος αντικαθίσταται για οικονομικούς λόγους το λίπος του γάλακτος από άλλες φθηνότερες λιπαρές ουσίες. Προκειμένου μια τέτοια αντικατάσταση να είναι επιτυχής, θα πρέπει οι λιπαρές ουσίες που επιλέγονται να διαθέτουν τα κατάλληλα, ανάλογα



με το είδος τους χαρακτηριστικά και παράλληλα η ενσωμάτωση τους να εκπληρώνει και ορισμένους όρους. Μια σημαντική προϋπόθεση πριν την προσθήκη τους είναι η σωστή αναλογία, η οποία εξαρτάται από το είδος της πρώτης ύλης που θα χρησιμοποιηθεί προκειμένου να παρασκευάσουν τα υποκατάστατα του γάλακτος. Ένα παράδειγμα αποτελεί η χρήση του νωπού αποβουτυρωμένου γάλακτος ως πρώτη ύλη που θα πρέπει να περιέχει προσθήκη λιπαρών ουσιών σε ποσοστό 0,5–5 %. Άμα δεν τηρηθούν τα όρια αυτά μπορεί να προκληθούν προβλήματα στα νεαρά μηρυκαστικά όπως διαρροϊκές καταστάσεις. Σε άλλες περιπτώσεις παρασκευής υποκατάστατων του γάλακτος, το αποβουτυρωμένο γάλα που χρησιμοποιείται έχει τη μορφή σκόνης και η προσθήκη των λιπών που προστίθενται κυμαίνεται από 18-25%. Με την αραίωση μιας τέτοιας σκόνης με νερό σε αναλογία 1:10 έχουμε αντιστοίχιση προς υποκατάστατο του γάλακτος με λιποπεριεκτικότητα 1,8 -2,5% . Οι λιπαρές ουσίες που υπάρχουν στο υποκατάστατο του γάλακτος επιβάλλεται να βρίσκονται με μορφή σταθερού γαλακτώματος που αποτελείται από λιθόσφαιρα με όσο το δυνατό μικρότερη διάμετρο από 20μ. Για τη σταθεροποίηση του γαλακτώματος χρησιμοποιούνται διάφορες ουσίες όπως οι λεκιθίνες. Επιπροσθέτως, θα πρέπει να πραγματοποιείται προσθήκη αντιοξειδωτικών ουσιών για να αποφευχθούν οι διάφορες ενδεχόμενες αλλοιώσεις των λιπαρών ουσιών (τάγγισμα).

Β) Στη διατροφή των μηρυκαστικών που απογαλακτίστηκαν, η προσθήκη των λιπαρών ουσιών στην τροφή τους έγινε με στόχο την καλύτερη εκμετάλλευση της τροφής και την ελάττωση του κόστους της ημερησίας αύξησης ζώντος βάρους. Τα αποτελέσματα όμως δεν ήταν επιθυμητά. Οι λιπαρές ουσίες που θα προστεθούν στην τροφή θα πρέπει να διαθέτουν κάποια χαρακτηριστικά ανάλογα με το είδος τους και να προστατεύονται από αντιοξειδωτικές ουσίες σε ποσοστό που δε ξεπερνά το 5%.

#### **Αγελάδες και αίγες σε γαλακτοπαραγωγή**

Η χρήση των λιπαρών ουσιών στη διατροφή των γαλακτοπαραγωγών αγελάδων και αιγών γίνεται με την ενσωμάτωση των λιπαρών ουσιών στα βιομηχανικά μίγματα συμπυκνωμένων τροφών καθώς και με την χορήγηση τους σε βασικά σιτηρέσια που αποτελούνται από τροφές που είναι φτωχές σε λιπαρές ουσίες όπως οι κόνδυλοι, οι ρίζες κ.α. Παράλληλα χρησιμοποιούνται και σε άλλες περιπτώσεις όπως όταν λόγω κάποιων καταστάσεων (άνοδος θερμοκρασίας κατά τις θερμές εποχές, περίοδος πρώτων μηνών γαλακτοπαραγωγής) μειώνεται η όρεξη των ζώων. Οι ουσίες αυτές θα πρέπει να προστίθενται σε ανάλογες ποσότητες όπως ισχύει και στην παραπάνω περίπτωση και τα ποσοστά της ενσωμάτωσης τους θα πρέπει να κυμαίνονται από 4-7 %. Η προσθήκη των λιπαρών ουσιών που κυμαίνονται στην παραπάνω αναλογία δεν επηρεάζει την λιποπεριεκτικότητα του γάλακτος αλλά μπορεί να μεταβάλλει τη σκληρότητα του βουτύρου που μπορεί να παραχθεί από αυτό.

### **Χοίροι σε ανάπτυξη**

Στη διατροφή των χοιριδίων που βρίσκονται σε ανάπτυξη ή τρέφονται με γάλα, προορίζονται συνήθως μίγματα τροφίμων με λιπαρές ουσίες που έχουν ως στόχο να αποτελέσουν μια πηγή ενέργειας για τα ζώα καθώς και να βελτιωθεί η εκμετάλλευσή τους αφού πρώτα όμως διατηρηθεί σωστά η λιποπρωτεϊνική αναλογία. Γενικά πρέπει να επιλέγονται σωστά οι διάφορες λιπαρές ουσίες που προστίθενται ανάλογα με την ποιότητα τους. Προκειμένου να ενσωματωθούν στην τροφή των χοιριδίων που βρίσκονται σε γαλουχία είτε σε ανάπτυξη πρέπει να τηρούν ορισμένες προϋποθέσεις όπως το να μην ξεπερνούν τα όρια του ποσοστού 4% και 5% αντίστοιχα και να βρίσκονται σε λεπτότατη διασπορά μέσα στο μίγμα των τροφίμων.

Περά όμως από τα πλεονεκτήματά τους, η χρήση των λιπαρών ουσιών στη διατροφή των αναπτυσσομένων χοίρων δεν συνίσταται πάντα επειδή έχουν την ικανότητα να μετασχηματίζουν τους υδατάνθρακες σε λίπη με αποτέλεσμα να υπάρχει μια ανεπιθύμητη αύξηση της αναλογίας λίπους /κρέατος στο σφάγιο. Η μοναδική περίπτωση που επιδιώκεται η χρήση των λιπαρών είναι όταν σκοπός είναι η εναπόθεση υποδόριου λίπους προκειμένου να παραχθεί λαρδί.

### **Σύες σε γαλακτοπαραγωγή**

Στην διατροφή των συών που βρίσκονται σε γαλακτοπαραγωγή, η προσθήκη των λιπαρών ουσιών είναι εφικτή και συνίσταται προκειμένου να υπάρχει αύξηση της λιποπεριεκτικότητας του γάλακτος. Όπως και στις παραπάνω περιπτώσεις οι αναλογίες των λιπαρών ουσιών που θα χρησιμοποιηθούν για αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να είναι συγκεκριμένες και κυμαίνονται μεταξύ 5-10%. Επίσης θα πρέπει να προστατεύονται με αντιοξειδωτικές ουσίες προκειμένου να μην αλλοιωθούν καθώς και να βρίσκονται στην τροφή σε λεπτότατη διασπορά.

### **Ορνίθια κρεατοπαραγωγής**

Στη διατροφή ορνιθίων κρεατοπαραγωγής χρησιμοποιούνται ευρύτατα οι λιπαρές ουσίες και παρουσιάζουν γενικότερα ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σε αντίθεση με τις άλλες κατηγορίες ζώων, όταν προστεθούν οι λιπαρές ουσίες στο σιτηρέσιο των ορνιθίων αυτών, παρατηρείται μια αξιόλογη βελτίωση της εκμετάλλευσης των ουσιών αυτών καθώς και επιτυγχάνεται πρακτικά ένα επιθυμητό αποτέλεσμα. Οι λιπαρές ουσίες είναι απαραίτητες καθώς αποτελούν μια σημαντική πηγή ενέργειας και κάποια σιτηρέσια πρέπει να είναι πλούσια σε ενέργεια. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα κρεατοπαραγωγά ορνίθια ταχύρρυθμης ανάπτυξης καθώς έχουν την ανάγκη από ένα πλούσιο σε ενέργεια σιτηρέσιο. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού το σιτηρέσιο θα πρέπει να είναι επαρκή και πλήρες σε λιπαρές ουσίες καθώς τα συνηθισμένα τρόφιμα που χορηγούνται δεν μπορούν να καλύψουν τα απαιτούμενα ποσά ενέργειας ώστε να παρασκευαστεί από αυτά ένα μίγμα το οποίο θα διαθέτει την απαραίτητη ενεργειακή αξία. Για την κατόρθωση τέτοιου μίγματος είναι λοιπόν χρήσιμη η προσθήκη των λιπαρών ουσιών αφού σε αυτές οφείλονται

τα σημαντικά ποσά των θερμίδων. Και σε αυτήν την περίπτωση η ενσωμάτωση των λιπαρών ουσιών στα τρόφιμα θα πρέπει να γίνεται μέσα σε ορισμένα όρια καθώς και να βρίσκονται μέσα στα τρόφιμα σε λεπτότατη διασπορά και να προστατεύονται με αντιοξειδωτικές ουσίες για να μην αλλοιωθούν. Τα όρια αυτά δεν ξεπερνούν το 5% στα εναρκτήρια σιτηρέσια και το 10% στα τελικά σιτηρέσια. Τέλος, το κόστος για την αγορά των απαραίτητων λιπαρών ουσιών που χρειάζονται για τη σύνθεση ενός σιτηρεσίου ή για την επεξεργασία της ενσωμάτωσης τους θα πρέπει να συμφέρει οικονομικά. Αυτό σημαίνει ότι η δαπάνη της παραγωγής των προϊόντων που διαθέτουν λιπαρές ουσίες θα πρέπει να είναι μικρότερη από το κόστος που θα δημιουργούνταν άμα χρησιμοποιούσαν τροφές που δεν περιέχουν λίπη.

### **Όρνιθες σε ωοτοκία**

Γενικά υπάρχει μια διαφωνία των διάφορων ερευνητών που σχετίζεται με την ενσωμάτωση των λιπαρών ουσιών στη διατροφή των ωοτόκων ορνίθων. Άλλοι υποστηρίζουν ότι είναι δυνατή η προσθήκη λιπαρών ουσιών στο σιτηρέσιο των ορνίθων εφόσον τα τρόφιμα που το αποτελούν δεν καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες των ζώων για την ορθολογική διατροφή τους. Επίσης τονίζουν ότι μερικές φορές επιβάλλεται η προσθήκη των λιπαρών ουσιών στη διατροφή των ελαφρύσωμων φυλών ορνίθων καθώς πρέπει να τρέφονται με μικρού όγκου τροφές που περιέχουν όμως μεγάλα ποσά ενέργειας. Από την άλλη, μια άλλη ομάδα ερευνητών υποστηρίζουν ότι πρέπει να δημιουργηθεί το κατάλληλο σιτηρέσιο για τις όρνιθες σε ωοτοκία χωρίς όμως να περιλαμβάνει λιπαρές ουσίες. Την άποψη αυτήν την αποδίδουν στο γεγονός ότι μπορεί να προκληθούν αρνητικές επιδράσεις τόσο στην ποιότητα των αυγών όσο και στην υγεία των πτηνών. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι οι όρνιθες που βρίσκονται σε προχωρημένη ηλικία έχουν μια τάση πάχυνσης, η οποία επηρεάζεται από την κατάσταση των ορμονών της όρνιθας που βρίσκεται σε ωοτοκία, και επιδεινώνεται όταν καταναλώνει τροφές που περιέχουν λιπαρές ουσίες.

Συνοψίζοντας, σε περίπτωση προσθήκης λιπαρών ουσιών στην τροφή θα πρέπει να επιλέγονται σωστά με βάση κάποια απαραίτητα χαρακτηριστικά και το ποσοστό τους να μην ξεπερνά τα επιτρεπόμενα όρια. Έτσι δεν θα πρέπει να ξεπερνούν το 3% στο σιτηρέσιο. Επιπροσθέτως, η συμμετοχή των λιπαρών ουσιών θα πρέπει να συνοδεύεται από λιπότροπους παράγοντες όπως η χολίνη. Ιδιαίτερα στο στάδιο της ωοτοκίας δεν θα πρέπει να παραβλέπονται γιατί οι ανάγκες σε ενέργεια είναι περισσότερες από τις ανάγκες σε άλλες περιόδους. Σε περίπτωση που μεταβληθεί η διατροφή των ορνίθων θα πρέπει να είναι σταδιακή η προσθήκη των λιπαρών ουσιών στην τροφή τους. Τέλος, θα πρέπει να συμφέρει οικονομικά το κόστος της ενσωμάτωσης των λιπαρών ουσιών στην τροφή που περιλαμβάνει το κόστος της αγοράς τους, της επεξεργασίας τους κλπ. και να μην επιβαρύνει το κόστος των παραγόμενων αυγών που θα μπορούσε να επιτευχθεί και με τη χρήση τροφών που δεν περιέχουν λιπαρές ουσίες.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΨΗ**

### **2.1. Εισαγωγή**

Κατά το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα πραγματοποιήθηκαν πολλές έρευνες σχετικά με τον μεταβολισμό των υδατανθράκων και των λιπιδίων στα αγροτικά ζώα προκειμένου να αυξηθεί η αποδοτικότητα της παραγωγής και να βελτιωθεί η ποιότητα και η αποδοχή των ζωικών τροφών (Bauman,Perfield,Veth,Lock). Επιπροσθέτως, κάποιες μελέτες απορρόφησης των λιπιδίων και του μεταβολισμού στα ζώα παραγωγής, εστιάστηκαν στο ρόλο διαιτητικών λιπιδίων για την παραγωγή ενέργειας καθώς και την εναπόθεση λίπους σε κρέας, γάλα και αυγά (Nafikov,Beitz). Διεξήχθη επίσης έρευνα για την καλύτερη κατανόηση της βιοχημείας και του μεταβολισμού των ζωικών ειδών με τελική εφαρμογή στη βιομηχανία τροφίμων. Το ενδιαφέρον για αυτούς τους τομείς παραμένει έντονο λόγω της σημασίας της απόθεσης του λίπους για τον προσδιορισμό της απόδοσης και, ως εκ τούτου, της κερδοφορίας, του κρέατος και της γαλακτοπαραγωγής. Το περιεχόμενο και η σύνθεση λίπους σε ζωικά προϊόντα έχει γίνει όλο και πιο σημαντικό για τις αντιλήψεις των καταναλωτών σχετικά με την υγιεινή του κρέατος και του γάλακτος. Παράλληλα, η γνώση σχετικά με τις βασικές διατροφικές έννοιες και τις διαφορές στο μεταβολισμό μεταξύ των αγροτικών ζώων έχει συσσωρευτεί και έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την καλύτερη κατανόηση διαφορετικών προβλημάτων υγείας στους ανθρώπους, όπως η παχυσαρκία, η αθηροσκλήρωση, ο διαβήτης και άλλα που σχετίζονται με διαταραχές του μεταβολισμού και της διατροφής. Επιπλέον, ο μεταβολισμός των λιπιδίων στο ήπαρ αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο των ζώων παραγωγής και αποτελεί βασικό παράγοντα για την ανάπτυξη των μεταβολικών διαταραχών όπως η κέτωση και η λιπώδης εκφύλιση του ήπατος. Πολλοί ερευνητές συνέβαλαν σημαντικά στην κατανόηση της σύνθεσης καθώς και της πέψης υδατανθράκων και λιπιδίων κατά τη διάρκεια του τελευταίου μισού αιώνα, και στην κατανόησή μας για την εξέλιξη και την ανάπτυξη ζώων που παράγουν κρέας (π.χ. χοίροι και βοοειδή) ή γάλα. (Bauman,Perfield,Veth,Lock,2003). Εν συνεχεία, πρέπει να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια ανακαλύφθηκαν πολλοί νέοι ρόλοι λιπιδίων όπως όπως ο ρόλος τους ως βιολογικοί μεσολαβητές και δευτερογενείς νευροδιαβιβαστές (Nafikov,Beitz,2007).Αυτά τα ευρήματα θα χρησιμεύσουν ως βάση για τους σημερινούς και μελλοντικούς βιολόγους των ζώων να αναπτύξουν νεότερες ιδέες και μεθόδους για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της μετατροπής των ζωοτροφών σε τρόφιμα και της υγιεινής αυτών των τροφίμων για την κατανάλωση του ανθρώπου.

### **2.2. Μεταβολισμός και πέψη λιπών και λιπαρών οξέων στην αγελάδα γαλακτοπαραγωγής**

Τόσο η πέψη όσο και ο μεταβολισμός των λιπαρών οξέων στην αγελάδα γαλακτοπαραγωγής ενδιαφέρουν τους επιστήμονες αλλά και την γαλακτοβιομηχανία

(Bauman,Lock,2006). Το ενδιαφέρον αυτό βασίζεται σε διάφορους λόγους όπως είναι η αυξανόμενη χρήση των διαιτητικών συμπληρωμάτων λίπους, καθώς και το γεγονός ότι οι διατροφολόγοι προσπαθούν να αυξήσουν την ενεργειακή πυκνότητα των διαιτών για την ικανοποίηση των διατροφικών απαιτήσεων της αγελάδας γαλακτοπαραγωγής. Επίσης, είναι πλέον γνωστό ότι παράγονται συγκεκριμένα λιπαρά οξέα στην μεγάλη κοιλία που είναι ισχυροί ρυθμιστές στη σύνθεση του λίπους του γάλακτος στον μαστικό αδένα. Μια πρόσφατη εξέλιξη είναι η αναγνώριση ότι τα συγκεκριμένα λιπαρά οξέα που παράγονται στην μεγάλη κοιλία επίσης διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο σαν μόρια σηματοδότησης που εμπλέκονται στην έκφραση συγκεκριμένων γονιδίων και στη ρύθμιση μεταβολικών διεργασιών. Τέλος, πρόσφατες ανακαλύψεις έδειξαν ότι τα λιπαρά οξέα μπορεί να έχουν συγκεκριμένες και ισχυρές επιπτώσεις στο μεταβολισμό των μηρυκαστικών και στην ανθρώπινη υγεία και υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για τη δυνατότητα σχεδιασμού φυσικών προϊόντων διατροφής με αυξημένα επίπεδα αυτών των λιπαρών οξέων (Drackley,2000).

### **2.3. Πέψη και μεταβολισμός των λιπαρών ουσιών.**

Ο μεταβολισμός και η πέψη είναι δυο διαδικασίες οι οποίες συνδέονται αλληλένδετα μεταξύ τους καθώς μετά από τη διαδικασία της πέψης επέρχεται η σειρά των βιοχημικών αντιδράσεων του μεταβολισμού (Καραμήτρος, 2004). Μέσω της πέψης τα ζώα έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν τα θρεπτικά συστατικά της τροφής που συνήθως έχουν μορφή μεγάλων μορίων και αυτό δυσκολεύει το πέρασμα τους στο τοίχωμα του πεπτικού σωλήνα του ζώου. Με την πέψη όμως επιτυγχάνεται η χημική διάσπαση των θρεπτικών συστατικών σε μικρότερα και εν συνεχεία η απορρόφηση τους από το τοίχωμα του πεπτικού συστήματος των ζώων για να εισχωρήσουν μέσω του αίματος στην κυκλοφορία και να χρησιμοποιηθούν από το ζωικό οργανισμό.

### **2.4. Η διαδικασία της πέψης**

Η πέψη των τροφών γίνεται σε διάφορα στάδια και είναι μηχανική ή χημική. Στη λειτουργία της πέψης συμμετέχουν τα διάφορα μέρη του πεπτικού σωλήνα καθώς και τα συμπληρωματικά όργανα της πέψης αλλά με διαφορετικό τρόπο (Καραμήτρος,2004). Η λειτουργία της πέψης ξεκινά από την αρχική ώρα κατανάλωσης της τροφής έως την ώρα που θα απομακρυνθεί από τον οργανισμό μέσω των κοπράνων. Στην μηχανική πέψη περιλαμβάνεται και η άλεση των ζωοτροφών μέσω της οποίας σπάνε τα κυτταρικά τοιχώματα των φυτικών ζωοτροφών διευκολύνοντας έτσι τη δράση των πεπτικών υγρών και ενζύμων στο περιεχόμενο του κυττάρου της τροφής που βρίσκονται τα θρεπτικά συστατικά. Έτσι αρχικά η τροφή μασιέται στο στόμα και ανακατεύεται με τη σίελο προκειμένου να μπορέσει να γλιστρήσει στο στομάχι. (Ξαπλαντέρη,2015 ). Υπάρχουν διάφοροι τρόποι στη μάσηση της τροφής γι'αυτό κάποια ζώα τη μασάνε πλήρως, αλλού είναι επιπόλαιη ενώ αλλού μπορεί να καταπίνεται χωρίς μάσηση. Τα μηρυκαστικά έχουν τη δυνατότητα να ξανά επαναφέρουν την τροφή από την μεγάλη κοιλία στο στόμα και να την αναμασήσουν. Η χημική πέψη είναι η διάσπαση των μεγάλων σε μέγεθος μοριακών χημικών ενώσεων, σε

απλούστερες, ενώσεις, και γίνεται με τη βοήθεια του υδροχλωρικού οξέος και των διαφόρων ενζύμων. Τα ενζυμα αυτά μπορεί να προέρχονται είτε από τις ζωοτροφές είτε από τους αδένες και τα μικρόβια του πεπτικού συστήματος των ζώων. Με τη μάζηση διασπώνται οι απλοί υδατάνθρακες των τροφών μέσω των ενζύμων που περιέχονται στο σίελο. Στη συνέχεια, η τροφή μεταφέρεται με την κατάποση από τον οισοφάγο στο στομάχι. Εκεί περά ξεκινά το βασικό μέρος της πέψης των τροφών. Οι πρωτεΐνες διασπώνται σε αμινοξέα και οι υδατάνθρακες σε μικρότερο βαθμό υφίστανται διεργασία πέψης και όχι σε όλα τα ζώα. Μετά την μετατροπή της τροφής σε χυλό μεταφέρεται στο λεπτό έντερο το οποίο αποτελείται από τρία μέρη : το δωδεκαδάκτυλο, την νήστιδα και τον ειλεό. Η πέψη στο λεπτό έντερο έχει αρκετά κοινά στα περισσότερα παραγωγικά ζώα. Στο δωδεκαδάκτυλο γίνεται κατά κύριο λόγο η υπόλοιπη πέψη ενώ η απορρόφηση γίνεται κυρίως στην νήστιδα και τον ειλεό. Στο δωδεκαδάκτυλο υπάρχουν ειδικά ενζυμα που αναμειγνύονται με το χυμό και συνεχίζουν την πέψη υδατανθράκων και πρωτεϊνών που διέφυγαν από το στομάχι καθώς και την πέψη των λιπών. Τα παράγωγα των πρωτεϊνών, υδατανθράκων και λιπών αντίστοιχα δηλαδή τα αμινοξέα, τα απλά σάκχαρα και τα λιπαρά οξέα αντίστοιχα απορροφώνται με τη βοήθεια των λαχνών του λεπτού εντέρου. Μετά την απορρόφηση τους εισέρχονται στην κυκλοφορία του αίματος και της λέμφου και χρησιμοποιούνται προκειμένου να αξιοποιηθούν οι ζωτικές ανάγκες των παραγωγικών ζώων. Αντίθετα τα συστατικά των ζωοτρόφων που διέφυγαν από το λεπτό έντερο μεταφέρονται ύστερα στο παχύ το οποίο αποτελείται από τρία μέρη : το τυφλό, το κόλον και το απευθυσμένο. Το τυφλό έντερο σε κάποια ζώα όπως στα μονόπλαστα μηρυκαστικά και στο κουνέλι είναι περισσότερο ανεπτυγμένο και διαθέτει μικροχλωρίδα παρόμοια με αυτή που διαθέτουν οι προστόμαχοι των μηρυκαστικών. Αυτό το καθιστά δυνατό να διασπάσει την κυτταρίνη των χονδροειδών τροφών που διέφυγε από τους προστόμαχους των ζώων ή που δεν έχει υποστεί καθόλου πέψη στα μονογαστρικά. Αυτός είναι και ο λόγος που τα μόνοπλα και το κουνέλι παρόλο που δεν είναι μηρυκαστικά μπορούν να καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες χονδροειδών τροφών σε αντίθεση με τα πτηνά και το χοίρο που δεν διαθέτουν μεγάλο χώρο τυφλού εντέρου και δεν μπορούν να πέψουν μεγάλες ποσότητες. Στη συνέχεια, απορροφάται το νερό από τα αιμοφόρα τριχοειδή αγγεία και αποβάλλονται με την κόπρο μαζί με τα άλλα άπεπτα υλικά.

## **2.5. Πέψη της τροφής στα μονογαστρικά ζώα**

Στα μονογαστρικά ζώα η διαδικασία της πέψης γίνεται όπως προαναφέρθηκε παραπάνω δηλαδή η τροφή αναμειγνύεται με τη σίελο και περνάει μέσω του οισοφάγου στο στομάχι που εκεί ξεκάνει το κύριο μέρος της πέψης. (Παπαγεωργίου κ.α.,1999). Τότε πραγματοποιείται η πέψη των λιπών και η παραγωγή γλυκερίνης και λιπαρών οξέων. Η τροφή αφού μετατραπεί σε χυλό προχωράει στο λεπτό έντερο που πραγματοποιείται η υπόλοιπη διαδικασία της πέψης στο δωδεκαδάκτυλο. Ύστερα τα παράγωγα των λιπιδίων, πρωτεϊνών κλπ, απορροφώνται με τη βοήθεια των λαχνών του λεπτού εντέρου και

εισέρχονται στην κυκλοφορία του αίματος και της λέμφου και χρησιμοποιούνται για να ικανοποιήσουν τις ζωτικές ανάγκες των παραγωγικών ζώων.

## 2.6. Πέψη της τροφής στα μηρυκαστικά ζώα

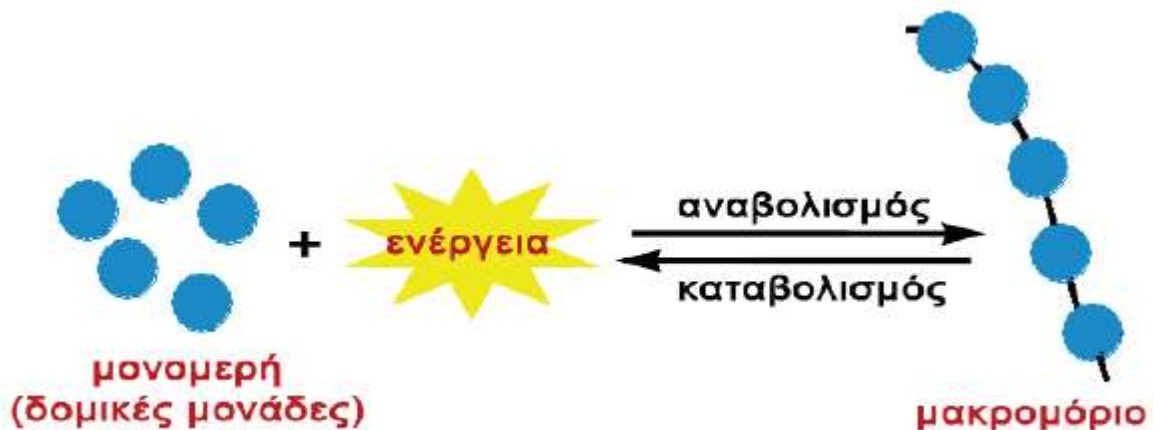
Σε αντίθεση με τα μονογαστρικά, ο στόμαχος των μηρυκαστικών είναι πολλαπλός και διακρίνεται σε τέσσερα διαμερίσματα: τη μεγάλη κοιλία, τον κεκρύφαλο, τον εχίνο και το ήνυστρο που αποτελεί το κυρίως στομάχι (Μάγρας, Αντωνόπουλος, 2003). Ο προστόμαχος μαζί με το ήνυστρο αποτελεί το σύνθετο στομάχι των μηρυκαστικών. Με την ηλικία του ζώου μεταβάλλεται και το μέγεθος των παραπάνω διαμερισμάτων. Έτσι ενώ κατά τη γέννηση του ζώου η μεγάλη κοιλία και ο κεκρύφαλος είναι μικρότεροι σε μέγεθος σε σχέση με το ήνυστρο καθώς ενηλικιώνεται το ζώο αυτοί αυξάνονται ραγδαία και αργότερα αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των τεσσάρων τμημάτων (92%). Σε αυτό επιδρά η διατροφή μέσω της πρόσληψης άλλων τροφών πέρα από γάλα όπως συμπυκνωμένες τροφές και ιδιαίτερα χονδροειδείς. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι στα πρώτα στάδια της ζωής του το μηρυκαστικό θα πρέπει να θεωρείται ως μονογαστρικό (Νικολακάκης, 2006).

Η διαδικασία της πέψης ξεκάνει με τη λήψη της τροφής και την ανάμειξη της με σάλιο. Με τη μάσηση σχηματίζεται ο βλωμός ο οποίος καταπίνεται και αποθηκεύεται στη μεγάλη κοιλία. Οι ρυθμικές κινήσεις των τοιχωμάτων της μεγάλης κοιλίας αναμιγνύουν το περιεχόμενο της με αποτέλεσμα τα χονδροειδέστερα υλικά να προωθούνται προς το καρδιακό στόμιο του οισοφάγου, έτσι ώστε να είναι εύκολη η αναρρόφηση τους κατά τον μηρυκασμό. Γενικά, ως μηρυκασμό εννοούμε την επαναφορά στο στόμα από την μεγάλη κοιλία και τον κεκρύφαλο μικρών ποσοτήτων του περιεχόμενου αυτών, την επιμελέστερη και βραδεία επαναμάσηση τους σε συνδυασμό με την ενσιάλωση και την επανακατάπωση τους. Παράλληλα με τον εφοδιασμό της τροφής και τις συστάσεις των τοιχωμάτων της μεγάλης κοιλίας αυξάνεται η επαφή των μικροοργανισμών της μεγάλης κοιλίας με τις τροφές. Έτσι, η διάσπαση της τροφής στην μεγάλη κοιλία προκαλείται από ένζυμα τα οποία παράγονται από τα βακτήρια και τα πρωτόζωα. Η συμμετοχή των μικροοργανισμών αυτών στη διαδικασία της πέψης είναι πολύ σημαντική καθώς πέπτεται περίπου το 50-70% της πέψιμης ξηρής ουσίας της τροφής με αποτέλεσμα μόνο το 30-50% των διαλυτών ενώσεων και αερίων που παράγονται να συνεχίζουν τη δίοδο στα υπόλοιπα τμήματα του πεπτικού σωλήνα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ

### 3.1. Διάμεσος μεταβολισμός

Το σύνολο των χημικών μεταβολών που διεξάγονται στα κύτταρα των διαφόρων ιστών και οργάνων του σώματος και αποβλέπουν στη μεταβολή της ύλης και της ενέργειας, σε μορφές κατάλληλες για τη θρέψη των κυττάρων, ονομάζεται διάμεσος μεταβολισμός. (Ζέρβας, 2005). Μέσω της διαδικασίας του μεταβολισμού πραγματοποιείται και η μετατροπή και μεταποίηση ουσιών σε άλλες μέσα στο σώμα του ζώου, μετά την πέψη και την απορρόφηση τους. Ο μεταβολισμός διακρίνεται σε καταβολισμό και αναβολισμό. Στην πραγματικότητα δεν διαχωρίζονται μεταξύ τους καθώς ο μιν καταβολισμός αποβλέπει στην παραγωγή ενέργειας και πρώτων υλών μέσω των όποιων θα πραγματοποιηθεί ο αναβολισμός, ο οποίος δεν αρχίζει μόνο από τα απλά προϊόντα του καταβολισμού αλλά και από τα ενδιάμεσα. Ουσιαστικά ο αναβολισμός και ο καταβολισμός αποτελούν αντίστροφες πορείες της ίδιας διαδικασίας. Επίσης κατά τη διαδικασία του μεταβολισμού παράγονται και διάφορα άχρηστα για τον οργανισμό προϊόντα τα οποία αποβάλλονται (ουρία), καθώς επίσης και ενέργεια που χρησιμοποιείται για παραγωγή μηχανικού και χημικού έργου.



**Αναβολισμός** είναι η διαδικασία κατά την οποία από απλούστερες ουσίες παράγονται πολυπλοκότερες. (Ξαπλαντέρη, 2015). Στη βιβλιογραφία παρουσιάζεται και ως η διαδικασία βιοσύνθεσης των μακρομορίων του κυττάρου, δηλαδή των πρωτεϊνών, λιπιδίων, υδατανθράκων και νουκλεϊκών οξέων, από μικρότερες δομικές μονάδες. Η σύνθεση αυτή πραγματοποιείται με αντιδράσεις πολυμερισμού των δομικών μονάδων ή αλλιώς των μονομερών. Αρχικά συντίθενται οι δομικές μονάδες και στη συνέχεια δημιουργούνται τα μακρομόρια του κυττάρου. Κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί πως ως δομικές μονάδες των πρωτεϊνών χρησιμοποιούνται τα αμινοξέα, των νουκλεϊκών οξέων τα νουκλεοτίδια των υδατανθράκων οι μονοσακχαρίτες και των λιπιδίων τα λιπαρά οξέα. Οι αντιδράσεις του αναβολισμού είναι ενδόθερμες καθώς χρειάζονται ενέργεια για την πραγματοποίησή τους. Συγκεκριμένα απαιτείται η κατανόηση τριφωσφορικής αδενοσίνης ATP και αναγωγικής

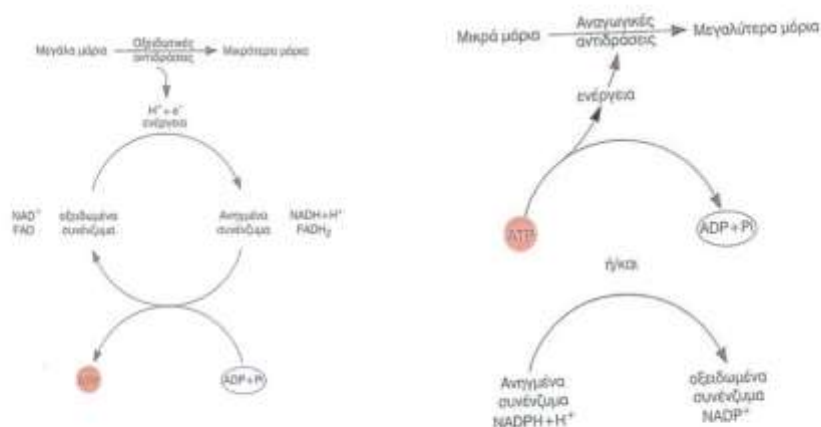


ισχύος δηλαδή νικοτιναμίδο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο NADH, και η ανηγμένη του μορφή NADPH.

**Καταβολισμός** είναι η διαδικασία κατά την οποία πολύπλοκες ουσίες αποδομούνται και δίνουν απλούστερες. Αποτελεί την αντίστροφη πορεία του αναβολισμού και περιλαμβάνει όλες εκείνες τις χημικές αντιδράσεις κατά τις οποίες είναι δυνατή η διάσπαση των μακρομορίων σε μικρότερα. Οι αντιδράσεις του καταβολισμού είναι εξώθερμες καθώς κατά την πραγματοποίησή τους αποδίδουν ενέργεια στο περιβάλλον. Με άλλα λόγια παράγεται ATP και απελευθερώνεται αναγωγική ισχύς με τη μορφή NADH, NADPH και FADH<sub>2</sub>. Προκειμένου να επιτευχθεί ο μεταβολισμός, ανεξαρτήτου της μορφής που έχει, είναι απαραίτητη η συνδρομή πληθώρας ουσιών που ονομάζονται ένζυμα. Τα ένζυμα είναι απαραίτητα και για την αποδόμηση (καταβολισμός) αλλά και τη δημιουργία (αναβολισμός) ουσιών.

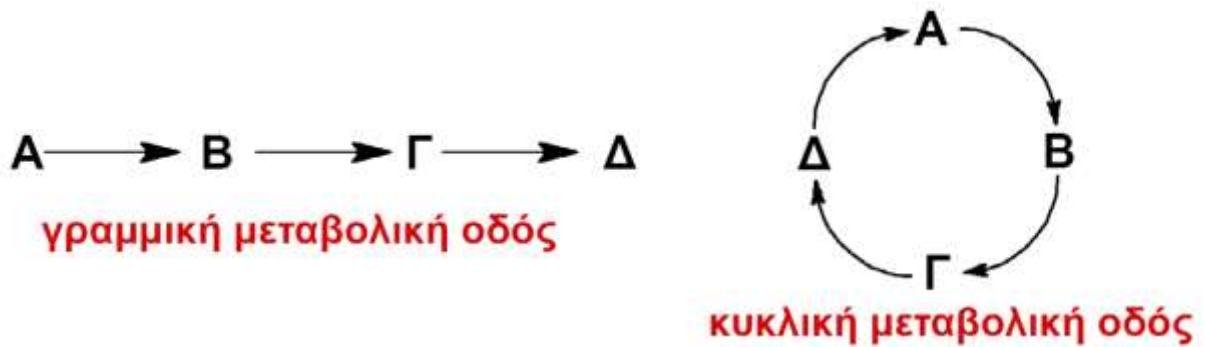
## ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ

### Καταβολισμός    Αναβολισμός



Τόσο η αντίδραση του αναβολισμού όσο και του καταβολισμού αποτελούνται από μία σειρά διαδοχικών ενζυμικών αντιδράσεων οι οποίες είναι γνωστές ως μεταβολικές οδοί. Ο όρος μεταβολική οδός περιλαμβάνει μία σειρά βιοχημικών αντιδράσεων κατά τις οποίες ένα αρχικό μόριο μετατρέπεται σε ένα τελικό προϊόν. Οι κυτταρικές μεταβολικές οδοί διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Τις γραμμικές μεταβολικές οδούς όπου το αρχικό προϊόν Α μετατρέπεται στο Δ
- Τις κυκλικές μεταβολικές οδούς όπου το αντιδρών Α αναγεννιέται στο τέλος του κύκλου



### 3.2.Σκοπός του μεταβολισμού

- 1) Η παραγωγή των πρώτων υλών καθώς και η χρησιμοποίησή τους προκειμένου να βοηθήσουν στη σύνθεση διαφόρων ουσιών που είναι απαραίτητες για τη ζωή ( π.χ. οι ορμόνες) ,μαζί με την αποταμίευση τους στο σώμα και την αποβολή τους από αυτό ώστε να πραγματοποιηθούν φυσιολογικά οι λειτουργίες του οργανισμού (π.χ. γάλα, αυγά).
- 2) Η ανανέωση κάποιων συστατικών του σώματος όπως π.χ. τα ερυθρά αιμοσφαίρια. Παρόλο που εξωτερικά η σύσταση του οργανισμού φαίνεται αμετάβλητη, πραγματοποιείται συνεχώς η ανανέωση αυτή με αλλαγή και αντικατάσταση των μορίων του οργανισμού. Η ταχύτητα της αντικατάστασης των φαινομένων αυτών δεν είναι σταθερή καθώς εξαρτάται από το είδος του ιστού και από το είδος της χημικής ένωσης.
- 3) Η εξουδετέρωση διαφόρων τοξικών ουσιών που είτε παράγονται μέσα στον οργανισμό (αμμωνία) κατά τον μετασχηματισμό της ύλης είτε εισάγονται με την τροφή (γλυκοζίτες).
- 4) Η παραγωγή ενέργειας προκειμένου να εξασφαλίσει :
  1. την εκτέλεση των παραπάνω χημικών διεργασιών,
  2. τη λειτουργία των διαφόρων οργάνων του σώματος,
  3. τη σταθερότητα της θερμοκρασίας του σώματος (Ζέρβας, 2005).

### 3.3.Μεταβολισμός λιπαρών ουσιών

Όπως αναφέρθηκε και πριν μέσα από τη διαδικασία της πέψης , πέπτονται τα θρεπτικά συστατικά και μέσω του πεπτικού σωλήνα, απορροφούνται από όλο το μήκος του πεπτικού συστήματος και πιο πολύ από το λεπτό έντερο. Εν συνεχεία, μεταφέρονται μέσω του αίματος στα όργανα, στους ιστούς και στα κύτταρα του σώματος , όπου θα χρησιμοποιηθούν για να παράγουν πολύπλοκες ή απλούστερες ενώσεις. Τόσο στα μονογαστρικά όσο και στα μηρυκαστικά, τα λίπη των τροφών στο στομάχι διασπώνται σε δυο συστατικά, τα όποια είναι η γλυκερίνη και τα λιπαρά οξέα. Η γλυκερίνη και τα λιπαρά οξέα αφού απορροφηθούν από το πεπτικό σύστημα, ξανασμίγουν πάλι μέσα στον οργανισμό του ζώου προκειμένου να ξανασχηματίσουν λίπη. Μερικά από αυτά τα λίπη θα αποτεθούν στο πρωτόπλασμα και τις κυτταρικές μεμβράνες σαν οργανωτικό λίπος και τα υπόλοιπα θα αποτεθούν στην κοιλιακή

χώρα, υποδορίως κλπ σαν αποταμιευτικό λίπος. Γενικότερα, οι μελέτες που σχετίζονται με τον μεταβολισμό του λίπους εντός της μεγάλης κοιλίας αφορούν την παραγωγή λιπαρών οξέων κυρίως καθώς και το μεταβολισμό των οξέων αυτών από το μικροβιακό πληθυσμό. Εντός της μεγάλης κοιλίας υπάρχουν δυο σημαντικές μικροβιακές μεταβολικές διεργασίες του λίπους που είναι η λιπόλυση, η υδρόλυση και η βιοϋδρογόνωση. Παρακάτω θα αναλυθούν μερικά στάδια που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια του μεταβολισμού.

### **Υδρόλυση**

Η υδρόλυση που μπορούν να υποστούν τα λίπη είναι μια διαδικασία η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί κάτω από φυσικές συνθήκες με την επίδραση ειδικών ενζύμων (λιπάσες) γι' αυτό καλείται και λιπόλυση (Ζέρβας, Κανδύλης). Με την διαδικασία της λιπόλυσης έχουμε την παραγωγή συνήθως μειγμάτων μόνο και διακυλ-γλυκερολών με ελεύθερα λιπαρά οξέα, τα περισσότερα από τα οποία είναι άοσμα και άγευστα. Κάποια από αυτά ωστόσο όπως το βουτυρικό και το καπροϊκό έχουν μια εξαιρετικά δυσάρεστη οσμή και γεύση. Τα τρόφιμα που έχουν υποστεί τέτοια διάσπαση λίπους δεν είναι εύληπτα από τον άνθρωπο ή τα ζώα. Το πρώτο στάδιο της λιπόλυσης αποτελεί μια ενδημική υδρόλυση που ξεκινά με τη βοήθεια ειδικών ενζύμων που ονομάζονται λιπάσες, οι οποίες διασπούν τους εστερικούς δεσμούς και είναι πολύ διαδεδομένες στο ζωικό οργανισμό. Αυτές βρίσκονται σε μεγάλα ποσά κυρίως στο πάγκρεας, το ήπαρ και το τοίχωμα του γαστρεντερικού σωλήνα. Με την προσκόλληση ενός μορίου  $H_2O$  στο μόριο ενός τριγλυκεριδίου έχουμε την ελευθέρωση ενός λιπαρού οξέως και του αντίστοιχου διγλυκεριδίου. Αν παραταθεί η ενδημική δράση έχουμε και την ελευθέρωση του δεύτερου ή και τρίτου λιπαρού οξέως, με τελικά προϊόντα γλυκερόλη και λιπαρά οξέα (Λιαμάδης, 2000). Υστέρα, γίνεται η ζύμωση της γλυκερόλης και η παραγωγή του κύριου προϊόντος που είναι το προπιονικό οξύ. Επίσης τα λιπαρά οξέα μπορούν να απελευθερώνονται και από γαλακτολιπίδια και φωσφολιπίδια φυτικής προέλευσης υπό την επίδραση των λιπασών των μικροοργανισμών της μεγάλης κοιλίας. Η υδρόλυση αυτών των οστεοποιημένων λιπών οφείλεται στη δράση δυο ομάδων ενζύμων που είναι οι γαλακτοζιδάσες και οι φωσφολιπάσες οι οποίες παράγονται από μικροοργανισμούς στη μεγάλη κοιλία. Παράλληλα, εντός της μεγάλης κοιλίας υδρολύονται και τα διγαλακτογλυκερίδια και τα τριγλυκερίδια φυτικής προέλευσης και τα απελευθερωθέντα ακόρεστα λιπαρά οξέα μετατρέπονται σε κεκορεσμένα και μονοακόρεστα λιπαρά οξέα. Στη μεγάλη κοιλία υπάρχουν και κάποια βακτήρια και πρωτόζωα που διαθέτουν την ικανότητα της στερεοεξειδικευμένης υδρογόνωσης των ακόρεστων λιπαρών οξέων. Στο δωδεκαδάκτυλο πραγματοποιείται η εκτεταμένη λιπόλυση των λιπών του σιτηρεσίου ενώ στο λεπτό έντερο γίνεται η απορρόφηση τους. Επιπρόσθετα, η λιπόλυση γίνεται πριν την υδρογόνωση των λιπών στη μεγάλη κοιλία και πριν την οξείδωση των λιπών στο σώμα. Με τον όρο υδρολυτική τάγγιση εννοούμε την υδρολυτική διάσπαση, που προκαλούν οι λιπάσες που προέρχονται από τους σαπροφυτικούς μύκητες (Κανδύλης, 2006).

### Βιοϋδρογόνωση

Αφού καταναλωθούν οι λιπαρές ουσίες μέσω της τροφής υφίστανται υδρόλυση στη μεγάλη κοιλία, η οποία ακολουθείται από μια προοδευτική διαδικασία που είναι η πρόσληψη υδρογόνου από τα λιπαρά οξέα και ο μετασηματισμός τους σε λιγότερο ακόρεστα ή και κορεσμένα λιπαρά οξέα (Ζέρβας, 2005). Με αυτήν την διαδικασία μπορεί π.χ. το ελαϊκό οξύ που διαθέτει 18 άτομα άνθρακα και ένα διπλό δεσμό, να πάρει δυο άτομα υδρογόνου και να μετατραπεί σε στεατικό οξύ, που είναι το αντίστοιχο κορεσμένο (Λιαμάδης, 2000). Η διαδικασία αυτή μας βοηθά να κατανοήσουμε το γεγονός ότι παρόλο που τα λίπη των σιτηρεσίων των μηρυκαστικών είναι κυρίως ακόρεστα, τα σωματικά λίπη είναι κορεσμένα.

Αρχικά τα ελευθέρα λιπαρά οξέα που βρίσκονται εντός της μεγάλης κοιλίας, έχουν σχετικά μικρούς χρόνους υποδιπλασιασμού καθώς υδρογονώνονται ταχέως από τους μικροοργανισμούς σε περισσότερο κεκορεσμένα τελικά προϊόντα. Η παραπάνω μικροβιακή οδός δεν έχει διαλευκανθεί πλήρως, φαίνεται ωστόσο ότι αποσκοπεί στην προστασία των μικροοργανισμών της μεγάλης κοιλίας από τις τοξικές επιδράσεις των ακόρεστων λιπαρών οξέων. Η βιοϋδρογόνωση προφανώς συνεισφέρει ως πηγή υδρογόνου σε μικρό ποσοστό καθώς μόνο το 1-2% χρησιμοποιείται για αυτό το σκοπό (Κανδύλης, 2006).

Όπως προαναφέρθηκε η υδρογόνωση των ακόρεστων λιπαρών οξέων πραγματοποιείται στη μεγάλη κοιλία μετά την υδρόλυση των αλκυλικών δεσμών των λιπιδίων. Με την υδρογόνωση όπως αναφέρθηκε παραπάνω επιτυγχάνεται η μετατροπή των ακόρεστων λιπαρών οξέων σε κεκορεσμένα. Στη μεγάλη κοιλία συμβιώνουν διάφορα βακτήρια τα οποία παράγουν ένζυμα που καταλύουν τις αντιδράσεις της υδρογόνωσης. Ένα παράδειγμα αποτελεί το βακτήριο *Butyrivibrio fibrisolvens*, τα ένζυμα του οποίου είναι απαραίτητα για την υδρογόνωση του λινελαϊκού οξέος.

Η βιοϋδρογόνωση ξεκινάει με το πρώτο στάδιο που περιλαμβάνει μια αντίδραση ισομερισμού, στην οποία γίνεται η μετατροπή του *cis*-12 διπλού δεσμού των ακόρεστων οξέων σε *trans*-11 ισομερές. Στην περίπτωση που το λιπαρό οξύ διαθέτει μια ελεύθερη καρβοξυλική ομάδα τότε ενεργοποιείται η ισομεράση που δεν έχει ενεργή μορφή. Στο λινελαϊκό οξύ παραδείγματος χάρη δημιουργούνται δυο διπλοί δεσμοί *cis*-9 και *cis*-12. Η σημαντικότητα της παρουσίας μιας ελεύθερης καρβοξυλικής ομάδας καθιστά την λιπόλυση ως μια διεργασία που είναι απαραίτητη πριν την βιοϋδρογόνωση. Μετά τη δημιουργία του δεσμού *trans*-11 υπό την επίδραση της ισομεράσης, πραγματοποιείται μέσω μιας μικροβιακής αναγωγής, η υδρογόνωση του δεσμού *cis*-9 του λινελαϊκού οξέος. Ο βαθμός της υδρογόνωσης του δεσμού *trans*-11 του ελαϊκού οξέος σε στεατικό οξύ που πραγματοποιείται στη μεγάλη κοιλία εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν μέσα σε αυτήν. Ένα παράδειγμα αποτελεί η υδρογόνωση του ελαϊκού οξέος σε στεατικό που ενισχύεται όταν απουσιάζουν κύτταρα και σωματίδια της τροφής ενώ παρεμποδίζεται όταν υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση λινελαϊκού οξέος. Παράλληλα, ο βαθμός της υδρογόνωσης στη μεγάλη κοιλία εξαρτάται και από το είδος του σιτηρεσίου καθώς η υδρογόνωση των λιπιδίων επηρεάζεται και από την αναλογία μεταξύ χονδροειδών και συμπυκνωμένων

ζωοτροφών. Το λινελαϊκό και το λινολενικό οξύ μπορούν να υδρογονωθούν σε ποσοστό 80 και 90% αντίστοιχα.

Πρόσφατα, προκειμένου να προστατευτούν τα λιπίδια από τη μικροβιακή διάσπαση, έχει δοθεί έμφαση στην παρεμπόδιση της υδρόλυσης των τριγλυκεριδίων μέσα στη μεγάλη κοιλία γεγονός που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της κατεργασίας των ζωοτροφών με φορμαλδεΰδη ή θέρμανση, όπως γίνεται και με την προστασία των πρωτεϊνών ή με τη χορήγηση ελαιούχων σπερμάτων. Τα περιβλήματα των σπερμάτων έχουν την δυνατότητα να προστατεύουν τα λίπη που βρίσκονται μέσα σε αυτά και να τα παρεμποδίζουν από την ταχεία υδρόλυση που συμβαίνει εντός της μεγάλης κοιλίας σε σύγκριση με τα ελεύθερα έλαια που αιωρούνται μέσα σε αυτήν. Έτσι η βραδεία απελευθέρωση των λιπαρών οξέων που πραγματοποιείται εντός της μεγάλης κοιλίας δεν εμποδίζει την δραστηριότητα των μικροοργανισμών. Εκτός αυτού, υπάρχουν διάφορα βιομηχανικά παράγωγα που περιέχουν άλατα Ca των λιπαρών οξέων που καθιστούν αδιάλυτα και αδρανή τα λιπαρά οξέα εντός της μεγάλης κοιλίας. Τα οφέλη που προκύπτουν όμως από αυτήν την διαδικασία είναι η παραγωγή ζωοκομικών προϊόντων όπως γάλακτος και κρέατος τα οποία είναι εμπλουτισμένα με πολυακόρεαστα λιπαρά οξέα καθώς επίσης και η βελτιωμένη αποτελεσματικότητα της διατροφής.

### **3.4.Περαιτέρω τύχη των προϊόντων υδρόλυσης των λιπών**

Η γλυκερίνη που αποτελεί ένα από τα προϊόντα της ενζυμικής υδρόλυσης των λιπών , χρησιμοποιείται για τη βιοσύνθεση της φρουκτόζης και της γλυκόζης ή φωσφορυλιώνεται ακολουθώντας το μεταβολικό δρόμο των υδατανθράκων (Λιαμάδης, 2000). Τα λιπαρά οξέα επίσης, διασπώνται μέσω της β-οξειδωσης , σε μονάδες που αποτελούνται από δυο άτομα C, οι οποίες χρησιμοποιούνται για νέες βιοσυνθέσεις , είτε οξειδώνονται σε CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O, μέσω του κύκλου του Krebs και της αναπόσπαστα συνδεδεμένης μαζί του αναπνευστικής αλυσίδας.

### **Μεταβολική σημασία των λιπών**

Τα λίπη που αποτελούν ενώσεις πολύ μεγάλης μεταβολικής σημασίας για τον οργανισμό των θηλαστικών περιλαμβάνουν τις τριακυλογλυκερόλες, τα φωσφολιπίδια και τα στεροειδή καθώς και τα προϊόντα του μεταβολισμού τους (λιπαρά οξέα, γλυκερόλη, κετονοσώματα) (Λιαμάδης, 2000). Τα λίπη πλέον δεν θεωρούνται ως στατικές αποθήκες ενέργειας, αλλά θεωρούνται ότι βρίσκονται σε μια τελείως δυναμική κατάσταση. Υστέρα από πολλές έρευνες, οι ερευνητές Schoenheimer και Rittenberg μετά τη χρήση λιπαρών οξέων επισημασμένων με ραδιενεργό υδρογόνο, διαπίστωσαν ότι σε επίμυες που βρίσκονταν σε ενεργειακή ισορροπία, ένα πολύ σημαντικό ποσοστό εφεδρειών λίπους επανασχηματίστηκε από τα λίπη της τροφής, σε διάστημα μόνο 4 ημερών. Καθώς όμως η συνολική μάζα των τριγλυκεριδίων παραμένει σταθερή στις λιπαροθήκες, μια αντίστοιχη προς την προηγούμενη ποσότητα τριγλυκεριδίων πρέπει να κινητοποιήθηκε στη διάρκεια αυτής της περιόδου.

Μετά από την υδρόλυση των τριγλυκεριδίων, τα λιπαρά οξέα που προκύπτουν είναι δυνατό να αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας πολυάριθμων ιστών. Το γεγονός αυτό έχει πράγματι αποδειχθεί, γιατί μερικές φορές τα λιπαρά οξέα είναι προτιμότερες πηγές ενέργειας σε αντίθεση με τους υδατάνθρακες. Αυτό οφείλεται στο ότι τα τριγλυκερίδια στο ζωικό σώμα εμφανίζουν πλεονεκτήματα σαν πρωταρχική μορφή αποθήκευσης ενέργειας σε σχέση με τους υδατάνθρακες και τις πρωτεΐνες. Η θερμοϊδική τους αξία εμφανίζεται να είναι πάνω από διπλάσια σε σύγκριση με τους υδατάνθρακες που η εναπόθεση τους συνοδεύεται και από μικρότερη αποθήκευση νερού. Έτσι συμπεραίνουμε ότι τα τριγλυκερίδια αποτελούν την πιο συμπυκνωμένη μορφή αποθήκευσης ενέργειας στο ζωικό σώμα. Επιπρόσθετα, στα λιπαρά οξέα παρατηρούμε άλλο ένα γεγονός ιδιαίτερης σημασίας καθώς όταν οξειδώνονται παρέχουν μεγαλύτερη ποσότητα μεταβολικού νερού σε σχέση με άλλες μεταβολικές ουσίες. Αυτό έχει μεγάλη σημασία σε διάφορα θηλαστικά που ζουν σε πολύ ξέρα κλίματα όπως η καμήλα.

Από τα λιποειδή επίσης κρίνεται σκόπιμο να γίνει και μια σύντομη αναφορά στα στεροειδή (Ζέρβας, 2005) και ιδιαίτερα στη χοληστερόλη. Τα στεροειδή περιλαμβάνουν ενώσεις βιολογικής σημασίας όπως είναι οι στερόλες, τα χολικά οξέα και μερικές ορμόνες όπως π.χ. των επινεφριδίων και αναπαραγωγικές.

Η χοληστερόλη αποτελεί τη σημαντικότερη στερόλη στον άνθρωπο και βρίσκεται σε όλα τα ζωικά κύτταρα. Στον άνθρωπο το 70% της χοληστερόλης σχηματίζει δεσμούς με λιποπρωτεΐνες που ανάλογα με την πυκνότητα των οποίων διακρίνονται σε πέντε κλάσεις: α) υψηλής (HDLP), β) χαμηλής (LDLP), γ) μέσης (IDL), δ) πολύ χαμηλής πυκνότητας (VLDLP), ε) χυλομικρά. Τα χυλομικρά απαντούν μόνο στη μεταπορροφητική κατάσταση.

Η χοληστερόλη γενικά είναι αρκετά αδιάλυτη και η υψηλή συγκέντρωσή της στο αίμα μπορεί να προκαλέσει την εναπόθεση της στα αιμοφόρα αγγεία. Οι εναποθέσεις αυτές μπορεί να προκαλούν σκλήρυνση των αθηρωματικών πλακών, να στενέψουν τα αγγεία και να δημιουργηθούν θρόμβοι γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε έμφραγμα μυοκαρδίου ή καρδιακή προσβολή.

Σύμφωνα με σοβαρές ενδείξεις ο κίνδυνος των στεφανιαίων νόσων της καρδιάς έχει άμεση συσχέτιση με την υψηλή συγκέντρωση της LDL στο πλάσμα, ενώ με την HDL υπάρχει αρνητική συσχέτιση. Όσο πιο χαμηλά είναι τα επίπεδα της χοληστερόλης στον ορό του αίματος τόσο πιο πολύ μειώνεται ο κίνδυνος αυτός. Ένας από τους παράγοντες που συμβάλλουν στη ρύθμιση των επιπέδων της χοληστερόλης στο αίμα είναι ο λόγος των μονοακόρεστα (ΠΑΚΛΟ) προς τα κορεσμένα (ΚΛΟ) λιπαρά οξέα καθώς τα ΚΛΟ αυξάνουν ενώ τα ΠΑΚΛΟ μειώνουν τα επίπεδα της χοληστερόλης. Σημαντική βέβαια αποτελεί και η πηγή προέλευσης των ΠΑΚΛΟ καθώς επηρεάζουν διαφορετικά το μεταβολισμό των λιπιδίων. Ένα παράδειγμα αποτελούν τα ω-6 και τα ω-3 λιπαρά οξέα καθώς τα πρώτα μειώνουν σημαντικά τη χοληστερόλη στον ορό του αίματος επηρεάζοντας λίγο τα επίπεδα της τριακυλ-χοληστερόλης ενώ τα δεύτερα έχουν μια μικρή επίδραση στη χοληστερόλη αλλά μειώνουν σημαντικά τη τριακυλ-γλυκερίνη η οποία αποτελεί έναν καθοριστικό

παράγοντα κινδύνου της στεφανιαίας νόσου της καρδιάς. Για τον παραπάνω και άλλους λόγους τα ω-3 θεωρούνται ότι ασκούν έναν πιο ευεργετικό ρολό σε σχέση με τα ω-6.

### 3.5. Μεταβολισμός των λιπαρών οξέων

Επειδή τα λίπη στο οργανισμό αντιπροσωπεύονται κατά πάσα πιθανότητα από τα λιπαρά οξέα σε κατάσταση μεταβολισμού, παρακάτω θα αναφερθούν οι πιθανοί μεταβολικοί δρόμοι των λιπαρών οξέων που θα μπορούσαν να διακριθούν σε α) οξείδωση των λιπαρών οξέων, β) βιοσύνθεση των κορεσμένων λιπαρών οξέων, γ) μεταβολισμός των ακόρεστων λιπαρών οξέων και δ) απαραίτητα λιπαρά οξέα (Λιαμάδης, 2000).

#### A) Οξείδωση των λιπαρών οξέων

##### -β- οξείδωση λιπαρών οξέων με άρτιο αριθμό ατόμων C

A.1. Ενεργοποίηση των λιπαρών οξέων : Τα λιπαρά οξέα από χημική πλευρά είναι σχετικά αδρανή. Η μεταβολική τους ενεργότητα αυξάνεται όμως σημαντικά όταν αυτά μετασχηματίζουν θειοεστέρες, οι οποίοι είναι πλούσιοι σε ενέργεια. Ο σχηματισμός των ουσιών αυτών γίνεται μέσα από τα δυο στάδια της χημικής τους αντίδρασης μέσα στο κυτόπλασμα και απαιτεί ένα mole ATP καθώς και το συνένζυμο A. Στο πρώτο στάδιο έχουμε την αντίδραση του λιπαρού οξέως με ένα μόριο ATP και τη μετατροπή του μεταβατικού προϊόντος που είναι το ακυλοαδενυλικό οξύ μαζί με την ελευθέρωση πυροφωσφορικού οξέος. Μετέπειτα, το ακυλιο-αδενυλικό οξύ διασπάται από το συνένζυμο A σε ακύλιο συνένζυμο A και μονοφωσφορική αδενοσίνη (AMP). Για να ενεργοποιηθεί το λιπαρό οξύ, πρέπει να υπάρχει εκτός από το ATP και η θειοκινάση καθώς και ιόντα  $Mg^{2+}$ .

A.2. Είσοδος του ενεργοποιημένου λιπαρού οξέος στο μιτοχόνδριο : Για να μπορέσει υποστεί οξείδωση το ενεργοποιημένο λιπαρό οξύ (ακυλιο-CoA), πρέπει να διαπεράσει τη μιτοχονδριακή μεμβράνη για να βρεθεί μέσα στο εσωτερικό του μιτοχονδρίου. Προκειμένου να γίνει εφικτή αυτή η είσοδος, πρέπει προηγουμένως να μετατραπεί σε ακυλιο-καρνιτίνη. Αφότου εισέρθει στο εσωτερικό του μιτοχονδρίου, το ακυλιο-CoA ανασχηματίζεται και είναι έτοιμο για τη β-οξείδωση.

A.3. β-οξείδωση των λιπαρών οξέων : όπως προαναφέρθηκε στο μιτοχόνδριο πραγματοποιείται ο καταβολισμός των λιπαρών οξέων, μέσω της β-οξείδωσης η οποία συνιστάται στη διαδοχική απόσπαση μονάδων με δυο άτομα C( $CH_2-CH_2$ ), ύστερα από την οξείδωση της β-μεθυλικής ομάδας σε β-κετο-ομάδα (Knoop, 1904).

Η β-οξείδωση απολήγει στην προοδευτική βράχυνση της ανθρακικής αλυσίδας του λιπαρού οξέος, με την απόσπαση κάθε φορά δυο ατόμων C. Τα ενζυμα που καταλύουν τις 4 χημικές αντιδράσεις κάθε μιας έλικας της β-οξείδωσης είναι τα εξής :

1. η ακυλιο-CoA-δεϋδρογενάση
2. Η ενοϋλο-υδρατάση
3. Η β-υδροξυ-ακυλιο-CoA δεϋδρογενάση
4. Η θειολάση

Η ακυλιο-CoA-δεϋδρογενάση είναι μια φλαβοπρωτεΐνη που έχει ως συνένζυμο το φλαβικό-αδενινό-δινουκλεοτίδιο (FAD). Υπάρχουν τρία ενζυμα αυτού του τύπου, τα οποία εμφανίζουν μια ελαφρά διαφορετική εξειδίκευση. Το πρώτο διασπά συνήθως τα μακράς ανθρακικής αλυσίδας λιπαρά οξέα, ενώ τα άλλα δυο τις ανθρακικές αλυσίδες μέσου και μικρού μήκους. Οι φλαβοπρωτεΐνες έχουν τη δυνατότητα να ενσωματώσουν το υδρογόνο στην αναπνευστική αλυσίδα, χρησιμοποιώντας τη φλαβοπρωτεΐνη-μεταφορέα ηλεκτρονίων, με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να αφυδρογονώσουν ένα νέο μόριο λιπαρού οξέως. Η ενούλο-υδρατάση, η οποία περιέχει σουλφυδρύλια, καταλύει την αντίδραση της προσθήκης H<sub>2</sub>O στο διπλό δεσμό του α,β ακόρεστου ακυλιο-CoA, οδηγώντας στο σχηματισμό του αντιστοίχου β-υδροξυ-ακυλιο-CoA.

Η β-υδροξυ-ακυλιο-CoA δεϋδρογενάση, η οποία έχει ως συνένζυμο το νικοτιναμιδο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο, καταλύει μια δεύτερη αφυδρογόνωση η οποία οδηγεί στο σχηματισμό του β-κετο-ακυλιο-CoA.

Η θειολάση με την παρουσία του συνενζύμου A, διασπά το β-κετο-ακυλιο-CoA σε ακετυλο-CoA και ένα νέο ακυλιο-CoA που διαθέτει ανθρακική αλυσίδα βραχύτερη κατά δυο άτομα C και υφίσταται την ίδια σειρά αντιδράσεων για να οδηγήσει πάλι σε ακετυλο-CoA και ένα νέο ακυλιο-CoA βραχύτερο επίσης κατά δυο άτομα C. Έτσι, η διαδοχική είσοδος στον β-οξειδωτικό κύκλο του κατά δυο άτομα C φτωχότερου, κάθε φορά, ακυλιο-CoA διασπά πλήρως το αρχικό λιπαρό οξύ αρτίου αριθμού ατόμων C σε ακετυλο-CoA.

### **-β- οξείδωση λιπαρών οξέων με περιττό αριθμό ατόμων C**

Σε ορισμένες περιπτώσεις όπως κατά το μεταβολισμό ορισμένων αμινοξέων ή με τη βακτηριακή διάσπαση των αμινοξέων στο πεπτικό σύστημα, παράγονται διάφορα λιπαρά οξέα που έχουν περιττό αριθμό ατόμων άνθρακα (Λιαμάδης, 2000). Τα λιπαρά αυτά οξέα υφίστανται β-οξείδωση, μέσω της οποίας ύστερα από διαδοχική απόσπαση από αυτά του με δύο άτομα C ακετυλο-CoA με τρία άτομα C, καταλήγουν στην παραγωγή του προπιονυλο-CoA με τρία άτομα C, το οποίο ακολουθεί ένα μεταβολικό δρόμο. Στο πρώτο στάδιο με την παρέμβαση της προπιονυλο-CoA καρβοξυλάσης και ενός συνενζύμου που περιέχει βιοτίνη, καρβοξυλιώνεται σε μεθυλο-μηλονυλο-CoA. Σε ένα δεύτερο στάδιο, έχουμε την μετατροπή του μεθυλο-μηλονυλο-CoA σε ηλεκτρυλο-CoA το οποίο με την παρέμβαση κάποιας ειδικής ισομεράσης και ενός συνενζύμου που περιέχει βιταμίνη B12, εισέρχεται στον κύκλο του Krebs.

### **3.6.Παράγωγή κετονοσωμάτων (κετογένεση ή κετονογένεση)**

Όταν το ακετυλο-CoA παράγεται σε μεγάλες ποσότητες με αποτέλεσμα το οξαλοξικό οξύ που παράγεται από το μεταβολισμό των υδατανθράκων να μην επαρκεί για τη συμπύκνωση του, μέσω της πρώτης αντίδρασης του κύκλου του Krebs, προς κιτρικό οξύ, η περίσσεια του ακετυλο-CoA συμπυκνώνεται με τον εαυτό της προς ακετο-οξικό οξύ (Λιαμάδης, 2000). Το παραπάνω οξύ ύστερα είτε ανάγεται σε β-υδροξυβουτυρικό οξύ ή αποκαρβοξυλιώνεται προς ακετόνη. Η παραπάνω μεταβολική διαδικασία καλείται



κετονογένεση και οι ενώσεις αυτές είναι γνωστές ως κετονοσώματα. Στην περίπτωση των μηρυκαστικών μπορεί να επιτευχθεί ο σχηματισμός των κετονοσωμάτων και από το βουτυρικό οξύ. Τα κετονοσώματα χρησιμοποιούνται ως πηγές ενέργειας από το ήπαρ όπως και πολλούς ιστούς, μύες καθώς και το νευρικό σύστημα. Έτσι εξηγείται και το χαμηλό επίπεδο των κετονοσωμάτων στο αίμα (κετοναϊμία). Όταν όμως για κάποιο λόγο υπερβεί η παραγωγή των κετονοσωμάτων ένα μεγάλο επίπεδο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους ιστούς, τα κετονοσώματα συσσωρεύονται στο αίμα πέρα από αυτό το επίπεδο, οπότε προκαλείται η απέκκρισή τους μέσω των ούρων και ο οργανισμός μπορεί να οδηγηθεί σε κάποια σοβαρή μεταβολική διαταραχή που ονομάζεται κέτωση ή κετόνωση. Κατά την κέτωση έχουμε την μεταφορά υπερβολικής ποσότητας λιπαρών οξέων στο ήπαρ, το οποίο αποτελεί πλέον τον κύριο τόπο παραγωγής των κετονοσωμάτων, τα οποία ωστόσο δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν από αυτό ως πηγές ενέργειας.

### 3.7. Οξείδωση των ακόρεστων και των διακλαδισμένων λιπαρών οξέων

Το μεγαλύτερο μέρος των λιπών του ζωικού σώματος περιέχει κορεσμένα λιπαρά οξέα όπως και μονο- ή πολύ-ακορεστα λιπαρά οξέα, του τύπου του ελαϊκού, λινελαϊκού και λινολενικού οξέος (Λιαμάδης, 2000). Τα οξέα αυτά ενεργοποιούνται όπως και τα κορεσμένα λιπαρά οξέα, με τον ίδιο τρόπο, για να υποστούν στη συνέχεια β-οξείδωση. Επειδή όμως παρουσιάζονται διπλοί δεσμοί στο μόριο των λιπαρών αυτών οξέων είναι αναγκαία η υπέρβαση άλλων δυο ένζυμων. Για παράδειγμα το λινελαϊκό οξύ, σε μια πρώτη φάση χάνει τρεις διανθρακικές ομάδες και δίνει ένα ακόρεστο β,γ-ακυλιο-CoA, το οποίο υστέρη μετατρέπεται σε μια ένωση ακόρεστη στη θέση α,β, δομής trans, μέσω ενός ειδικού ένζυμου. Στη συνέχεια, το ενδημικό σύστημα της β-οξείδωσης παρεμβαίνει και επιβραδύνει κατά δυο ακόμη διανθρακικές ομάδες το μόριο του λιπαρού οξέως, μέχρι το επίπεδο του διπλού δεσμού, αρχικά στη θέση 12-13. Επειδή όμως για ένα διπλό δεσμό cis, η ενδημική προσθήκη ενός μορίου νερού δίνει ένα D(-) υδροξυλιωμένο παράγωγο, το οποίο και μετασχηματίζεται στον αντίποδά του που είναι ένα L(+)- υδροξυ-ακυλιο-CoA, με την παρέμβαση ενός νέου ένζυμου, το οποίο είναι μια ειδική επιμεράση. Κατά αυτόν τον τρόπο οξειδώνονται όλα τα ακόρεστα λιπαρά οξέα.

Στη φύση υπάρχουν και σε πολύ μικρές ποσότητες λιπαρά οξέα με διακλαδισμένη αλυσίδα και με περιττό αριθμό ατόμων άνθρακα. Από πλευρά θρέψης, είναι αρκετά ενδιαφέρων η συμπεριφορά των παραπάνω λιπαρών οξέων κατά τη β-οξείδωση. Ένα παράδειγμα αποτελούν τα διακλαδισμένα λιπαρά οξέα C4 και C5, τα οποία προκύπτουν από το μεταβολισμό των αμινοξέων. Η λευκίνη, η ισολευκίνη και η βαλίνη π.χ. μπορούν να καταβολιστούν με τρανσαμίνωση και οξειδωτική αποκαρβοξυλίωση, σε τέτοιου είδους ενώσεις.

### 3.8. Βιοσύνθεση κορεσμένων λιπαρών οξέων

Γενικά όπως και για άλλες καταβολικές και αναβολικές διαδικασίες, η βιοσύνθεση των λιπαρών οξέων θεωρούνταν ως ο αντίστροφος δρόμος της β-οξείδωσης (Λιαμάδης, 2000).

Σήμερα, ωστόσο, έχει διαλευκανθεί ότι το μιτοχονδριακό σύστημα βιοσύνθεσης λιπαρών οξέων, το οποίο εμφανίζει μερικές τροποποιήσεις από την αντίδραση της β-οξειδωσης, είναι υπεύθυνο μόνο για την επιμήκυνση λιπαρών οξέων που ήδη υπάρχουν και ειδικά για τα οξέα που έχουν σχετικά περιορισμένο μήκος ανθρακικής αλυσίδας. Υπάρχει ένα άλλο πολύ ενεργό σύστημα βιοσύνθεσης το οποίο είναι υπεύθυνο για την πλήρη βιοσύνθεση εκ νέου ενός μακράς ανθρακικής αλυσίδας λιπαρού οξέος (π.χ. παλμιτικό), το οποίο συναντάται έξω από το μιτοχόνδριο και είναι γνωστό ως εξωμιτοχονδριακό σύστημα. Ως πρώτη ύλη στο σύστημα αυτό χρησιμοποιείται το ακετυλο-CoA.

### **3.9. Εξωμιτοχονδριακό σύστημα για την εκ νέου (de novo) βιοσύνθεση λιπαρών οξέων (Λιπογένεση)**

Το σύστημα αυτό υπάρχει στο διαλυτό κλάσμα του κυττάρου πολλών ζωικών ιστών, όπως στο ήπαρ, στα νεφρά, στον εγκέφαλο κ.ο.κ. (Λιαμάδης, 2000). Για να μπορέσει να ενεργοποιηθεί το σύστημα αυτούβιοσύνθεσης λιπαρών οξέων, πρέπει να υπάρχει το συνένζυμο NADPH, ATP, ιόντα  $Mn^{2+}$  και η ρίζα  $HCO_3^-$  (ως πηγής  $CO_2$ ). Ως υπόστρωμα χρησιμεύει το ακετυλο-CoA σαν τελικό προϊόν παράγεται το ελεύθερο παλμιτικό οξύ. Σε σημαντική αντίθεση φαίνεται να βρίσκονται όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά σε σχέση με εκείνα της β-οξειδωσης. Στο εξωμιτοχονδριακού συστήματος, η αρχική αντίδραση που πραγματοποιείται είναι η καρβοξυλίωση του ακετυλο-CoA, η οποία μέσω του ενζύμου ακετυλο-CoA καρβοξυλάση, οδηγεί στο σχηματισμό του μηλονυλο-CoA. Παράλληλα, η καρβοξυβιοτίνη (Βιοτίνη- COO) χρησιμεύει ως συνένζυμο του ενζύμου αυτού, ενώ για την αντίδραση αυτή την απαραίτητη ενέργεια την παρέχει το ATP.

Η αντίδραση αυτή χωρίζεται σε δύο στάδια:

1. Καρβοξυλίωση της βιοτίνης, μέσω του ATP και
2. Μεταφορά του  $CO_2$  στο ακετυλο-CoA, για το μετασχηματισμό του σε μηλονυλο-CoA.

Στη διαδικασία της βιοσύνθεσης των λιπαρών οξέων μετέχουν ένζυμα που συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν το γνωστό πολυενζυμικό σύμπλεγμα της συνθετάσης των λιπαρών οξέων το οποίο βρίσκεται στο διαλυτό κλάσμα του κυττάρου. Μετά από το σχηματισμό του μηλονυλο-CoA, που αποτελεί την αντίδραση-κλειδί του εξωμιτοχονδριακού συστήματος ακολουθούν τα εξής στάδια:

Στάδιο 1ο: Το μηλονυλο-CoA αντιδρά με την πρωτεΐνη-φορέα ακυλίων (ACP) του πολυενζυμικού συμπλέγματος της συνθετάσης λιπαρών οξέων και μέσω της μηλονυλοτρανσακυλάσης, δίνει το σύμπλοκο «μηλονυλο-ACP». Μετά από την αντίδραση των δύο αυτών συμπλόκων, παράγεται ένα β-κετονοξύ που είναι ενωμένο με την ACP (ακετο-ακετυλο-ACP), με ένα μήκος αλυσίδας αυξημένο κατά δύο άτομα άνθρακα.

Στάδιο 2ο: Το σύμπλοκο ακετο-ακετυλο-ACP ανάγεται μέσω του συνενζύμου NADPH, προκειμένου να δώσει το β-υδροξυπαραγωγό του (β-υδροξυβουτυρυλο-ACP). Το απαιτούμενο NADPH προέρχεται από τις NADPH γεννήτριες, η πιο σημαντική από τις οποίες είναι ο μεταβολικός δρόμος της φωσφορικής πεντόζης.

Στάδιο 3ο: Στη συνέχεια, το β- υδροξυβουτυρυλο-ACP, με την παρέμβαση του ενζύμου «υδρατάση» χάνει ένα μόριο νερού και δίνει ένα σύμπλοκο του α,β ακόρεστου ακυλιο-CoA με την ACP (στη συγκεκριμένη περίπτωση το σύμπλοκο «κροτόνυλο-ACP»).

Στάδιο 4ο: Ύστερα πραγματοποιείται μια δεύτερη αναγωγή, παράλληλα με την οξείδωση του NADPH, H<sup>+</sup>, σε NADPH<sup>+</sup>, με αποτέλεσμα να παραχθεί ένα κορεσμένο ακύλιο-CoA, με μία ανθρακική αλυσίδα μεγαλύτερη κατά δύο άτομα άνθρακα. Η τελευταία αυτή αντίδραση καταλύεται από το ένζυμο ενοϋλο-ρεδουκτάση.

Το νέο κορεσμένο ακύλιο-CoA μπορεί να αντιδράσει ξανά με το σύμπλοκο μηλονυλο-CoA-ACP, με επανάληψη της ίδιας σειράς αντιδράσεων, που θα καταλήξει στο σχηματισμό ενός νέου δύο κορεσμένου ακυλιο-CoA, με δύο επιπλέον άτομα άνθρακα, τα οποία θα είναι ενωμένα με την πρωτεΐνη ACP (καπρονυλο-ACP). Μέσω των διαδοχικών αντιδράσεων με το μηλονυλο-ACP, συνεχίζεται κατά 2 άτομα C κάθε φορά, της ανθρακικής αλυσίδας η επιμήκυνση αυτή στους ζωικούς ιστούς, μέχρι να παραχθεί το σύμπλοκο παλμιτιλο-ACP, μέσω του οποίου γίνεται η απελευθέρωση του παλμιτικού οξέος με τη δράση του ενζύμου απακυλάση.

### **3.10.Μιτοχονδριακό σύστημα βιοσύνθεσης λιπαρών οξέων**

Το σύστημα αυτό συνίσταται στη διαδοχική προσθήκη μονάδων ακετυλο-CoA σε προσχηματισμένα λιπαρά οξέα με μέση και μακρά αλυσίδα ατόμων άνθρακα (Λιαμάδης, 2000). Μέσω ενός μεταβολικού δρόμου, επιτυγχάνεται η επιμήκυνση αυτής της ανθρακικής αλυσίδας που θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι είναι ο αντίστροφος της β-οξείδωσης. Η μοναδική διαφορά που έχουν είναι ότι η αφυδρογόνωση πραγματοποιείται με την παρέμβαση του ενζύμου ενοϋλο-CoA, το οποίο εξαρτάται από το NADPH. Μέσω του μιτοχονδριακού συστήματος κυρίως συνδέονται τα κορεσμένα λιπαρά οξέα με 18 ή και περισσότερα άτομα άνθρακα, και με πρώτη ύλη συνήθως το παλμιτικό οξύ το οποίο συνθέτεται μέσω του εξωμιτοχονδριακού συστήματος.

### **3.11. Μικροσωμικό σύστημα επιμήκυνσης της ανθρακικής αλυσίδας των λιπαρών οξέων**

Το σύστημα αυτό μάλλον αποτελεί τον τρόπο επιμήκυνσης των προσχηματισμένων λιπαρών οξέων μακράς ανθρακικής αλυσίδας (Λιαμάδης, 2000). Αρχικά τα ακυλιο-CoA των λιπαρών οξέων μετασχηματίζονται σε ακυλιο-CoA με δύο άτομα άνθρακα περισσότερα, χρησιμοποιώντας το μηλονυλο-CoA ως δότη ακετυλίων και το συνένζυμο NADPH ως αναγωγικό μέσο. Μερικά ενδιάμεσα προϊόντα της μεταβολικής αυτής διαδικασίας είναι οι CoA-θειοεστέρες. Τα ακυλιο που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αρχικά μόρια είναι είτε κορεσμένα λιπαρά οξέα με πάνω από δέκα άνθρακες ή μονοακόρεστα λιπαρά οξέα. Όταν όμως υπάρχει έλλειψη της τροφής τότε σε μεγάλο βαθμό αναστέλλεται η επιμήκυνση της ανθρακικής αλυσίδας των λιπαρών οξέων.

### 3.12. Μεταβολισμός ακόρεστων λιπαρών οξέων

Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα μη απαραίτητα λιπαρά οξέα, όπως το παλμιτελαϊκό και το ελαϊκό οξύ και τα ουσιώδη λιπαρά οξέα όπως το λινελαϊκό, α-λινολενικό και αραχιδονικό που είναι απαραίτητα για την θρέψη των ζωικών ειδών και πρέπει να παρέχονται μέσω της τροφής (Λιαμάδης, 2000).

### 3.13. Βιοσύνθεση μονο-ακόρεστων λιπαρών οξέων

Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα με ένα διπλό δεσμό συνθέτονται με αφυδρογόνωση του αντίστοιχου κορεσμένου λιπαρού οξέος. Σχετικά με τα μονο-ακόρεστα λιπαρά οξέα, το ήπαρ θεωρείται ότι αποτελεί το κύριο όργανο που γίνονται οι αλληλομετασχηματισμοί των κορεσμένων σε μονο-ακόρεστα και αντιστρόφως. Ύστερα από κάποιες διαπιστώσεις, πρόέκυψε ότι στα μικροσώματα του ήπατος υπάρχει ένα ειδικό ενζυμικό σύστημα που είναι γνωστό ως Δ9 αφυδρογονάση, το οποίο καταλύει τη διαδικασία μετασχηματισμού του στεαρυλο-CoA σε ελαΰλο-CoA. Για την αντίδραση αυτή, απαραίτητο είναι το συνένζυμο NADPH ή το NADH, καθώς και η παρουσία οξυγόνου.

### 3.14. Βιοσύνθεση πολύ-ακόρεστων λιπαρών οξέων-απαραίτητα λιπαρά οξέα

Τα απαραίτητα λιπαρά οξέα που δεν μπορεί να συνθέσει ο ζωικός οργανισμός και πρέπει να χορηγούνται μέσω της τροφής είναι το λινελαϊκό, το λινολενικό και το αραχιδονικό. Τα παραπάνω οξέα ανήκουν στις σειρές ω9, ω6 ή ω3 ανάλογα με το ακόρεστο λιπαρό οξύ από το οποίο ξεκινά η βιοσύνθεσή τους (ελαϊκό, λινελαϊκό ή α-λινολενικό αντίστοιχα). Ο ζωικός οργανισμός διαθέτει το κατάλληλο ενζυμικό σύστημα για τον αποκορεσμό της ω9( ελαϊκό οξύ) σειράς , με αποτέλεσμα να μπορεί να συνθέσει πλήρως τα μονοακόρεστα λιπαρά οξέα. Ωστόσο όμως δεν διαθέτει τις κατάλληλες αφυδρογονάσες για τον αποκορεσμό των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων της σειράς ω6 και ω3 , γι'αυτό και είναι απαραίτητη η προσθήκη τους στο σιτηρέσιο προκειμένου να συμπληρώσουν τη βιοσύνθεσης των άλλων μελών της σειράς ω6 και ω3 των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων.

### 3.15.Βιοσύνθεση λιπών

#### A) βιοσύνθεση γλυκερίνης

Στο ζωικό οργανισμό η γλυκερίνη συνθέτεται από τη γλυκόζη. Αρχικά η τελευταία διασπάται μέσω της γλυκολυτικής οδού Emden-Meyerhof, σε φωσφοδιϋδροξυακετόνη, η οποία στη συνέχεια ανάγεται σε α-φωσφογλυκερινικό οξύ. Το παραπάνω μετατρέπεται με αποφωσφορυλίωση σε γλυκερίνη (Λιαμάδης, 2000).

#### B) βιοσύνθεση λιπών (γλυκεριδίων) από τα λιπαρά οξέα

Όπως ήδη αναφέρθηκε, στη διαδικασία της βιοσύνθεσης, τα λιπαρά οξέα μετασχηματίζονται σε ακυλιο-CoA για να εναποτεθούν ύστερα με τη μορφή εστέρων της γλυκερίνης δηλαδή ουδέτερων λιπών. Η παραπάνω εστεροποίηση απαιτεί την παρουσία του

φωσφογλυκερινικού οξέος το οποίο προκύπτει από την αναγωγή της φωσφοδιϋδροξυακετόνης. Υπάρχει ένα ένζυμο το οποίο καταλύει τη συμπύκνωση του φωσφογλυκερινικού οξέος και δύο μορίων ενεργοποιημένων λιπαρών οξέων, σε ένα μόριο φωσφο-διγλυκεριδίου και μετά την αντίδραση αυτή έχουμε την ελευθέρωση του CoA-SH. Το ένζυμο αυτό μπορεί να μην είναι πολύ εξειδικευμένο για τα μακράς ανθρακικής αλυσίδας λιπαρά οξέα αλλά διαπιστώθηκε ότι ευνοεί την ταχύτερη εστεροποίηση της γλυκερίνης (γλυκερόλης) με τα λιπαρά οξέα C16, C17, C18. Εν συνεχεία, μέσω της φωσφατάσης αποφωσφορυλιώνεται η φωσφο-διακυλογλυκερόλη και επαναντιδρά με ένα νέο μόριο ακυλιο-CoA ώστε να δώσει ένα μόριο τριακυλογλυκερόλης. Στον εντερικό βλεννογόνο των ανώτερων ζώων, γίνεται και η άμεση σύνθεση των τριγλυκεριδίων, με τη συμμετοχή όμως ενός ειδικού ενζύμου, της μονο-γλυκεριδο-ακυλιотρανσφεράσης (Λιαμάδης, 2000).

### **3.16. Βιοσύνθεση σύνθετων λιπών**

#### **1. Φωσφολιπίδια**

Τα φωσφολιπίδια που βρίσκονται σε όλους τους ιστούς και ιδιαίτερα στην καρδιά, τον εγκέφαλο και τους νεφρούς, περιέχουν πέρα από άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο, και λεκιθίνες, κεφαλίνες και σφιγγομυελίνες (Λιαμάδης, 2000). Η βιοσύνθεσή τους γίνεται κατά ένα παράλληλο σχήμα με τη βιοσύνθεση των απλών ουδέτερων λιπών. Αρχικά, πραγματοποιείται η εστεροποίηση της φωσφογλυκερόλης με ενεργοποιημένα λιπαρά οξέα μακράς ανθρακικής αλυσίδας (ακυλιο-CoA), με αποτέλεσμα τη βιοσύνθεση φωσφατιδικών οξέων. Ύστερα ένα συνένζυμο, η διφωσφορική κυτιδίνη, λειτούργει σαν μεταφορέας της χολίνης στο υδροξύλιο του φωσφορικού οξέος του διγλυκεριδίου, το οποίο ύστερα οστεοποιεί και έτσι προκύπτουν οι λεκιθίνες. Οι κεφαλίνες προκύπτουν άμα τη θέση της χολίνης τη λάβει η κολαμίνη ή μερικές φορές, το αμινοξύ σερίνη. Οι σφιγγομυελίνες διαφέρουν από τις άλλες ομάδες καθώς δεν περιέχουν γλυκερίνη, και όταν υδρολύονται δίνουν λιπαρά οξέα, φωσφορικό οξύ, χολίνη και την πολύπλοκη αζωτούχα βάση σφιγγοσίνη. Επάνω στην αμινική ομάδα της σφιγγοσίνης προσαρτάται ένα λιπαρό οξύ και στην ακραία υδροξυλική της ομάδα, η φωσφορυλο-χολίνη. Γενικά, επειδή τα φωσφολιπίδια διαχέονται εύκολα στα σωματικά υγρά, καθώς προσροφούν μεγαλύτερες ποσότητες νερού σε σχέση με τα ουδέτερα λίπη, θεωρούνται ότι μέσω αυτών μεταφέρονται τα λίπη στο αίμα και στους ιστούς.

#### **2. Γλυκολιπίδια**

Τα γλυκολιπίδια πολλές φορές επειδή απαντούν στον εγκέφαλο, λέγονται και κερεβροσίδια. Τα γλυκολιπίδια που συναντάμε στον εγκεφαλικό ιστό, περιέχουν γαλακτόζη, η οποία είναι ενωμένη με λιπαρό οξύ και σφιγγοσίνη. Έτσι περιέχουν λιπαρό οξύ, σάκχαρο και αζωτούχο βάση αλλά όχι φωσφορικό οξύ. Αρχικά, η σφιγγοσίνη παράγεται από παλμιτυλο-CoA και L-σερίνη, μέσω της διϋδροσφιγγοσίνης. Σε μια αντίδραση που καταλύεται από το ένζυμο κεραμιδο-χολινο-φωσφοτρανσεράση, πραγματοποιείται η αντίδραση με φωσφοχολίνη που οδηγεί στις σφιγγομυελίνες, αντίθετα όμως η αντίδραση με

UDP σάκχαρα οδηγεί στα κερεβροσίδια. Τελευταία, τα γαγγλιοσίδια, σχηματίζονται από κερεβροσίδια με την προσθήκη γαλακτόζης, γαλακτοζαμίνης και N-ακετυλο-νευραμινικού οξέος.(NANA)

### 3.17. Μεταβολισμός Χοληστερόλης

Η χοληστερόλη τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην περίπτωση του ανθρώπου και γενικότερα καθώς αποτελεί την σημαντικότερη στερόλη των ζωικών οργανισμών και γι' αυτό θα αναφερθούμε λίγο αναλυτικά σε αυτήν (Λιαμάδης,2000). Η βιοσύνθεση της χοληστερόλης γίνεται σε πολλούς ιστούς, όπως στο λεπτό έντερο και στο ήπαρ που αποτελεί το κυριότερο όργανο επεξεργασίας τόσο της ενδογενούς όσο και της εξωγενούς χοληστερόλης. Η χοληστερόλη προέρχεται είτε εξωγενώς, από διάφορες τροφές, είτε από τη βιοσύνθεση από ακετυλο-ομάδες του ακετυλο-CoA. Η χοληστερόλη δεν είναι εφικτό να οξειδωθεί σε CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο, επειδή δε διαθέτουν τα κατάλληλα ένζυμα οι ιστοί των θηλαστικών, για τη διάσπαση-οξείδωση στεροειδών πυρήνων. Ωστόσο διαθέτουν κατάλληλους μηχανισμούς μέσα από τους οποίους αποφεύγεται η υπερφόρτωση των ιστών σε χοληστερόλη. Έτσι υπάρχουν διάφοροι ρυθμιστικοί μηχανισμοί που αφορούν τη βιοσύνθεση, τη μεταφορά, την απέκκριση και τη χρησιμοποίηση της στερόλης αυτής. Η σχετική έρευνα γι' αυτούς τους μηχανισμούς είναι εξαιρετικά εντατική. Στην περίπτωση του ανθρώπου, οι διάφορες ανωμαλίες των ρυθμιστικών αυτών μηχανισμών οδηγούν σε εναπόθεση της χοληστερόλης και άλλων λιπιδίων, στην εσωτερική επιφάνεια των αγγείων, προκαλώντας αρτηριοσκλήρωση (ή αθηρωμάτωση). Η αρτηριοσκλήρωση μπορεί να οδηγήσει σε απόφραξη αγγείων της καρδιάς (έμφραγμα) ή του εγκεφάλου (εγκεφαλική προσβολή). Από τους μηχανισμούς διάθεσης και χρησιμοποίησης της στερόλης αυτής κύρια θέση έχουν: α) η απέκκριση της στο έντερο και β) η μετατροπή της σε χολικά οξέα.

**-Χοληστερόλη τροφής:** οι κάτοικοι ιδίως των χωρών με μεγάλη κατανάλωση κρέατος, καθώς και αυτών με υψηλό βιοτικό επίπεδο, εισάγουν με την τροφή τους καθημερινά 500-800 mg χοληστερόλης, από τα οποία απορροφούν τα 300-400 mg/ημ. Υπάρχουν κάποιες φυτικές στερόλες, όπως η β-σιτοστερόλη, που η παρουσία τους παρεμποδίζει την απορρόφηση της χοληστερόλης και δεν απορροφώνται καλά από τον άνθρωπο. Από τη χοληστερολεστεράση του παγκρεατικού υγρού διασπώνται οι εστέρες της χοληστερόλης στο έντερο. Επειδή η χοληστερόλη είναι δυσδιάλυτη σε υδατικά μέσα, απαραίτητες προϋποθέσεις για την απορρόφηση της αποτελούν η γαλακτωματοποίηση με τη βοήθεια των χολικών οξέων και η ενσωμάτωση της σε μικύλια που περιέχουν χολικά οξέα και φωσφολιπίδια.

**- Βιοσύνθεση χοληστερόλης:** Στα μιτοχόνδρια και στο κυτόπλασμα η πρόδρομη ουσία των ισοπρενικών ομάδων, που αποτελούν τον σκελετό όλων των στεροειδών (άρα και της χοληστερόλης) είναι το 3-υδροξυ-3-μεθυλογλουταρυλο-CoA. Το παραπάνω χρησιμοποιείται

στα μιτοχόνδρια για τη βιοσύνθεση των κετονοσωμάτων, ενώ στο κυτόπλασμα ανάγεται σε μεβαλονικό οξύ και χρησιμοποιείται για τη βιοσύνθεση της χοληστερόλης. Η αντίδραση σχηματισμού του μεβαλονικού οξέος είναι μη αντιστρεπτή και καταλύεται από την 3-υδροξυ-3-μεθυλο-γλουταρυλο-CoA αναγωγή (HMG-CoA αναγωγή). Στη συνέχεια, παράγεται τα ισοπεντενυλο-πυροφωσφορικό οξύ με τη μεσολάβηση 4 αντιδράσεων, και ύστερα με διαδοχικές συμπυκνώσεις, επιτυγχάνεται η βιοσύνθεση του σκουαλενίου που αποτελείται από 6 ισοπρενικές ομάδες. Το σκουαλένιο συνδέεται με την πρωτεΐνη-φορέα των στερολών ή SCP και κατά τη διάρκεια της μετατροπής του σε χοληστερόλη οι ενδιάμεσες ενώσεις (2,3-εποξειδίου του σκουαλενίου, λανοστερόλη) παραμένουν συνδεδεμένες με την SCP.

### 3.18. Καταβολισμός των λιπαρών οξέων

Τα λιπαρά οξέα επειδή θεωρούνται αδρανή από χημικής πλευράς πρέπει πρώτα να ενεργοποιηθούν για να καταστεί δυνατός ο μεταβολισμός τους (Λιαμάδης, 2000). Η ενεργοποίηση τους αυτή είναι εφικτή αφού μετασχηματιστούν σε θειοεστέρες και πραγματοποιείται σε δύο στάδια μέσα στο κυτόπλασμα. Στο πρώτο στάδιο έχουμε την αντίδραση ενός λιπαρού οξέος με ένα μόριο ATP, το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται σε ένα μεταβατικό προϊόν, που στην προκειμένη περίπτωση είναι το ακυλιο-αδενυλικό οξύ το οποίο διασπάται από ένα συνένζυμο A στο αντίστοιχο ακυλιο-συνένζυμο A και σε αδενοσινο-μονοφωσφορικό οξύ. Για να γίνει εφικτή η ενεργοποίηση του λιπαρού οξέος απαραίτητη είναι και η παρουσία της θειοκινάσης και ιόντων  $Mg^{2+}$ . Στη συνέχεια, για να οξειδωθεί το ενεργοποιημένο λιπαρό οξύ (ακυλιο-CoA) πρέπει να μπει στο μιτοχόνδριο που υπάρχει οξυγόνο. Πρώτα όμως πρέπει να μετατραπεί σε ακυλιο-καρνιτίνη γιατί μόνο αυτή μπορεί να διαπεράσει τη μεμβράνη του μιτοχονδρίου. Έτσι, αφού διαπεράσει μέσα στο μιτοχόνδριο το ακυλιο-CoA επανασχηματίζεται και είναι έτοιμο να υποστεί τη β-οξείδωση.

### Οξείδωση των λιπαρών οξέων

Μέσω της οξείδωσης γίνεται ο καταβολισμός των λιπαρών ουσιών στο μιτοχόνδριο, η οποία είναι μια διαδοχική απόσπαση δι-ανθρακικών μονάδων, μετά από την οξείδωση της β-μεθυλικής ομάδας του λιπαρού οξέος σε β-κετο-ομάδα, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα κάθε φορά την παραγωγή ενός λιπαρού οξέος βραχύτερο κατά δυο άτομα άνθρακα. Με την συνεχή επανάληψη της β-οξείδωσης έχουμε την ολοκληρωτική διάσπαση του λιπαρού οξέος σε μόρια ακετυλο-CoA.

Υπάρχουν δυο ενζυμα που καταλύουν τις αντιδράσεις κάθε έλικας της β-οξείδωσης και είναι τα παρακάτω: 1) Η ακετυλο-CoA- δεϋδρογονάση, που είναι μια φλαβοπρωτεΐνη η οποία έχει ως συνένζυμο το φλαβινο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο και καταλύει μια αντίδραση αφυδρογόνωσης. 2) Η ενούλο-υδρατάση, η οποία περιέχει σουλφυδρύλια και καταλύει την αντίδραση της προσθήκης ενός μορίου  $H_2O$  στο διπλό δεσμό του α,β ακόρεστο ακυλιο-CoA, που πρόεκυψε από την προηγούμενη αντίδραση και οδηγεί στο σχηματισμό του αντίστοιχο β-υδροξυ-ακυλιο-CoA. 3) Η β-υδροξυ-ακυλιο-CoA δεϋδρογονάση, που έχει ως

συνένζυμο το νικοτιναμιδο-αδεδινο-δινουκλεοτίδιο και καταλύει μια δεύτερη αφυδρογόνωση, η οποία οδηγεί στο σχηματισμό του β-κετο-ακυλιο-CoA. 4) Η θειολάση, η οποία με την παρουσία ενός συνενζύμου A, διασπά το β-κετο-ακυλιο-CoA σε ακετυλο-CoA και ένα νέο ακυλιο-CoA με ανθρακική αλυσίδα βραχύτερη κατά 2 άτομα άνθρακα, το οποίο υφίσταται την ίδια σειρά αντιδράσεων, ώστε να οδηγήσει πάλι σε ακετυλο-CoA και ένα νέο ακυλιο-CoA βραχύτερο κατά δυο άτομα C κ.ο.κ.

Ο καταβολισμός των λιπαρών οξέων με περιττό αριθμό ατόμων C, γίνεται σύμφωνα με την αρχή της β-οξειδωσης, με διαδοχική απόσπαση μορίων ακετυλο-CoA, η οποία οδηγεί στην παραγωγή του προπιονυλο-CoA το οποίο καταβολίζεται σε ηλεκτρυλο-CoA, μπαίνοντας έτσι στον κύκλο του Krebs.



### **Συμπεράσματα**

Τα λίπη ανήκουν σε μια σημαντική κατηγορία θρεπτικών ουσιών που πρέπει να εισέρχονται στο ζωικό οργανισμό καθώς παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο. Στη διατροφή αποτελούν θρεπτικές ύλες υψηλής ενεργειακής αξίας καθώς διαθέτουν λιποδιαλυτές βιταμίνες και απαραίτητα λιπαρά οξέα, επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό την υγεία και την αποδοτικότητα των ζώων. Διαδραματίζουν μερικούς σημαντικούς βιολογικούς ρόλους στη διατροφή καθώς αποτελούν μια σημαντική πηγή ενέργειας για τα ζώα γενικά, και για ορισμένα αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας. Παράλληλα μπορεί να αποτελούν τη μορφή λιπαροθήκης στο σώμα, κυρίως με τη μορφή των σύνθετων λιπών. Επιπλέον, αποτελούν ένα απαραίτητο δομικό υλικό των ζώντων κυττάρων. Έχουν την δυνατότητα να προστατέψουν μέχρι ένα όριο κάποια μέρη του σώματος όπως τα νεύρα και προστατεύουν τον οργανισμό από τις διάφορες εξωτερικές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος. Συμβάλλουν, επίσης, και στην καλύτερη απορρόφηση άλλων ανόργανων ουσιών και βιταμινών.

Τα λιπαρά οξέα, όπως το λινελαϊκό, λινολενικό και αραχιδονικό δε μπορούν να συντεθούν από το ζωικό οργανισμό και γι' αυτό ονομάζονται και απαραίτητα λιπαρά οξέα. Τα οξέα αυτά παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στη μεταφορά των λιπιδίων όσο και σε μερικά λιποπρωτεϊνικά ένζυμα. Ο οργανισμός μπορεί να εμφανίσει ορισμένα συμπτώματα όταν τα απαραίτητα λιπαρά οξέα που διαθέτει δεν καλύπτουν πλήρως τις ανάγκες του. Μερικά από τα συμπτώματα αυτά είναι ο μειωμένος ρυθμός ανάπτυξης καθώς και η μειωμένη οπτική ικανότητα. Η στειρότητα αποτελεί άλλο ένα σημαντικό σύμπτωμα ανεπάρκειας των λιπαρών οξέων καθώς και η αυξημένη ευαισθησία που μπορεί να παρουσιάσει ο οργανισμός από την προσβολή των βακτηρίων.

Η πέψη, αποτελεί μια πολύ σημαντική διαδικασία στο ζωικό οργανισμό καθώς μέσα από αυτήν, οι τροφές μεταφέρονται στο στομάχι που εκεί πέρα διασπώνται ανάλογα με την προέλευση τους. Οι πρωτεΐνες διασπώνται σε αμινοξέα, οι υδατάνθρακες σε σάκχαρα και οι λιπαρές ουσίες σε γλυκερίνη και λιπαρά οξέα. Η πέψη δεν λαμβάνει μέρος μόνο στο στομάχι αλλά συνεχίζεται και σε άλλα όργανα όπως στο λεπτό και το παχύ έντερο. Η μοναδική κύρια διαφορά στη διαδικασία της πέψης των μονογαστρικών και των μηρυκαστικών είναι η παρουσία τεσσάρων διαμερισμάτων στο στομάχι των μηρυκαστικών που τα καθιστά ικανά να αναμασήσουν την τροφή τους με αποτέλεσμα να αυξάνεται η επαφή των τροφών με τους μικροοργανισμούς της μεγάλης κοιλίας και έτσι να γίνεται καλύτερα διάσπαση της τροφής. Η πέψη συνδέεται άμεσα με τον μεταβολισμό.

Ο μεταβολισμός είναι το σύνολο διαφόρων χημικών μεταβολών που πραγματοποιούνται μετά την πέψη και περιλαμβάνει τη μετατροπή πολύπλοκων ουσιών σε απλούστερες και απλών ουσιών σε πολύπλοκες. Πρώτα πραγματοποιείται ο καταβολισμός, με τη διάσπαση των πολύπλοκων ουσιών και ύστερα ο αναβολισμός με την παραγωγή και τη σύνθεση καινούργιων ουσιών. Με την αποταμίευση των παραπάνω ουσιών στο σώμα έχουμε και την παραγωγή διαφόρων αχρήστων για τον οργανισμό προϊόντων τα οποία αποβάλλονται ύστερα από αυτόν. Παράλληλα, μέσω του μεταβολισμού έχουμε και την ανανέωση κάποιων συστατικών του σώματος όπως των ερυθρών αιμοσφαιρίων καθώς και

την εξουδετέρωση διαφόρων τοξικών ουσιών που παράγονται μέσα στον οργανισμό ή εισάγονται μέσα από την τροφή. Με το μεταβολισμό έχουμε και την παραγωγή ενέργειας που είναι απαραίτητη προκειμένου να εξασφαλιστεί η κατάλληλη ενέργεια για να επιτευχθούν οι παραπάνω χημικές αντιδράσεις, να λειτουργήσουν σωστά τα διάφορα όργανα του σώματος και να διατηρηθεί σταθερή η θερμοκρασία του σώματος. Ο μεταβολισμός των λιπαρών ουσιών μπορεί να ακολουθήσει διάφορους δρόμους καθώς χωρίζεται σε ποικίλα στάδια. Έτσι μέσα σε ένα ζωικό οργανισμό μπορούμε να παρατηρήσουμε μερικές διεργασίες και αντιδράσεις που λαμβάνουν μέρος όπως η υδρόλυση, η αφυδρογόνωση, η οξείδωση των λιπαρών οξέων, η παραγωγή των κετονοσωμάτων, η βιοσύνθεση των ακόρεστων και κορεσμένων λιπαρών οξέων κ.α. Σημαντική περίπτωση αποτελεί η παραγωγή της χοληστερόλης καθώς αυτή η στερόλη βρίσκεται τόσο στα ζωικά κύτταρα όσο και στον άνθρωπο. Σύμφωνα με σοβαρές ενδείξεις, η χοληστερόλη μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο των στεφανιαίων νόσων της καρδιάς ενώ συσχετίζεται άμεσα με την <<καλή>> και την <<κακή>> χοληστερίνη στο αίμα. Όσο πιο χαμηλά είναι τα επίπεδα της χοληστερόλης στον ορό του αίματος τόσο πιο πολύ μειώνεται ο κίνδυνος αυτός.

Πολλές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με τον μεταβολισμό των υδατανθράκων και των λιπιδίων στα αγροτικά ζώα έτσι ώστε να αυξηθεί η αποδοτικότητα της παραγωγής και να βελτιωθεί η ποιότητα και η αποδοχή των ζωικών τροφών. Οι μελέτες απορρόφησης των λιπιδίων και του μεταβολισμού στα ζώα παραγωγής εστίαστηκαν στην παραγωγή ενέργειας από τα λιπίδια καθώς και την εναπόθεση λίπους σε κρέας, γάλα και αυγά. Αυτός είναι και ένας από τους λόγους όπου η σύνθεση του λίπους σε ζωικά προϊόντα, είναι πλέον πιο σημαντική στις αντιλήψεις των καταναλωτών σχετικά με την υγιεινή του κρέατος και του γάλακτος. Παράλληλα, η γνώση που υπάρχει σχετικά με το μεταβολισμό των αγροτικών ζώων προσπαθεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία καθώς συνδέεται με διάφορα προβλήματα των ανθρώπων όπως η παχυσαρκία και με άλλες διαταραχές τόσο του μεταβολισμού όσο και της διατροφής.

### Βιβλιογραφία

#### Ελληνική βιβλιογραφία

1. Βασιλόπουλος, Β., 1984. Διατροφή θηλαστικών και πτηνών, τεύχος Α'. Εκδοτικός οίκος αφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη, 30-46.
2. Βασιλόπουλος, Β., 1985. Διατροφή θηλαστικών και πτηνών, τεύχος Γ'. Εκδοτικός οίκος αφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη, 249-251, 253-258.
3. Ζέρβας, Γ.Π., 2005. Φυσιολογία Θρέψης Παραγωγικών Ζώων. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., 45-54, 270-279.
4. Κανδρέλης, Σ., Ρούκος, Χ., Κουτσούκης, Χ., 2009. Σημειώσεις εργαστηρίου βασικής διατροφής αγροτικών ζώων, έκδοση 2<sup>η</sup>, 5-6, 9-14.
5. Κανδύλης, Κ., 2006. Πέψη & Μεταβολισμός στα Μηρυκαστικά. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., 38-40, 367-368, 283, 285.
6. Καραμήτρος, Δ., 2004. Διατροφή Αγροτικών Ζώων. Τμήμα Ζωικής Παραγωγής, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
7. Λιαμάδης, Δ.Γ., 2000. Φυσιολογία θρέψεως ζωικού οργανισμού. University Studio Press Α.Ε., Θεσσαλονίκη, 227-228, 289-311.
8. Μάγρας Ι.Ν., Αντωνόπουλος Ι.Κ., 2008. Ανατομική των αγροτικών ζώων. Τμήμα Ζωικής Παραγωγής, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
9. Νικολακάκης, Ι. 2006. Σημειώσεις του μαθήματος Διατροφή μηρυκαστικών ζώων, 2-5, 38-40.
10. Τσάκνης, Ι., Στρατή, Ε., 2014. Τεχνολογία και Ποιότητα Λιπών-Ελαίων-Ε, 3-6.

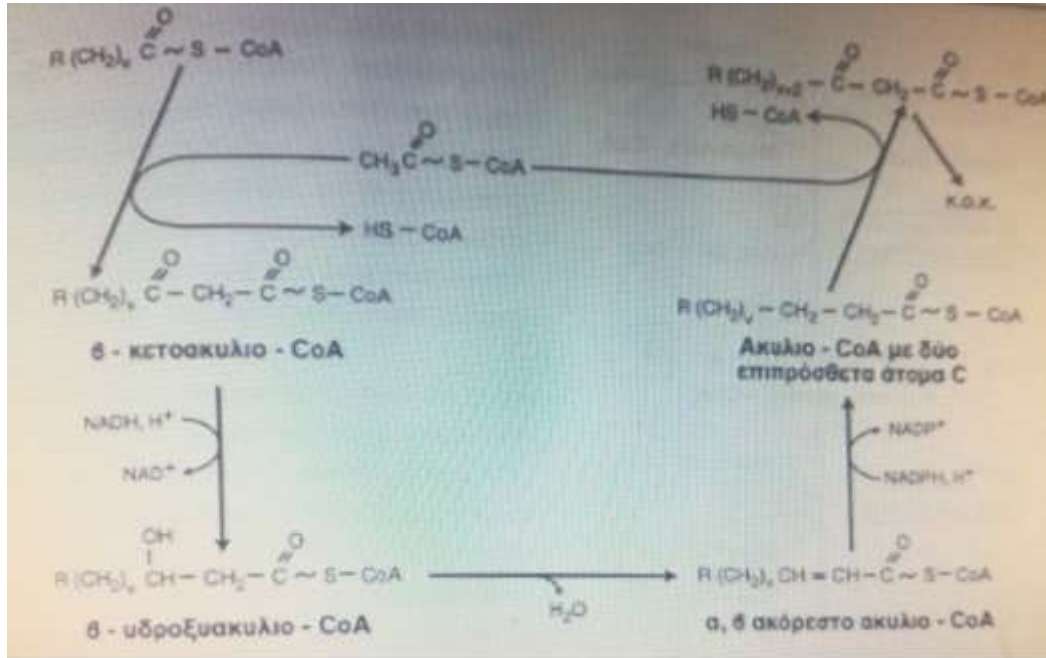
#### Πηγές διαδικτύου

11. Μεταβολισμός και Παραγωγή Ενέργειας  
[file:///C:/Users/User/Desktop/%CF%80%CF%84%CF%85%CF%87%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%B7%20%CF%80%CE%BB%CE%B7%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%B5%CF%82/metabolismos/02\\_chapter\\_24%20%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%82.pdf](file:///C:/Users/User/Desktop/%CF%80%CF%84%CF%85%CF%87%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%B7%20%CF%80%CE%BB%CE%B7%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%B5%CF%82/metabolismos/02_chapter_24%20%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%82.pdf)
12. Στοιχεία γεωπονίας και αγροτικής ανάπτυξης  
<http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C126/76/614,2213/>
13. Μεταβολισμός λιπών :  
<http://www.pe.uth.gr/cms/phocadownload/epeaek/bioxhmeia/dialekseis/8.pdf>

## Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

14. Bauman, D.E., Lock, A.L., 2006. Concepts in Lipid Digestion and Metabolism in Dairy Cows. Department of Animal Science Cornell University, Tri-State Dairy Nutrition Conference. Διαθέσιμο στο διαδίκτυο: <http://www.dairyweb.ca/Resources/3SDNC2006/Bauman.pdf>
15. Bauman, D.E., Perfield II, J.W., de Veth, M.J., Lock, A.L., New Perspectives on Lipid Digestion and Metabolism in Ruminants. Department of Animal Science Cornell University. Διαθέσιμο στο διαδίκτυο: [ftp://s173-183-201-52.ab.hsia.telus.net/Inetpub/wwwroot/DairyScience/Resources/NTS/CNC2003\\_175.pdf](ftp://s173-183-201-52.ab.hsia.telus.net/Inetpub/wwwroot/DairyScience/Resources/NTS/CNC2003_175.pdf)
16. Drackley, J.K., 2000. Farm Animal Metabolism and Nutrition. Department of Animal Sciences, University of Illinois, Urbana, Illinois, USA. Διαθέσιμο στο διαδίκτυο: [http://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/zootecnia/lucianohauschild/3788ch05\\_ok.pdf](http://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/zootecnia/lucianohauschild/3788ch05_ok.pdf)
17. Nafikov, R.A., Beitz, D.C., 2007. Carbohydrate and Lipid Metabolism in Farm Animals. Departments of Animal Science and of Biochemistry, Biophysics, and Molecular Biology, Iowa State University, Ames, IA 50011, Διαθέσιμο στο διαδίκτυο: [https://www.researchgate.net/publication/6493696\\_Carbohydrate\\_and\\_Lipid\\_Metabolism\\_in\\_Farm\\_Animals](https://www.researchgate.net/publication/6493696_Carbohydrate_and_Lipid_Metabolism_in_Farm_Animals)

Παράρτημα

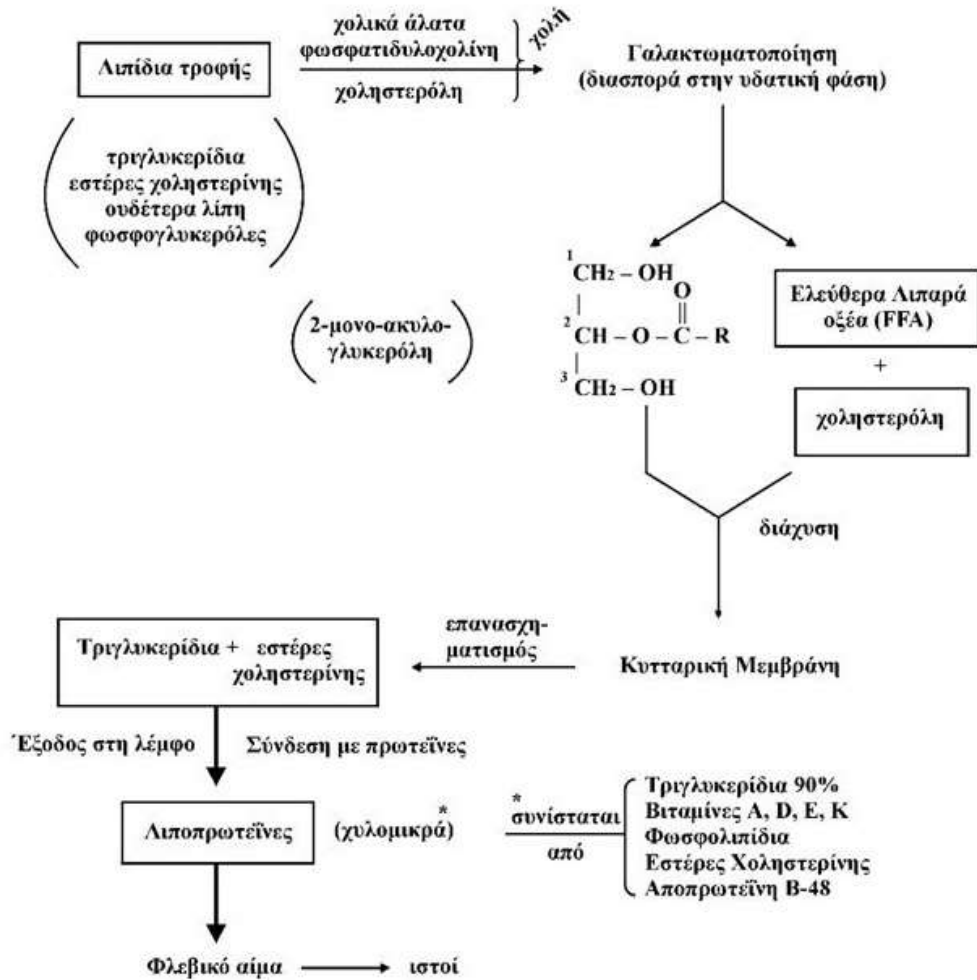


Εικόνα 1: Επιμήκυνση της ανθρακικής αλυσίδας των λιπαρών οξέων κατά το μιτοχονδριακό σύστημα.

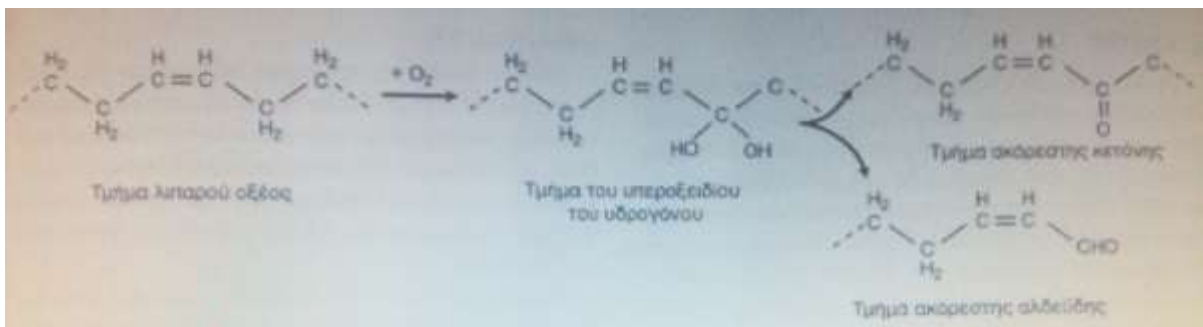


Εικόνα 2: Σχηματική παράσταση μεταβολισμού χοληστερόλης.

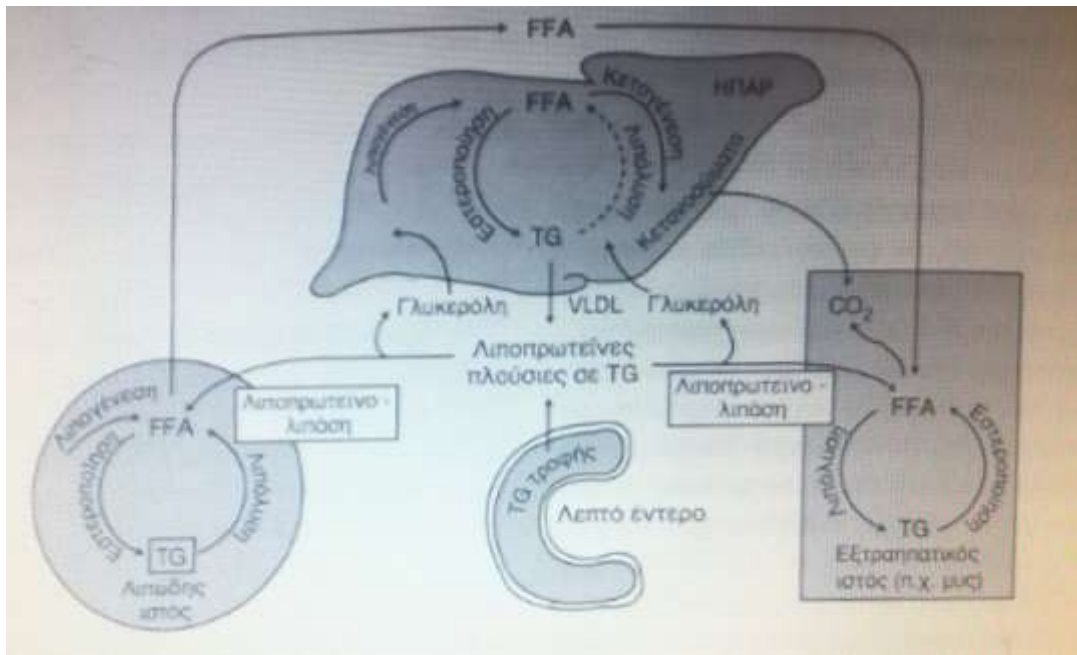
# Πέψη των λιπιδίων



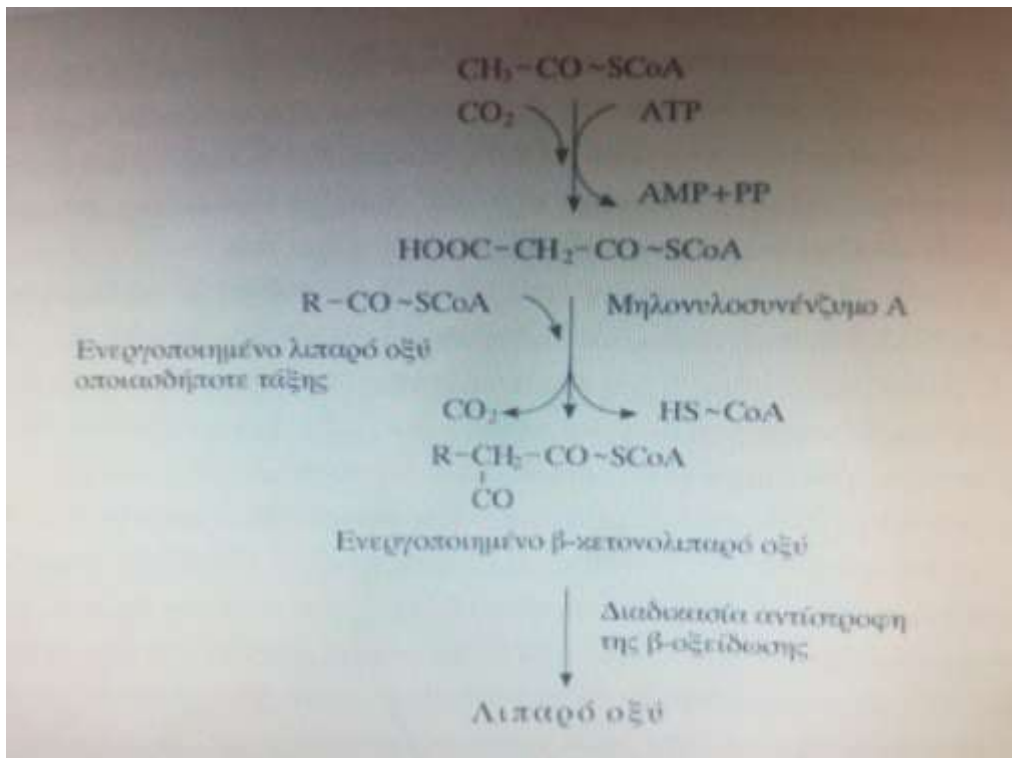
Εικόνα 3: Σχηματική αναπαράσταση της πέψης των λιπιδίων.



Εικόνα 4: Οξείδωση λιπαρών οξέων και σχηματισμός υπεροξειδίων του υδρογόνου.



Εικόνα 5: Συνολική άποψη του μεταβολισμού των λιπών σε επίπεδο ζωικού οργανισμού.



Εικόνα 6: Σύνθεση λιπαρού οξέος (από φυσιολογία Θρέμωος Π. Καλαϊσάκη, 1981).