



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΗΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΥΔΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

Διδακτορική Διατριβή

Επίδραση των λιπαρών οξέων της τροφής στο κεντρικό νευρικό σύστημα,
στην ανάπτυξη και στη σύσταση του σώματος του Ευρωπαϊκού λαβρακιού
Dicentrarchus labrax L.

Αριστείδης Γ. Τσοπελάκος

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:
Ελένη Μήλιου, Καθηγήτρια ΓΠΑ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:
Ελένη Μήλιου, Καθηγήτρια ΓΠΑ
Παναγιώτα Παναγιωτάκη, Καθηγήτρια ΠΘ
Χριστίνα Δάλλα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

Αθήνα
2021

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΗΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΥΔΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

Διδακτορική Διατριβή

Επίδραση των λιπαρών οξέων της τροφής στο κεντρικό νευρικό σύστημα,
στην ανάπτυξη και στη σύσταση του σώματος του Ευρωπαϊκού λαβρακιού
Dicentrarchus labrax L.

Dietary fatty acid effects on central nervous system, growth and fillet
composition of European sea bass *Dicentrarchus labrax* L.

Αριστείδης Γ. Τσοπελάκος

Επταμέλης Εξεταστική Επιτροπή:

Ελένη Μήλιου, Καθηγήτρια ΓΠΑ (επιβλέπουσα)

Παναγιώτα Παναγιωτάκη, Καθηγήτρια ΠΘ

Χριστίνα Δάλλα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

Στυλιανή Χαδιώ, Καθηγήτρια ΓΠΑ

Ναυσικά Καρακατσούλη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΓΠΑ

Ιωάννης Κοτζαμάνης, Ερευνητής Β' ΕΛΚΕΘΕ

Εμμανουήλ Μαλανδράκης, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

Επίδραση των λιπαρών οξέων της τροφής στο κεντρικό νευρικό σύστημα, στην ανάπτυξη και στη σύσταση του σώματος του ευρωπαϊκού λαβρακιού *Dicentrarchus labrax* L.

*Τμήμα Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής
Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Υδροβιολογίας*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Προκειμένου να καλυφθούν οι στόχοι αειφορίας, η βιομηχανία βρίσκεται σε μία συνεχή αναζήτηση βιώσιμων εναλλακτικών του ιχθυέλαιου. Οι εναλλακτικές πηγές λίπους πρέπει να καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες για ανεμπόδιστη ανάπτυξη, ενώ ταυτόχρονα να προάγουν την υγεία και την ευζωία των ψαριών. Τα συστατικά που διαφοροποιούν τις πηγές λίπους είναι τα λιπαρά οξέα. Τα θαλάσσια σαρκοβόρα είδη απαιτούν συγκεκριμένες ποσότητες λιπαρών οξέων, που δεν μπορούν να βιοσυντεθούν. Καθώς η σύσταση των λιπαρών οξέων των εναλλακτικών του ιχθυέλαιου είναι ελλιπής για συγκεκριμένα απαραίτητα λιπαρά οξέα, ο μεταβολισμός τους τροποποιείται ανάλογα με τη διαθεσιμότητα άλλων ομάδων, με αποτέλεσμα την παρουσία αλληλεπιδράσεων που μπορεί να μην είναι ωφέλιμες για τα ψάρια. Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση των συνδυασμένων επιδράσεων διαφορετικών επιπέδων n-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας (n-3 LC PUFA) και λόγων κορεσμένων (SFA) προς μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (MUFA) στη δραστηριότητα των νευροδιαβιβαστών του εγκεφάλου, στην ανάπτυξη και στη σύσταση του φιλέτου του ευρωπαϊκού λαβρακιού. Συμπληρωματικά προσδιορίστηκαν και αιματολογικές παράμετροι. Επιλέχθηκαν δύο επίπεδα n-3 LC PUFA (χαμηλό στο 5% και μέσο στο 7% των συνολικά ταυτοποιημένων λιπαρών οξέων). Σε κάθε επίπεδο, επιτεύχθηκαν τρεις αναλογίες SFA προς MUFA (0,4, 0,6 και 0,9) μετά από προσθήκη μειγμάτων εναλλακτικών πηγών λιπιδίων. Πραγματοποιήθηκε πειραματική εκτροφή 251 ημερών, ακολουθούμενη από περίοδο τελικής διατροφής 99 ημερών. Οι συγκεντρώσεις νευροδιαβιβαστών μετρήθηκαν στο τελικό, τον μέσο και το ρομβοειδή εγκέφαλο. Σε κάθε τμήμα του εγκεφάλου παρατηρήθηκαν διαφορετικές αποκρίσεις στη μακροχρόνια εκτροφή με τις πειραματικές ιχθυοτροφές. Ο μεταβολισμός της σεροτονίνης και της ντοπαμίνης επηρεάστηκε από τα SFA, τα MUFA, τα n-3 LC PUFA, καθώς και από συνδυασμούς τους. Από την ημέρα 188 έως την ημέρα 350, η ομάδα του μάρτυρα εμφάνισε ανώτερη ανάπτυξη, χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ των υπόλοιπων χειρισμών. Η περίοδος τελικής διατροφής αποκατέστησε μερικώς τη σύσταση των λιπαρών οξέων του φιλέτου, με αποτέλεσμα την αναλογία n-3 / n-6 > 1. Τα ψάρια που τρέφονταν με τροφές χαμηλού επιπέδου n-3 LC

PUFA και λόγων SFA/MUFA 0.4 και 0.6 παρουσίασαν σχετικά χαμηλά επίπεδα FCR, λιπίδια του ήπατος και γλυκόζη στο πλάσμα. Αυτές οι τροφές μπορεί να είναι βιώσιμες επιλογές, όταν ακολουθούνται από μια τελική διατροφή και συμβάλλουν στην ευζωία και την ποιότητα των ψαριών. Συμπερασματικά, κατά τη σύνθεση ιχθυοτροφών με υποκατάσταση ιχθυελαίου για μακροχρόνια εκτροφή λαβρακιού, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ ομάδων λιπαρών οξέων, περισσότερο από την καθαρή συμβολή τους στο προφίλ λιπαρών οξέων, αφού φαίνεται να ρυθμίζουν την απόδοση της ανάπτυξης πιο αποτελεσματικά. Η συμβολή των αλληλεπιδράσεων μεταξύ ομάδων λιπαρών οξέων φαίνεται επίσης και από τα μοντέλα πρόβλεψης των συγκεντρώσεων των νευροδιαβιβαστών μέσω των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA του φιλέτου. Σύμφωνα με αυτά, η συσσώρευση n-3 LC PUFA στο φιλέτο, συνδέθηκε με εμφάνιση συμπτωμάτων stress, όπως χαμηλή συγκέντρωση σεροτονίνης και υψηλή σεροτονινεργική και ντοπαμινεργική δραστηριότητα. Επιπλέον, οι αυξημένες τιμές των λόγων, συνδέθηκαν επίσης με στρεσογόνο κατάσταση του οργανισμού. Συνεπώς, οι εναλλακτικές ιχθυοτροφές για λαβράκι μπορεί να προκαλέσουν μια απόκριση στο stress. Οι εμπλεκόμενοι παράγοντες περιλαμβάνουν την εξάντληση των απαραίτητων n-3 LC PUFA, την αλληλεπίδραση μεταξύ των ομάδων λιπαρών οξέων, τη συνολική σύσταση του λίπους σε λιπαρά οξέα, καθώς και την ποσότητα των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την αντικατάσταση ιχθυελαίου.

Επιστημονική περιοχή: Διατροφή ψαριών

Λέξεις κλειδιά: Αντικατάσταση Ιχθυελαίου, Φυτικά Έλαια, Λιπαρά Οξέα, Νευροδιαβιβαστές, Ανάπτυξη, Σύσταση Φιλέτου

Dietary fatty acid effects on central nervous system, growth and fillet composition of European sea bass *Dicentrarchus labrax* L.

*Department of Animal Science
Laboratory of Applied Hydrobiology*

ABSTRACT

In order to cover its sustainability goals, the aquaculture industry is in a continuous search for viable alternatives to fish oil. The alternative lipid sources need to cover the energy requirements for unhindered growth performance, while at the same time promote fish health and welfare. The ingredients that differentiate lipid sources are fatty acids. Marine carnivorous species require certain amounts of dietary fatty acids, that cannot be biosynthesized. As the fatty acid profile of fish oil alternatives lacks certain essential fatty acids, their metabolism is modulated according to the availability of other fatty acid groups, resulting to interactions that may be less beneficiary for the fish. The aim of this study was the assessment of the combined effects of different dietary n-3 long chain polyunsaturated fatty acid (n-3 LC PUFA) levels and saturated (SFA) to monounsaturated fatty acid (MUFA) ratios on European sea bass brain neurotransmitter activity, growth, fillet composition. In addition, blood parameters were also determined. Two levels of n-3 LC PUFA were selected (low at 5% and medium at 7% total identified fatty acids). Within each level, three SFA to MUFA ratios (0.4, 0.6 and 0.9) were achieved by adding alternative lipid sources mixtures. A 251-day experimental rearing took place, followed by a 99-day finisher-diet period. Neurotransmitter concentrations were measured in the telencephalon, mesencephalon and medulla. Different responses to long term rearing on the experimental diets were observed in each section of the brain. Serotonin and dopamine metabolism was affected by SFA, MUFA, n-3 LC PUFA, as well as combinations thereof. From day 188 until day 350, the control group displayed superior growth, with no significant differences among the remaining treatments. Finisher period partially restored fillet fatty acid profile, resulting in a n-3/n-6 ratio >1. Fish fed on diets with low n-3 LC PUFA content, with 0.4 and 0.6 SFA/MUFA ratios, demonstrated relatively low FCR, plasma glucose and liver lipid levels. These diets may be viable selections, when followed by a finisher diet and contribute to fish welfare and quality. In conclusion, for long-term sea bass rearing using diets with fish oil substitution, the interactions among fatty acid groups, seem to regulate growth performance more effectively than their sheer contribution to the fatty acid profile. The aforementioned interactions were evident in the

prediction models of neurotransmitter concentrations, based on 18:1n-9/n-3 LC PUFA and SFA/n-3 LC PUFA ratios of the fillet. According to the models, the accumulation of n-3 LC PUFA in the fillet, as a result of their non-use for neurotransmission was associated with the onset of stress symptoms, such as low serotonin concentration and high serotonergic and dopaminergic activities. In addition, the increased ratio values were also associated with an overall stressful state of the organism. Therefore, alternative diets for sea bass may mediate a stress response and the implicated factors include the depletion of essential n-3 LC PUFAs, the interaction between fatty acid groups, overall fatty acid composition, as well as quantity of lipid resources used for fish oil replacement.

Scientific area: Fish nutrition

Keywords: Fish oil replacement, Vegetable oils, Fatty acids, neurotransmitters, growth, fillet composition

«Υπάρχουν δύο πιθανές εκβάσεις: αν το αποτέλεσμα επιβεβαιώσει την υπόθεση, τότε έκανες μία μέτρηση. Αν το αποτέλεσμα είναι αντίθετο της υπόθεσης, τότε έκανες μία ανακάλυψη»

Enrico Fermi

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνέβαλαν σε αυτή. Τα μέλη της συμβουλευτικής και εξεταστικής επιτροπής:

Την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, κυρία Δάλλα, για όλα αυτά τα χρόνια της άριστης συνεργασίας μας. Την ευχαριστώ για τη γνώση που μου μετάδωσε και για την υποστήριξη που ποτέ δε σταμάτησε.

Την Καθηγήτρια, κυρία Παναγιωτάκη για τον καθοριστικό ρόλο που διαδραμάτισε στην ολοκλήρωση της διατριβής, με την παρότρυνση και τη συμβολή στη συγγραφή της.

Την Καθηγήτρια, κυρία Χαδιώ, για τις ουσιαστικές επισημάνσεις και τη συμβολή της στην επιστημονική θωράκιση της διατριβής.

Την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, κυρία Καρακατσούλη που με έχει καθοδηγήσει από την πτυχιακή και την μεταπτυχιακή μου εργασία και έχει συμβάλει στην διαμόρφωση του επιστημονικού μου χαρακτήρα.

Τον Ερευνητή Α΄, κύριο Κοτζαμάνη, για όλη την υποστήριξη στη μακρά πορεία αυτής της μελέτης.

Τον Επίκουρο Καθηγητή, κύριο Μαλανδράκη, για τις συμβουλές που παρέχει αφειδώς και που δε δίσταζε να σηκώνει το τηλέφωνό του τις Κυριακές

Άφησα για το τέλος την Καθηγήτρια και Επιβλέπουσά μου, κυρία Μήλιου. Την ευχαριστώ που μου έδειχνε το δρόμο, αλλά με παρότρυνε να κάνω παρακάμψεις. Τελικά κατέληγα στην αρχική πορεία, αλλά πάντα με οφέλη από την παράκαμψη. Μία μνεία για ακαδημαϊκή καθοδήγηση είναι πολύ λίγη για να εκφράσει την προσφορά της.

Ευχαριστώ τη δρ. Εύη Χατζόγλου, που ίσως άθελά της άναψε τη σπίθα για την ολοκλήρωση αυτής της μελέτης, για όλα όσα έκανε για εμένα και όλα όσα κάνει, τον τεχνικό Γιώργο Κωνσταντίνου, για τη μακρόχρονη συνεργασία και τα παλαιότερα μέλη της ερευνητικής ομάδας του Εργαστηρίου, την κυρία Ερατώ Ζωγοπούλου και τον κύριο Γιάννη Νομικό, για τη βοήθειά τους σε όλη τη διάρκεια της ερευνητικής περιόδου.

Ευχαριστώ τον κύριο Γιάννη Καρακώστα και τον δρ. Βασίλη Καραλάζο, από την εταιρία Biomar, για την συμβολή τους στο σχεδιασμό και στην υλοποίηση του πειράματος.

Ευχαριστώ όλους τους φίλους και τους συγγενείς, που σε οποιοδήποτε χρονικό σημείο αυτού του μαραθωνίου, μου προσέφεραν τη στήριξή τους.

Θα ολοκληρώσω με τις ευχαριστίες προς την οικογένειά μου, τους γονείς μου Γιώργο και Μαρία, τον αδερφό μου Θεοδόση και τη σύζυγό μου την Ελένη. Τους ευχαριστώ που είναι πάντα δίπλα μου.

Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	<i>i</i>
ABSTRACT	<i>iii</i>
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	<i>vi</i>
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	<i>xi</i>
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	<i>xii</i>
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ	<i>xiii</i>
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	<i>xvii</i>
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α	<i>1</i>
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	<i>1</i>
1.1 Υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα	<i>1</i>
1.2 Το Ευρωπαϊκό λαβράκι (<i>Dicentrarchus labrax</i> Linnaeus, 1758)	<i>3</i>
1.2.1 Βιολογία.....	<i>3</i>
1.2.2 Εκτροφή.....	<i>5</i>
1.3 Νευροδιαβιβαστές	<i>7</i>
1.3.1 Γενικά.....	<i>8</i>
1.3.2 Μηχανισμός δράσης.....	<i>9</i>
1.3.3 Σεροτονίνη.....	<i>9</i>
1.3.4 Κατεχολαμίνες.....	<i>13</i>
1.4 Λιπίδια	<i>17</i>
1.4.1 Λιπαρά οξέα.....	<i>18</i>
1.4.2 Λιπίδια στη διατροφή των ψαριών.....	<i>19</i>
1.5 Αντικατάσταση ιχθυέλαιου σε ιχθυοτροφές	<i>25</i>
1.5.1 Αλληλεπιδράσεις Λιπαρών Οξέων.....	<i>27</i>
1.6 Σκοπός της εργασίας	<i>28</i>
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β	<i>29</i>
2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	<i>29</i>
2.1 Πειραματικός σχεδιασμός	<i>29</i>
2.1.1 Πειραματική εκτροφή.....	<i>29</i>
2.1.2 Δειγματοληψίες.....	<i>29</i>

2.2	Παρασκευή πειραματικών τροφών	30
2.3	Προσδιορισμός λίπους και αναλογιών λιπαρών οξέων.....	32
2.3.1	Προσδιορισμός λίπους σε δείγματα φιλέτου.....	32
2.3.2	Προσδιορισμός σύστασης του λίπους σε λιπαρά οξέα	32
2.3.3	Προσδιορισμός λίπους σε δείγματα τροφών	33
2.4	Σύσταση λιπαρών οξέων ελαίων και τροφών.....	34
2.5	Προσδιορισμός πρωτεΐνης φιλέτου	36
2.6	Προσδιορισμός επιπέδων νευροδιαβιβαστών εγκεφάλου	36
2.7	Προσδιορισμός αιματολογικών παραμέτρων	38
2.8	Προσδιορισμός φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού εκτροφής ...	39
2.9	Προσδιορισμός Νιτροδών Ιόντων και Ολικής Αμμωνίας	40
2.10	Υπολογισμοί και Στατιστική Επεξεργασία	41
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ.....	46
3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	46
3.1	Παράμετροι ανάπτυξης	46
3.1.1	Μέσο Σωματικό Βάρος	46
3.1.2	Ειδικός Ρυθμός Ανάπτυξης και Συντελεστής Εκμετάλλευσης της Τροφής.....	47
3.1.3	Αποτελεσματικότητα της τροφής και ημερήσια αύξηση βάρους	48
3.1.4	Συντελεστής Ευρωστίας, Σπλαγχοσωματικός και Ηπατοσωματικός Δείκτης	49
3.1.5	Συντελεστής Θερμικής Ανάπτυξης	51
3.1.6	Συντελεστής Λιπιδικής Αποδοτικότητας	52
3.2	Νευροδιαβιβαστές.....	53
3.2.1	Επίδραση των σιτηρεσιών.....	53
3.2.2	Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA	59
3.2.3	Συσχετίσεις παραμέτρων ανάπτυξης με τη συγκέντρωση νευροδιαβιβαστών	65
3.2.4	Πολλαπλή παλινδρόμηση.....	66
3.3	Σύσταση του φιλέτου.....	71
3.3.1	Επίδραση των σιτηρεσιών στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε πρωτεΐνη.....	71
3.3.2	Επίδραση των σιτηρεσιών στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε λίπος	71
3.3.3	Επίδραση των σιτηρεσιών στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε υγρασία	72
3.3.4	Επίδραση των σιτηρεσιών στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε τέφρα.....	72
3.3.5	Επίδραση των σιτηρεσιών στην περιεκτικότητα του ήπατος σε λίπος	72
3.3.6	Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε πρωτεΐνη	72

3.3.7	Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε λίπος.....	73
3.3.8	Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα φιλέτου σε υγρασία.....	75
3.3.9	Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε τέφρα.....	75
3.3.10	Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα του ήπατος σε λίπος.....	76
3.4	Σύσταση του λίπους του φιλέτου σε λιπαρά οξέα	79
3.5	Αιματολογικές Παράμετροι	88
3.5.1	Επίδραση σιτηρεσίου	88
3.5.2	Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....		93
4	ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	93
4.1	Παράμετροι ανάπτυξης	93
4.2	Νευροδιαβιβαστές.....	95
4.3	Αιματολογικές Παράμετροι	101
4.4	Σύσταση Φιλέτου και Λιπαρών Οξέων.....	102
4.5	Συμπεράσματα.....	107
5	Βιβλιογραφία.....	110

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: <i>Dicentrarchus labrax</i> Linnaeus, 1758.....	3
Εικόνα 2: Εντατικό σύστημα με πλωτούς κλωβούς,	5
Εικόνα 3: Εντατικό σύστημα με πλωτούς κλωβούς, (Πηγή: Δρ. Ευανθία Χατζόγλου)...	6
Εικόνα 4: Σχηματική αναπαράσταση εγκεφάλου τελεόστεου είδους (<i>Anguila japonica</i>). OB: Οσφρητικός βολβός (olfactory bulb), Tel: Τελικός Εγκέφαλος (telencephalon), E: επίφυση (epiphysis), TeO: οπτικός μέσος εγκέφαλος (optic tectum), Ce: παρεγκεφαλίδα (cerebellum), IL: νωτιαίος λοβός του υποθαλάμου (inferior lobe of the hypothalamus), V4: τέταρτη κοιλία (fourth ventricle), OX: μοχλός (obex), Pit: υπόφυση (pituitary), SO: νεύρο ινιακού σπονδύλου (spinooccipital nerve), I: οσφρητικό νεύρο (olfactory nerve), II: οπτικό νεύρο (optic nerve), III: οφθαλμοκινητικό νεύρο (oculomotor nerve), IV: τροχλιακό νεύρο (trochlear nerve), V: τρίδυμο νεύρο του προσώπου (trigeminal nerve), VI: απαγωγό νεύρο (abducens nerve), VII: προσωπικό νεύρο (facial nerve), VIII: (octaval nerve), IX: γλωσσοφαρυγγικό νεύρο (glossopharyngeal nerve), X: σπλαχνικό νεύρο (vagal nerve) (Πηγή: Mukuda and Ando (2003), τροποποιημένη).	7
Εικόνα 5: Συγκριτική αναπαράσταση εγκεφάλου διαφόρων ειδών. Aob: συμπληρωματικός οσφρητικός βολβός (accessory olfactory bulb), cb: παρεγκεφαλίδα (cerebellum), ch: εγκεφαλικά ημισφαίρια (cerebral hemispheres), m: προμήκης μυελός (medulla oblongata), ob: οσφρητικός βολβός (olfactory bulb), ot: οπτικός μεσεγκέφαλος (optic tectum), p: υπόφυση (pituitary gland) (Πηγή: Northcutt (2002), τροποποιημένη).....	7
Εικόνα 6: Απεικόνιση σύναψης (Πηγή: Berg et al. (2006)).	9
Εικόνα 7: Σεροτονίνη (5-HT)	10
Εικόνα 8: Σύνθεση Σεροτονίνης.....	11
Εικόνα 9: Μεταβολισμός Σεροτονίνης.....	11
Εικόνα 10: Ντοπαμίνη.	14
Εικόνα 11: Νοραδρεναλίνη.....	14
Εικόνα 12: Σύνθεση Κατεχολαμινών.	14
Εικόνα 13: DOPAC.	15
Εικόνα 14: HVA.	15
Εικόνα 15: Σύνθεση HVA & DOPAC.....	15
Εικόνα 16: Δοκοσαεξανοϊκό οξύ (DHA) (Πηγή: http://www.mentalhelp.net).	20

Εικόνα 17: Εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) (Πηγή: http://commons.wikimedia.org).	20
Εικόνα 18: α-Λινολενικό οξύ (ALA) (Πηγή: http://commons.wikimedia.org).....	21
Εικόνα 19: Αραχιδονικό οξύ (AA), (Πηγή: http://commons.wikimedia.org).	21
Εικόνα 20: Λινολεϊκό οξύ (LA), (Πηγή: http://commons.wikimedia.org).....	21
Εικόνα 21: Κάτοψη τμημάτων εγκεφάλου του Ευρωπαϊκού λαβρακιού.....	37
Εικόνα 22: Πλάγια όψη τμημάτων εγκεφάλου του Ευρωπαϊκού λαβρακιού.....	37

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Σύνθεση και σύσταση των πειραματικών τροφών.....	30
Πίνακας 2: Ποσοστά αντικατάστασης.....	31
Πίνακας 3: Σύσταση σε επιλεγμένα λιπαρά οξέα (% αναγνωρισμένων ολικών λιπαρών οξέων) στα έλαια και στο λίπος της βασικής τροφής.	34
Πίνακας 4: Σύσταση λιπαρών οξέων του λίπους των τροφών	35
Πίνακας 5: Μετρήσεις (±τυπική απόκλιση) επιπέδων διαλυμένου Οξυγόνου (ppm), κορεσμού του νερού εκτροφής σε οξυγόνο (%), pH και θερμοκρασίας (°C)	40
Πίνακας 6: Επίπεδα (ppm ± τυπικό σφάλμα) ολικής αμμωνίας, τοξικής αμμωνίας και νιτρωδών ιόντων, στο νερό εκτροφής.....	40
Πίνακας 7: Μέσο βάρος (g) (± τυπικό σφάλμα) ψαριών σε κάθε διατροφική επέμβαση στη διάρκεια της πειραματικής εκτροφής (E: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA).....	46
Πίνακας 8: Συγκεντρώσεις νευροδιαβιβαστών την Ημέρα 131 στον τελικό, στον μέσο και στο ρομβοειδή εγκέφαλο (ng/g ιστού±τυπικό σφάλμα του μέσου). E: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA	55
Πίνακας 9: Συγκεντρώσεις νευροδιαβιβαστών την Ημέρα 251 στον τελικό, στον μέσο και στο ρομβοειδή εγκέφαλο (ng/g ιστού±τυπικό σφάλμα του μέσου). E: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA	56
Πίνακας 10: Συγκεντρώσεις νευροδιαβιβαστών την Ημέρα 313 στον τελικό, στον μέσο και στο ρομβοειδή εγκέφαλο (ng/g ιστού±τυπικό σφάλμα του μέσου). E: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA	57
Πίνακας 11: Συγκεντρώσεις νευροδιαβιβαστών την Ημέρα 350 στον τελικό, στον μέσο και στο ρομβοειδή εγκέφαλο (ng/g ιστού±τυπικό σφάλμα του μέσου). E: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA	58

Πίνακας 12: Ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης $Y=a+b_1X+b_2X^2+b_3Z+b_4Z^2+b_5XZ$, όπου Y: DA, DOPAC, 5-HT, 5-HIAA, DOPAC/DA, 5-HIAA/5-HT στο τμήμα του εγκεφάλου στις 251 και τις 350 ημέρες; X: 18:1n-9/n-3 LC PUFA, Z: SFA/n-3 LC PUFA, SE: τυπικό σφάλμα, SEE: τυπικό σφάλμα εκτίμησης.....	66
Πίνακας 13: Σύσταση φιλέτου λαβρακιών στις διαφορετικές περιόδους εκτροφής. E: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA.....	78
Πίνακας 14: Σύσταση Λιπαρών Οξέων (% αναγνωρισμένων ολικών λιπαρών οξέων) του φιλέτου λαβρακιών (ημέρα 251). E: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA	80
Πίνακας 15: Σύσταση Λιπαρών Οξέων (% αναγνωρισμένων ολικών λιπαρών οξέων) του φιλέτου λαβρακιών (ημέρα 350). E: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA	82
Πίνακας 16: Σύσταση Λιπαρών Οξέων (g/100g ιστού) του φιλέτου λαβρακιών (ημέρα 251). E: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA	84
Πίνακας 17: Σύσταση Λιπαρών Οξέων (g/100g ιστού) του φιλέτου λαβρακιών (ημέρα 350). E: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA	86
Πίνακας 18: Αιματολογικές Παράμετροι την ημέρα 131. E: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA.....	89
Πίνακας 19: Αιματολογικές Παράμετροι την ημέρα 251. E: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA.....	90

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Διακύμανση ετήσιας παραγωγής της τσιπούρας και του λαβρακιού στην Ελλάδα (Πηγή: Δεδομένα από FishstatJ (2020)).....	1
Γράφημα 2: Διακύμανση ετήσιας παραγωγής και της αξίας του λαβρακιού στην Ελλάδα (Πηγή: Δεδομένα από FishstatJ (2020)).	2
Γράφημα 3: Ποσοστιαία Αύξηση του Μέσου Βάρους στις διαφορετικές περιόδους εκτροφής	47
Γράφημα 4: Κατανάλωση της τροφής ανά περίοδο εκτροφής.....	47
Γράφημα 5: Ειδικός Ρυθμός Ανάπτυξης ανά περίοδο εκτροφής.....	48
Γράφημα 6: Συντελεστής Εκμετάλλευσης της Τροφής ανά περίοδο εκτροφής.....	48
Γράφημα 7: Αποτελεσματικότητα της Τροφής ανά περίοδο εκτροφής	49
Γράφημα 8: Ημερήσια Αύξηση Βάρους ανά περίοδο εκτροφής.....	49

Γράφημα 9: Συντελεστής Ευρωστίας στις διαφορετικές περιόδους εκτροφής	50
Γράφημα 10: Σπλαγνοσωματικός Δείκτης στις διαφορετικές περιόδους εκτροφής	50
Γράφημα 11: Επίδραση λόγου SFA/MUFA την ημέρα 350 στο Σπλαγνοσωματικό Δείκτη	51
Γράφημα 12: Ηπατοσωματικός Δείκτης στις διαφορετικές περιόδους εκτροφής.....	51
Γράφημα 13: Συντελεστής Θερμικής Ανάπτυξης στις διαφορετικές περιόδους εκτροφής	52
Γράφημα 14: Συντελεστής Λιπιδικής Αποδοτικότητας στις διαφορετικές περιόδους εκτροφής	52
Γράφημα 15: Αλληλεπίδραση επιπέδου n-3 LC PUFA και λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση 5-HT, στο μέσο εγκέφαλο (ημέρα 131).	59
Γράφημα 16: Αλληλεπίδραση επιπέδου n-3 LC PUFA και λόγου SFA/MUFA στη σεροτονινεργική δραστηριότητα, στο μέσο εγκέφαλο (ημέρα 131).	60
Γράφημα 17: Επίδραση επιπέδου n-3 LC PUFA στη συγκέντρωση NA του ρομβοειδούς εγκεφάλου λαβρακιών (ημέρα 131).....	60
Γράφημα 18: Επίδραση του λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση DA του ρομβοειδούς εγκεφάλου λαβρακιών (ημέρα 131).....	61
Γράφημα 19: Αλληλεπίδραση επιπέδου n-3 LC PUFA και λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση DOPAC, στον τελικό εγκέφαλο (ημέρα 251).....	61
Γράφημα 20: Αλληλεπίδραση επιπέδου n-3 LC PUFA και λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση DA, στο ρομβοειδή εγκέφαλο (ημέρα 251).	62
Γράφημα 21: Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA στη σεροτονινεργική δραστηριότητα του ρομβοειδούς εγκεφάλου λαβρακιών (ημέρα 251).....	62
Γράφημα 22: Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA στη συγκέντρωση DOPAC του τελικού εγκεφάλου λαβρακιών (ημέρα 313).	63
Γράφημα 23: Επίδραση του λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση DA του τελικού εγκεφάλου λαβρακιών (ημέρα 313).....	63
Γράφημα 24: Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA στη συγκέντρωση 5-HT του τελικού εγκεφάλου λαβρακιών (ημέρα 350).....	64
Γράφημα 25: Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA στη σεροτονινεργική δραστηριότητα του τελικού εγκεφάλου λαβρακιών (ημέρα 350).....	64
Γράφημα 26: Επίδραση του λόγου SFA/MUFA στη σεροτονινεργική δραστηριότητα του τελικού εγκεφάλου λαβρακιών (ημέρα 350).	65

Γράφημα 27: Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA στη συγκέντρωση 5-HT του ρομβοειδούς εγκεφάλου λαβρακιών (ημέρα 350).	65
Γράφημα 28: Μοντέλο πρόβλεψης της συγκέντρωσης DA του τελικού εγκεφάλου βάσει των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA στο λίπος του φιλέτου	67
Γράφημα 29: Μοντέλο πρόβλεψης της σεροτονινεργικής δραστηριότητας του τελικού εγκεφάλου βάσει των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA στο λίπος του φιλέτου.....	68
Γράφημα 30: : Μοντέλο πρόβλεψης της συγκέντρωσης 5-HT του μέσου εγκεφάλου βάσει των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA στο λίπος του φιλέτου	68
Γράφημα 31: Μοντέλο πρόβλεψης της ντοπαμινεργικής δραστηριότητας του μέσου εγκεφάλου βάσει των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA στο λίπος του φιλέτου.....	69
Γράφημα 32: Μοντέλο πρόβλεψης της συγκέντρωσης 5-HIAA του ρομβοειδούς εγκεφάλου βάσει των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA στο λίπος του φιλέτου.....	69
Γράφημα 33: Μοντέλο πρόβλεψης της ντοπαμινεργικής δραστηριότητας του ρομβοειδούς εγκεφάλου βάσει των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA στο λίπος του φιλέτου.....	70
Γράφημα 34: Μοντέλο πρόβλεψης της σεροτονινεργικής δραστηριότητας του ρομβοειδούς εγκεφάλου βάσει των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA στο λίπος του φιλέτου.....	70
Γράφημα 35: Περιεκτικότητα φιλέτου λαβρακιών σε λίπος	71
Γράφημα 36: Περιεκτικότητα ήπατος λαβρακιών σε λίπος	72
Γράφημα 37: Επίδραση του Επιπέδου n-3 LC PUFA στην περιεκτικότητα πρωτεΐνης του φιλέτου λαβρακιών (ημέρα 251)	73
Γράφημα 38: Αλληλεπίδραση επιπέδου n-3 LC PUFA και λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα του φιλέτου λαβρακιού σε λίπος (ημέρα 131)	74
Γράφημα 39: Αλληλεπίδραση επιπέδου n-3 LC PUFA και λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα του φιλέτου λαβρακιού σε λίπος (ημέρα 313)	74
Γράφημα 40: Επίδραση του Επιπέδου n-3 LC PUFA στην περιεκτικότητα λίπους του φιλέτου λαβρακιών (ημέρα 350)	75
Γράφημα 41: Επίδραση του Επιπέδου n-3 LC PUFA στην περιεκτικότητα λίπους του ήπατος λαβρακιών (ημέρα 251).....	76

Γράφημα 42: Επίδραση του λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα λίπους του ήπατος λαβρακιών στο τέλος της 2 ^{ης} περιόδου εκτροφής	76
Γράφημα 43: Αλληλεπίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα λίπους του ήπατος των λαβρακιών (ημέρα 350)	77
Γράφημα 44: Επίδραση του Επιπέδου n-3 LC PUFA στη συγκέντρωση κορτιζόλης του πλάσματος του αίματος (ημέρα 131).....	91
Γράφημα 45: Επίδραση του λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση κορτιζόλης του πλάσματος του αίματος (ημέρα 131).....	91
Γράφημα 46: Αλληλεπίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση κορτιζόλης του πλάσματος του αίματος (ημέρα 131).....	92
Γράφημα 47: Επίδραση του λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση κορτιζόλης του πλάσματος του αίματος (ημέρα 251).....	92

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

AA	Arachidonic Acid, Αραχιδονικό οξύ
ALA	α -Linolenic Acid, α -Λινολενικό οξύ
BHT	ButylatedHydroxytoluene
DA	Dopamine, Ντοπαμίνη
DGI	Daily Growth Index, Ημερήσια Αύξηση Βάρους
DHA	Docosahexanoic Acid, Δοκοσαεξανοϊκό οξύ
DOPAC	3,4-Dihydroxyphenylacetic acid
EFA	Essential Fatty Acids, Απαραίτητα λιπαρά οξέα
EPA	Eicosapentanoic Acid, Εικοσαπεντανοϊκό οξύ
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FCR	Feed Conversion Ratio, Συντελεστής Εκμετάλλευσης της Τροφής
FE	Feed Efficiency, Αποτελεσματικότητα της τροφής
FID	Flame Ionization Detector, Ανιχνευτής Ιονισμού Φλόγας
FO	Fish Oil, Ιχθυέλαιο αλιείας
GC	Gas Chromatographer, Αέριος χρωματογράφος
HACCP	Hazard analysis and critical control points
5-HIAA	5-Hydroxy-indoloacetic-acid, 5-Υδροξυ-ινδολοοξικό οξύ
5-HT	5-Hydroxytryptamine, Σεροτονίνη
HUFA	Highly Unsaturated Fatty Acids, Υψηλά Ακόρεστα Λιπαρά Οξέα
HVA	Homovanillic Acid, Ομοβανιλλικό οξύ
IFFO	International Fishmeal and Fish Oil Organization
ISO	International Organization for Standardization
LA	Linoleic Acid, Λινολεϊκό οξύ
LER	Lipid Efficiency Ratio
LO	Linseed Oil, Λινέλαιο
MBWG	Mean Body Weight Gain, Αύξηση Μέσου Σωματικού Βάρους
MUFA	Monounsaturated Fatty Acids, μονοακόρεστα λιπαρά οξέα
NA	Noradrenaline, Νοραδρεναλίνη
NED	N-C1-naphthyl-EthylenediamineDihydrochloride
OA	Oleic Acid, Ολεϊκό οξύ
PUFA	Polyunsaturated Fatty Acids, Πολυακόρεστα λιπαρά οξέα
RO	Rapeseed Oil, Έλαιο ελαιοκράμβης
SFA	Saturated Fatty Acids, Κορεσμένα λιπαρά οξέα
SGR	Sustainable Growth Rate, Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης
SO	Salmon Oil, Έλαιο από υποπροϊόντα εκτροφής σολομού
TGC	Thermal Growth Coefficient, Συντελεστής Θερμικής Ανάπτυξης
VO	Vegetable Oils, Φυτικά έλαια
ΛΟ	Λιπαρά οξέα
ΜΑ	Μη Ανιχνεύσιμο
ΜΣ	Μη Σημαντικό

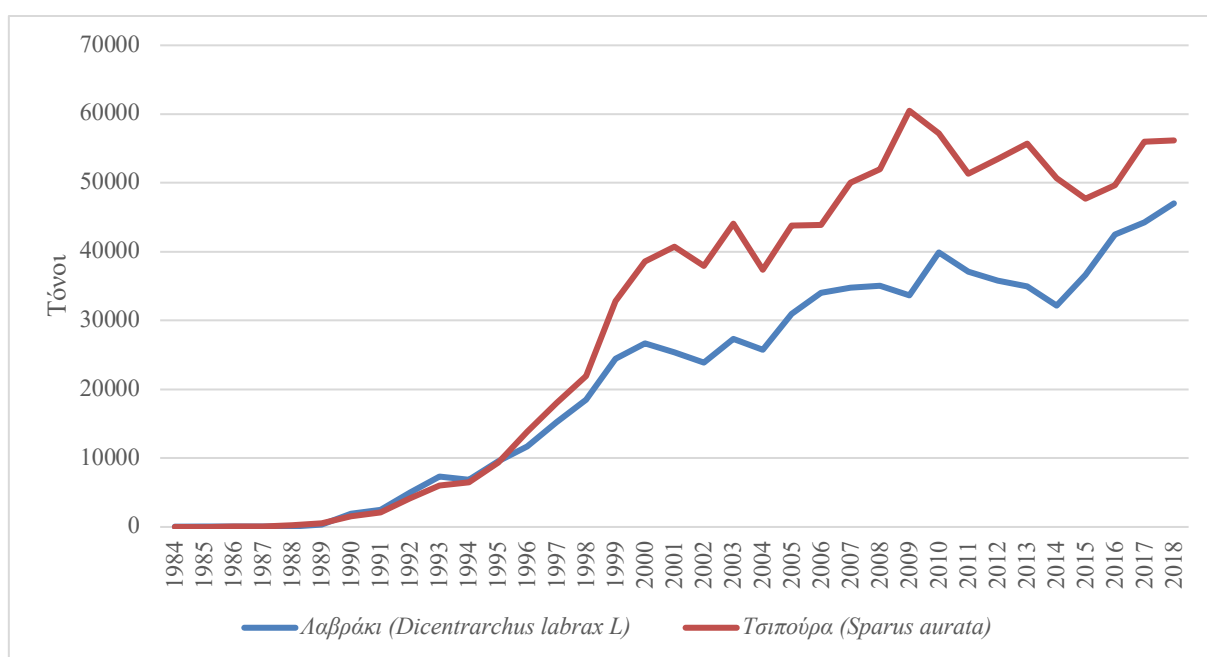
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

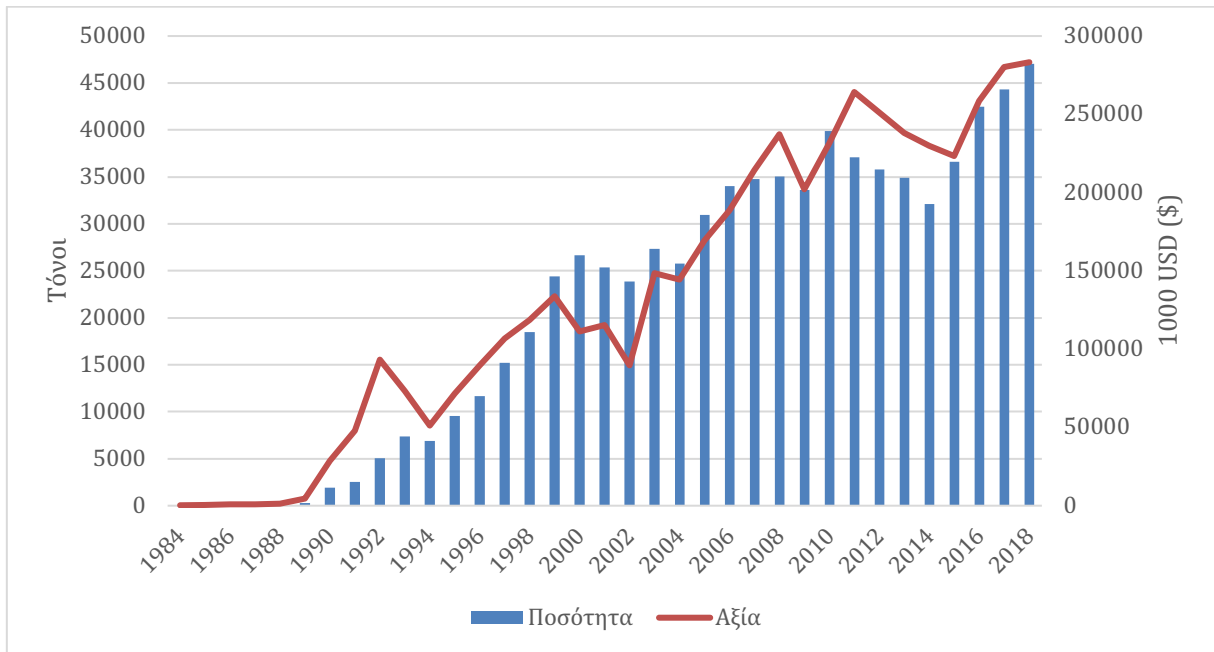
1.1 Υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα

Τα θαλάσσια Μεσογειακά είδη ψαριών, όπως το λαβράκι και η τσιπούρα και τα Μεσογειακά μύδια, αποτελούν τα κύρια είδη της Ελληνικής υδατοκαλλιέργειας (FAO, 2015). Ο κλάδος απασχολεί περίπου 12.000 εργαζόμενους, διάφορων ειδικοτήτων (επιστημονικό, τεχνικό και εργατικό προσωπικό) (ΣΕΘ, 2020). Επιπρόσθετα, υπάρχουν ακόμη 5.000 θέσεις εργασίας στην εφοδιαστική αλυσίδα και τις περιφερειακές δραστηριότητες. Σε τοπικό επίπεδο, πολλές φορές η βιομηχανία της υδατοκαλλιέργειας αποτελεί τον κύριο εργοδότη και ο πλούτος της τοπικής κοινωνίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις δραστηριότητές του (FAO, 2015).

Οι υδατοκαλλιέργειες συμβάλουν σημαντικά στον πρωτογενή τομέα της Ελλάδας. Είναι ένας πολύ δυναμικός κλάδος που συνεισφέρει ουσιαστικά στην Εθνική Οικονομία της χώρας. Σήμερα, η Ελλάδα κατέχει την πρώτη θέση στην παραγωγή τσιπούρας-λαβρακιού στην Ευρωπαϊκή Ένωση, με μερίδιο 59% (ΣΕΘ, 2020). Στο Γράφημα 1 παρουσιάζεται η ετήσια παραγωγή της τσιπούρας και του λαβρακιού στην Ελλάδα, από το 1984 έως το 2018 και στο Γράφημα 2 η διακύμανση της αξίας σε συνάρτηση με τον όγκο παραγωγής (FishstatJ, 2020). Το 2019 η παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού ανήλθε σε 120.500 τόνους (ΣΕΘ, 2020).



Γράφημα 1: Διακύμανση ετήσιας παραγωγής της τσιπούρας και του λαβρακιού στην Ελλάδα (Πηγή: Δεδομένα από FishstatJ (2020)).



Γράφημα 2: Διακύμανση ετήσιας παραγωγής και της αξίας του λαβρακιού στην Ελλάδα (Πηγή: Δεδομένα από FishstatJ (2020)).

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ελληνικής παραγωγής υδρόβιων οργανισμών εξάγεται κυρίως στην Ιταλία και στην Ισπανία (FAO, 2015). Τα ψάρια, κυρίως το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) και η τσιπούρα (*Sparus aurata*) και τα αλιευτικά τους είναι το δεύτερο σημαντικότερο εξαγόμενο αγροτικό προϊόν, μετά το ελαιόλαδο (OEC, 2020) και το πρώτο από τον κλάδο της ζωικής παραγωγής (ΣΕΘ, 2020; FishstatJ, 2020).

Η υψηλή εμπορική σημασία των ψαριών υδατοκαλλιέργειας επιβάλλει την ενσωμάτωση των βέλτιστων πρακτικών εκτροφής, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες που μπορεί να προκύψουν κατά την παραγωγική διαδικασία. Η εντατική εκτροφή μπορεί να προκαλέσει stress στα ψάρια. Με τον όρο stress περιγράφεται κάθε διαταραχή της ομοιοστασίας του οργανισμού, από εσωτερικά ή εξωτερικά ερεθίσματα, που καλούνται στρεσογόνοι παράγοντες (Tonì et al., 2019). Η απόκριση του οργανισμού στο stress είναι μία διαδικασία που μπορεί να επιφέρει μείωση της ανάπτυξης, της αναπαραγωγικής λειτουργίας, του ανοσοποιητικού συστήματος, της ανθεκτικότητας σε ασθένειες ή ακόμη και το θάνατο (Ashley, 2007). Συνεπώς είναι αναγκαία η φροντίδα της βιομηχανίας της υδατοκαλλιέργειας, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι στρεσογόνοι παράγοντες κατά την εκτροφή (Martos-Sitcha et al., 2020).

1.2 Το Ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax* Linnaeus, 1758)

1.2.1 Βιολογία

Συστηματική Κατάταξη	
Συνομοταξία	Chordata
Υποσυνομοταξία	Vertebrata
Υπερομοταξία	Gnathostomata
Ομοταξία	Osteichthyes
Υφομοταξία	Actinopterygii
Υπερτάξη	Teleostei
Τάξη	Perciformes
Υπόταξη	Percoidei
Οικογένεια	Serranidae
Γένος	<i>Dicentrarchus</i>
Είδος	<i>D. labrax</i>



Εικόνα 1: *Dicentrarchus labrax* Linnaeus, 1758

Το ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) (Εικόνα 1) είναι ένα ευρύθερμο, ευρύαλο, ωκεανόδρομο και υποτροπικό είδος ψαριού (Cordier et al., 2002; Dalla Via et al., 1998; Tsevis et al., 1992; Vallim and Salter, 2010; Varsamos et al., 2001). Ως ευρύαλο είδος, μπορεί να εγκλιματιστεί και να αναπτυχθεί σε νερά με πολύ μεγάλη έως και αρκετά μικρή αλατότητα (Chervinski, 1974; Eroldogan et al., 2004; Venturini et al., 1992). Αντίστοιχα, ως ευρύθερμο, μπορεί να επιβιώσει σε θερμοκρασίες νερού εύρους 2-35°C, με τις ευνοϊκές τιμές θερμοκρασία για υψηλό ρυθμό ανάπτυξης να βρίσκονται στο εύρος των 20-25°C. Σε χαμηλές θερμοκρασίες

(10°C) το λαβράκι σταματάει να αναπτύσσεται, ενώ σε περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας κάτω από τους 7°C, σταματάει να τρέφεται (Barnabé, 1990; Dalla Via et al., 1998; Hidalgo and Alliot, 1988; Pastoureaud, 1991). Η γεωγραφική του εξάπλωση περιλαμβάνει τη Μεσόγειο, τη Μαύρη Θάλασσα, τον Ανατολικό Ατλαντικό (Νορβηγία έως το Μαρόκο), τα Κανάρια Νησιά και στη Σενεγάλη. Δε συναντάται καθόλου στη Λευκή και στη Θάλασσα Μπάρεντς, στην Κασπία και στη Βαλτική (FishBase; Smith, 1990).

Το σώμα του λαβρακιού είναι επίμηκες και ατρακτοειδούς σχήματος. Φέρει δύο ραχιαία πτερύγια, ένα ουραίο πτερύγιο και κυκλοειδή λέπια στο άνω μέρος της κεφαλής. Το στόμα του λαβρακιού μπορεί να χαρακτηριστεί ως ημιτελικό κάτω και προεκτεινόμενο. Το χρώμα του ποικίλει, στα ενήλικα άτομα όμως, είναι συνήθως σκούρο γκριζο στη ράχη και ασημί στην κοιλιακή και πλευρική χώρα. Τα ανήλικα άτομα φέρουν σκούρες κηλίδες στη ράχη, οι οποίες εξαφανίζονται σταδιακά με την πάροδο του χρόνου (Παπαναστασίου, 1990; Παπουτσόγλου, 1994; Brosowski, 1999; FAO, 2013).

Το λαβράκι είναι σαρκοφάγο είδος. Τα ενήλικα άτομα στη φύση τρέφονται κυρίως με σαρδέλες, αθερίνες, κέφαλους και άλλα μικρά αφρόψαρα, όπως επίσης με καρκινοειδή και μαλάκια (Kelley, 1987; Leaute, 1984). Τα νεαρά άτομα τρέφονται κυρίως με ασπόνδυλα (Brosowski, 1999; Pickett and Pawson, 1994), τόσο στη φύση όσο και στους ιχθυογεννητικούς σταθμούς (Παπουτσόγλου, 1994). Σε συνθήκες υδατοκαλλιέργειας τα ψάρια τρέφονται με εμπορικές τροφές, οι οποίες καλύπτουν τις διατροφικές απαιτήσεις τους σε μακροθρεπτικά συστατικά (πρωτεΐνη, υδατάνθρακες, λίπος), ιχνοστοιχεία και βιταμίνες, για κάθε στάδιο ανάπτυξης.

Το ενήλικο λαβράκι είναι γονοχωριστικό είδος. Τα θηλυκά άτομα ωριμάζουν κατά μέσο όρο στις 1460 ημέρες ενώ τα αρσενικά στις 730 (Brosowski, 1999). Η αναπαραγωγή του γίνεται με εξωτερική γονιμοποίηση, ενώ στο φυσικό περιβάλλον η αναπαραγωγική περίοδος αρχίζει το Φεβρουάριο και τελειώνει τον Ιούλιο. Η θερμοκρασία καθοριστικό σηματοδότη για την έναρξη και την τοποθεσία της ωοτοκίας, επειδή τα αυγά λαβρακιών σπάνια βρίσκονται εκεί όπου το νερό είναι ψυχρότερο από 8.5-9 °C ή σε νερό θερμότερο από 15 °C. Κατά την αναπαραγωγική περίοδο, κάθε ώριμο θηλυκό άτομο μπορεί να παράγει 250-500.000 αυγά/kg σωματικού βάρους. Τα αυγά του λαβρακιού είναι πελαγικά και εκκολάπτονται 4-9 ημέρες μετά τη γονιμοποίησή τους, ανάλογα με τη θερμοκρασία του νερού. Κατά τη διάρκεια των επόμενων 2-3 μηνών τα ιχθύδια παρασύρονται από την ανοικτή θάλασσα παράκτια προς την ακτή και καταλήγουν σε ρυάκια και εκβολές ποταμών. Τα μέρη αυτά αποτελούν για τα νεαρά ιχθύδια πια, ένα προστατευμένο ενδιαίτημα για τα επόμενα 4 με 5 χρόνια, μέχρι αυτά ωριμάσουν και υιοθετήσουν τις μεταναστευτικές κινήσεις των ενηλίκων (Pickett and Pawson, 1994).

1.2.2 Εκτροφή

Στη Μεσόγειο, το λαβράκι εκτρέφεται κυρίως σε εντατικά και ημιεντατικά συστήματα, με χρήση πλωτών κλωβών στις παράκτιες θαλάσσιες περιοχές ή τεχνητών υδατοσυλλογών (Barbato et al., 1991; Barnabé, 1990; Eroldogan et al., 2004; Nehr et al., 1996; Papoutsoglou et al., 1996) (Εικόνες 3 και 2). Η αναπαραγωγή του σε συνθήκες εκτροφής πραγματοποιείται σε συστήματα υδατοκαλλιέργειας με επανακυκλοφορία, μέχρι την επίτευξη του μεγέθους που επιτρέπει τη μεταφορά του σε ιχθυοκλωβούς. Ωστόσο μπορεί να χρησιμοποιούνται τέτοια συστήματα μέχρι και την επίτευξη του τελικού εμπορικού βάρους (Lavenant and Paquotte, 1995; Papoutsoglou et al., 1998). Στις περιπτώσεις που η μορφολογία της περιοχής το επιτρέπει, πραγματοποιείται εκτροφή και σε ημιεκτατικά συστήματα παραγωγής (EC, 2012).

Η εκκόλαψη και τα πρώτα στάδια εκτροφής του ευρωπαϊκού λαβρακιού πραγματοποιούνται σε ιχθυογεννητικούς σταθμούς, με συστήματα υδατοκαλλιέργειας με επανακυκλοφορία και ενδεδειγμένο έλεγχο του φυσικού και μικροβιακού περιβάλλοντος. Για εκτροφή προνυμφών χρησιμοποιείται εμπλουτισμένη ζωντανή τροφή (rotifers, Artemia) κατά τη διάρκεια των πρώτων 4-6 εβδομάδων σε κυκλικές, αυτοκαθαριζόμενες δεξαμενές. Από τη χορήγηση ζωντανής τροφής, πραγματοποιείται αργή μετάβαση σε ειδικά καταρτισμένες ξηρές ιχθυοτροφές σε μορφή pellet. Τα νεαρά άτομα (1-5 g) μεταφέρονται από τους ιχθυογεννητικούς σταθμούς σε δεξαμενές εκτροφής και μετά από περιόδους που κυμαίνονται από 3 έως 6 μήνες, μεταφέρονται σε ιχθυοκλωβούς πάχυνσης στη θάλασσα. Η εκτροφή σε κλωβούς είναι το κυριότερο σύστημα παραγωγής που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια του λαβρακιού στην περιοχή της Μεσογείου (Kaushik, 2002). Το μέγεθος των κλωβών είναι μεταβλητό, με πυκνότητες εκτροφής δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 15Kg/m³ (Di Marco et al., 2017).

Το εμπορικό μέγεθος του λαβρακιού κυμαίνεται από 300g έως 500g και η διάρκεια εκτροφής από δεκαοκτώ ως είκοσι τέσσερις μήνες, ανάλογα με τη θερμοκρασία (EC, 2012).



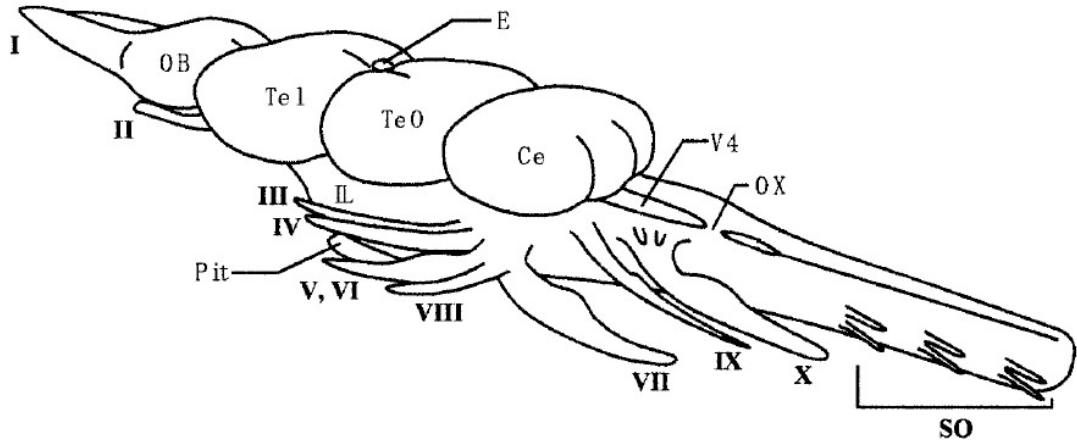
Εικόνα 2: Εντατικό σύστημα με πλωτούς κλωβούς.



Εικόνα 3: Εντατικό σύστημα με πλωτούς κλωβούς, (Πηγή: Δρ. Ευανθία Χατζόγλου).

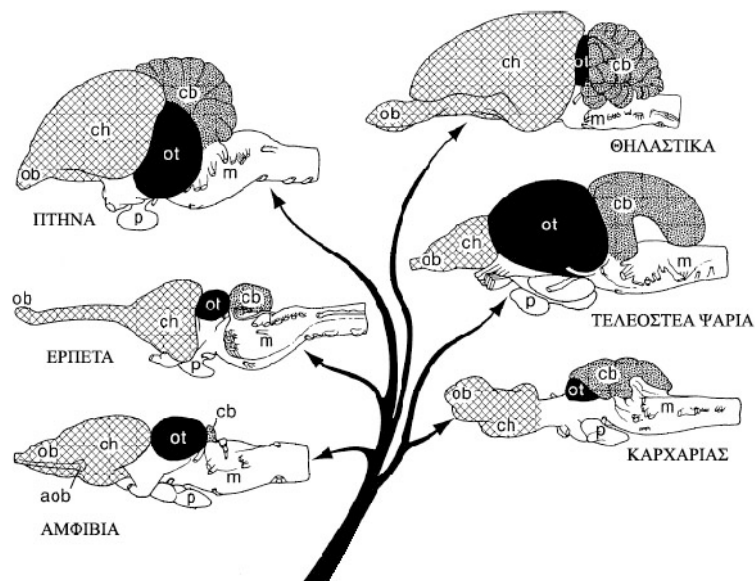
1.3 Νευροδιαβιβαστές

Τα κύρια μέρη του εγκεφάλου των ψαριών παρουσιάζονται στην Εικόνα 4 (Mukuda and Ando, 2003).



Εικόνα 4: Σχηματική αναπαράσταση εγκεφάλου τελεόστεου είδους (*Anguila japonica*). OB: Οσφρητικός βολβός (olfactory bulb), Tel: Τελικός Εγκέφαλος (telencephalon), E: επίφυση (epiphysis), TeO: οπτικός μέσος εγκέφαλος (optic tectum), Ce: παρεγκεφαλίδα (cerebellum), ΠL: νοστιάος λοβός του υποθαλάμου (inferior lobe of the hypothalamus), V4: τέταρτη κοιλία (fourth ventricle), OX: μοχλός (obex), Pit: υπόφυση (pituitary), SO: νεύρο ινιακού σπονδύλου (spinooccipital nerve), I: οσφρητικό νεύρο (olfactory nerve), II: οπτικό νεύρο (optic nerve), III: οφθαλμοκινητικό νεύρο (oculomotor nerve), IV: τροχλιακό νεύρο (trochlear nerve), V: τρίδυμο νεύρο του προσώπου (trigeminal nerve), VI: απαγωγό νεύρο (abducens nerve), VII: προσωπικό νεύρο (facial nerve), VIII: οκταβάλ νεύρο (octaval nerve), IX: γλωσσοφαρυγγικό νεύρο (glossopharyngeal nerve), X: σπλαχνικό νεύρο (vagal nerve) (Πηγή: Mukuda and Ando (2003), τροποποιημένη).

Στην Εικόνα 5 παρατίθεται η δομή του εγκεφάλου των Τελεόστεων ψαριών σε σύγκριση με άλλα είδη.



Εικόνα 5: Συγκριτική αναπαράσταση εγκεφάλου διαφόρων ειδών. Aob: συμπληρωματικός οσφρητικός βολβός (accessory olfactory bulb), cb: παρεγκεφαλίδα (cerebellum), ch: εγκεφαλικά ημισφαίρια (cerebral hemispheres), m: προμήκης μυελός (medulla oblongata), ob: οσφρητικός βολβός (olfactory bulb), ot: οπτικός μεσεγκέφαλος (optic tectum), p: υπόφυση (pituitary gland) (Πηγή: Northcutt (2002), τροποποιημένη).

Ο εγκέφαλος είναι το κέντρο όλων των διεργασιών που σχετίζονται με την επιβίωση των ψαριών και συνεπώς από εκεί ξεκινούν όλες οι απαντήσεις στους στρεσογόνους παράγοντες. Αυτές οι απαντήσεις περιλαμβάνουν την κινητοποίηση μηχανισμών στο κεντρικό νευρικό σύστημα και οι νευροδιαβιβαστές, ως αγγελιαφόροι των ερεθισμάτων, διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην μεταγωγή αυτών απαντήσεων.

1.3.1 Γενικά

Σήμερα αποτελεί ευρύτατα αποδεκτό γεγονός η συνωνυμία και η ταυτόσημη έννοια των όρων νευροδιαβιβαστής, χημικός μεταβιβαστής, νευρορυθμιστής, βιομεταβιβαστής, νευροαγγελιαφόρος, χημικός αγγελιαφόρος ή αγγελιαφόρος παρακρινούς ή όχι επίδρασης (Παπουτσόγλου, 1998). Παρόλα αυτά, ένας πιο αυστηρός ορισμός θέλει τους νευροδιαβιβαστές να συντίθενται στις απολήξεις των νευρικών κυττάρων και έπειτα να μεταβιβάζονται με συνάψεις στα κύτταρα στόχους. Οι νευροδιαβιβαστές από άποψη χημικής σύνθεσης μπορεί να είναι αμίνες, αμινοξέα ή πεπτίδια. Σε περισσότερα από 50 πεπτίδια έχει αποδοθεί ο ρόλος του νευροδιαβιβαστή (Σμοκοβίτης, 1993).

Μια πιο λεπτομερής διάκριση των νευροδιαβιβαστών είναι η ακόλουθη:

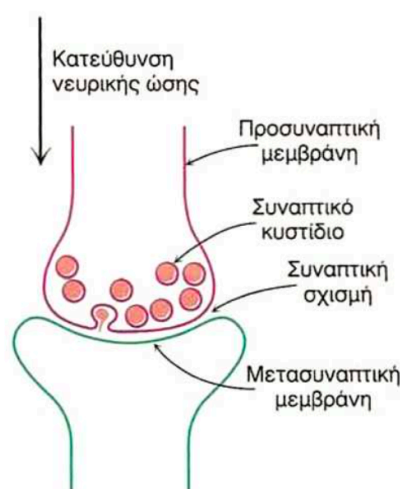
- 10 περίπου μικρομοριακοί μεταβιβαστές, όπως η ακετυλοχολίνη, οι μονοαμίνες ντοπαμίνη (DA), νορεπινεφρίνη (NE) και σεροτονίνη (5-HT), το γλουταμικό οξύ, το γ-άμινο-βουτυρικό οξύ (GABA), το ασπαρτικό οξύ και η γλυκίνη
- Πεπτίδια (πάνω από 50) όπως η βασοπρεσσίνη, η σωματοστατίνη, η νευροτενσίνη και οι ορμόνες ινσουλίνη και ωχρινοποιητική (LH).
- Υπάρχουν ωστόσο και άλλες ουσίες, όπως το ιόν του ψευδαργύρου (Pifl et al., 2004), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και το οξείδιο του αζώτου (NO) (Giusti-Paiva et al., 2005), που θεωρούνται νευροδιαβιβαστές από μερικούς ερευνητές.

Μια ουσία αποδεκτή ως νευροδιαβιβαστής πρέπει να ικανοποιεί διάφορα κριτήρια: να σύντιθεται στους νευρώνες, να αποθηκεύεται στα τελικά δενδρύλλια, να απελευθερώνεται με την μεσολάβηση ιόντων Ca^{2+} κατά τη νευρική διέγερση, να αλληλεπιδρά με μετασυναπτικούς υποδοχείς, να αδρανοποιείται από ένζυμα, να υπάρχουν μηχανισμοί πρόσληψής της από το νευρικό κύτταρο καθώς και ουσίες που μπορεί να προκαλούν αναστολή ή ευόδωση της επίδρασής της (O Reece, 2015).

Οι νευροδιαβιβαστές που αναλύονται συνήθως είναι οι κατεχολαμίνες, η σεροτονίνη και οι μεταβολίτες τους. Η προτίμηση αυτή οφείλεται στο ρόλο που διαδραματίζουν οι παραπάνω ουσίες στη διατήρηση της ομοιοστασίας του οργανισμού καθώς και στα πειραματικά δεδομένα που τους συνδέουν με διάφορες ασθένειες. Τέτοιες είναι η κατάθλιψη, που συνδέεται με την σεροτονίνη, η ψύχωση και η σχιζοφρένεια με την ντοπαμίνη, αλλά και το μελάνωμα με τις κατεχολαμίνες γενικότερα (Yi and Brown, 1991).

1.3.2 Μηχανισμός δράσης

Οι νευροδιαβιβαστές μεταδίδουν τις νευρικές ώσεις μέσω των περισσότερων συνάψεων. Η προσυναπτική μεμβράνη μιας σύναψης χωρίζεται από την μετασυναπτική με μία σχισμή (περίπου 50nm), που ονομάζεται συναπτική σχισμή. Η απόληξη του προσυναπτικού νευράξονα περιέχει συναπτικά κυστίδια, που περιέχουν έναν ή περισσότερους νευροδιαβιβαστες. Αυτοί ελευθερώνονται όταν η νευρική ώση φτάσει στα κομβία (Εικόνα 6), διαχέονται και δρουν πάνω σε ορισμένα σημεία του μετασυναπτικού κυττάρου, που ονομάζονται υποδοχείς. Η αύξηση στη διαπερατότητα κατιόντων που ακολουθεί οδηγεί σε εισροή Na^+ και εκπόλωση της μεμβράνης. Μετά την υδρόλυση του μεταβιβαστή από εξειδικευμένο ένζυμο, η μεμβράνη επαναπολώνεται (Σμοκοβίτης, 1993; Berg et al., 2006).



Εικόνα 6: Απεικόνιση σύναψης (Πηγή: Berg et al. (2006)).

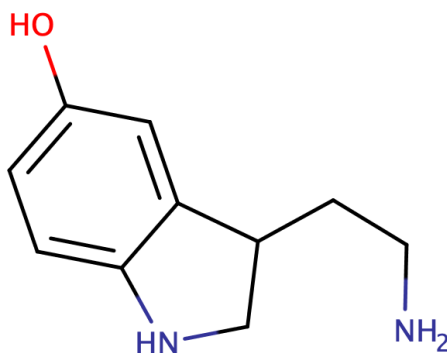
1.3.3 Σεροτονίνη

Η σεροτονίνη (serotonin) μπορεί να συναντάται και ως 5-υδροξυτρυπταμίνη (5-hydroxytryptamine, 5-HT), 3-(β-αμινοαιθυλ)-5-υδροξυινδόλη (3-(β-aminoethyl)-5-hydroxyindole), 5-υδροξυ-3-(β-αμινοαιθυλ)ινδόλη (5-hydroxy-3-(β-aminoethyl) indole),

εντεραμίνη (enteramine), θρομβοκυτίνη (thrombocytin) και θρομβοτονίνη (thrombotonin) (2001).

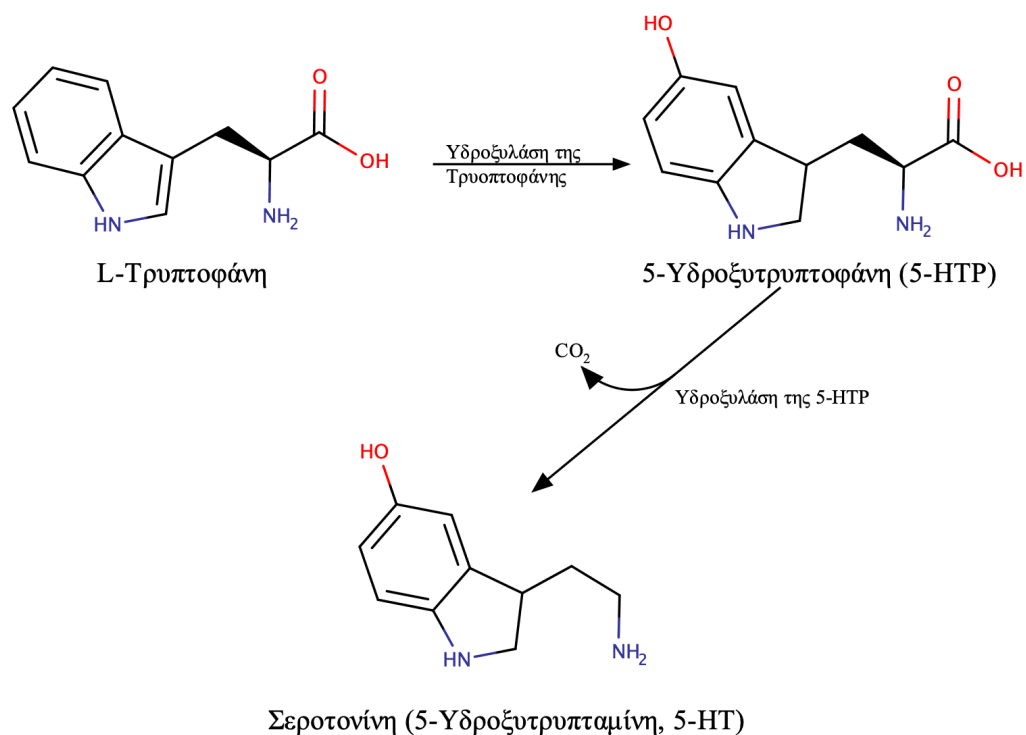
1.3.3.1 Δομή και σύνθεση

Η δομή του μορίου της σεροτονίνης φαίνεται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7: Σεροτονίνη (5-HT)

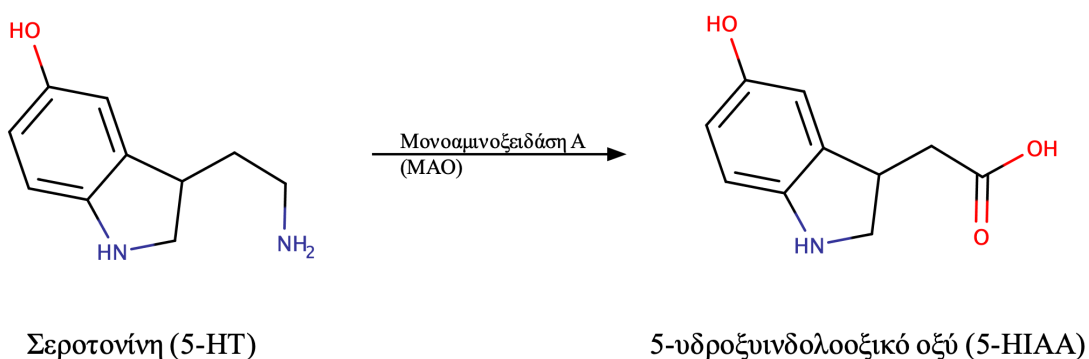
Η σεροτονίνη είναι αρωματική μονοαμίνη με μοριακό βάρος 176.21 g/mol (2001) και συντίθεται από πρόδρομη ουσία το αμινοξύ τρυπτοφάνη κατά τον ακόλουθο μηχανισμό (Εικόνα 8). Η τρυπτοφάνη υδρολύεται στη θέση 5 και παράγεται L-υδρόξυ-τρυπτοφάνη (5-HTP), η οποία με τη σειρά της αποκαρβοξυλιώνεται, παρουσία αποκαρβοξυλάσης της 5-HTP, προς 5-υδρόξυ-τρυπταμίνη (σεροτονίνη).



Εικόνα 8: Σύνθεση Σερτονίνης.

1.3.3.2 Μεταβολισμός

Η 5-HT μεταβολίζεται από τη μονοαμινοοξειδάση-A (MAO-A) σε 5-υδροξυ-ινδολοοξικό οξύ (5-HIAA, Μ.Τ. C₁₀H₉NO₃) ενδο- και εξωκυτταρικά (Εικόνα 9).



Εικόνα 9: Μεταβολισμός Σερτονίνης.

1.3.3.3 Δράσεις

Στα ψάρια, σύμφωνα με τις υπάρχουσες πληροφορίες, η σεροτονίνη περιλαμβάνεται σε ένα σύνολο ουσιών πιθανούς, ασαφούς ή και μη πλήρως γνωστής ορμονικής δράσης. Τα επίπεδα της σεροτονίνης παρουσιάζει διακυμάνσεις στα διάφορα τμήματα του εγκεφάλου τόσο μεταξύ ειδών όσο και μεταξύ φύλων. Στον υποθάλαμο παρουσιάζεται και εποχική διακύμανση,

η οποία οφείλεται στη φωτοπερίοδο (χρονική διάρκεια φωτός και σκότους). Γενικά οι περισσότερες αυξημένες ποσότητες παρατηρούνται κατά τη διάρκεια των φωτεινών περιόδων. Παρόλα αυτά, το μέγεθος της αύξησης που παρατηρείται, έχει αποδειχθεί ότι καθορίζεται και από την ώρα του εικοσιτετράωρου κατά την οποία εφαρμόζεται η αυξημένη χρονική διάρκεια του φωτός (Παπουτσόγλου, 1998).

Η ασυμία έχει παρατηρηθεί ότι μειώνει σημαντικά τη συγκέντρωση 5-HT στον τελικό εγκέφαλο των ψαριών, αλλά αφήνει ανεπηρέαστη τη συγκέντρωση 5-HIAA αλλά και τη σεροτονινεργική δραστηριότητα [5-HIAA]/[5-HT] τόσο στον τελικό εγκέφαλο όσο και στο στέλεχος (Winberg et al., 1992a).

Σε είδη ψαριών που παρουσιάζουν ιεραρχικές κοινωνικές δομές, η υποτακτική συμπεριφορά φαίνεται να παρεμποδίζεται μερικώς από μια αύξηση της σεροτονινεργικής δραστηριότητας λόγω stress (Overli et al., 1998; Winberg et al., 1993b; Winberg and Nilsson, 1993a). Επιπλέον, η σεροτονίνη αναφέρεται ότι παρεμποδίζει την επιθετική συμπεριφορά σε διάφορα πειραματόζωα (Edwards and Kravitz, 1997; Larson and Summers, 2001), όπως επίσης και στα τελεόστεα ψάρια (Adams et al., 1996; Lepage et al., 2005; Munro, 1986). Υπάρχουν όμως και παρατηρήσεις όπου άτομα του είδους *Oncorhynchus mykiss*, τα οποία έχουν υποστεί βραχυπρόθεσμη ήττα, εκδηλώνουν επιθετική συμπεριφορά προς άλλα ψάρια, που όμως δεν τα έχουν προκαλέσει (Overli et al., 2004). Το γεγονός αυτό έρχεται σε αντίθεση με την παρατήρηση ότι στο χρόνιο stress, η δράση της σεροτονίνης καταστέλλει την επιθετικότητα των ειδών της οικογένειας Salmonidae (Hoglund et al., 2001). Διαφαίνεται λοιπόν ένας ευρύτερος ρόλος από τον απλό παρεμποδιστικό που μέχρι τώρα της αποδίδεται.

Η πλήρης αποσαφήνιση και κατανόηση των μηχανισμών δράσεως και των φυσιολογικών λειτουργιών των ψαριών στις οποίες εμπλέκεται η σεροτονίνη δεν έχουν επιτευχθεί ακόμη. Υπάρχουν ενδείξεις για εμπλοκή της στη ρύθμιση της ανοσοαπάντησης, αφού σε αντίθεση με τα θηλαστικά, στα ψάρια οι μονοαμίνες μπορούν να περάσουν το φράγμα αίματος-εγκεφάλου. Έτσι υψηλές συγκεντρώσεις σεροτονίνης στην περιφερική κυκλοφορία, κατά τη διάρκεια stress μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος (Khan and Deschaux, 1997). Υπάρχουν ακόμη ενδείξεις για συμμετοχή της στον έλεγχο του καρδιαγγειακού συστήματος, όπου σε κάποια είδη του αρκτικού κύκλου (π.χ. *Pagothenia borchgrevinki*) αποτελεί τον αποτελεσματικότερο παράγοντα αγγειοσύσπασης. Τα είδη αυτά μπορούν με αυτόν τον τρόπο να αντεπεξέρχονται στις αυξημένες ενεργειακές ανάγκες του αντίξοου περιβάλλοντος διαβίωσής τους (Forster et al., 1998). Στο λαβράκι, έχει διαπιστωθεί η συμβολή της στη διατροφική συμπεριφορά, μέσω της αύξησης κατανάλωσης πρωτεΐνης και της μείωσης κατανάλωσης λίπους (Rubio et al., 2006). Γενικά η 5-HT χαρακτηρίζεται από

ανορεκτική δράση (Conde-Sieira et al., 2018; He et al., 2018; Kulczykowska and Sánchez Vázquez, 2010; Perez-Maceira et al., 2016).

Στους ανθρώπους, μειωμένα επίπεδα σεροτονίνης στον εγκέφαλο έχουν συνδεθεί με σοβαρές παθήσεις όπως ψυχαναγκαστικό σύνδρομο, βουλιμία, αϋπνία, κατάθλιψη, αυτισμό και απώλεια μνήμης (Bellino et al., 2021; Marrone and Coccarello, 2019). Επιπλέον, η αύξηση του μεταβολίτη της 5-HIAA, έχει συνδεθεί με την αύξηση της δραστηριότητας του σεροτονινεργικού συστήματος, που αποτελεί απάντηση σε στρεσογόνα ερεθίσματα (Lepage et al., 2003; Overli et al., 1999; Winberg et al., 1992b). Ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων της 5-HT, του μεταβολίτη της 5-HIAA και της σεροτονινεργικής δραστηριότητας έχει συνδεθεί επιτυχώς με τον προσδιορισμό των επιπέδων του stress κατά τους χειρισμούς της υδατοκαλλιεργητικής πρακτικής (Batzina et al., 2014; Ferrari et al., 2020; Karakatsouli et al., 2007; Miliou et al., 2011; Papoutsoglou et al., 2008; Tsopelakos et al., 2018)

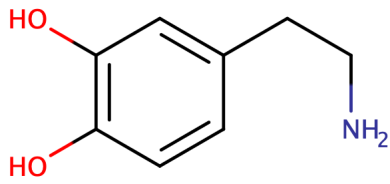
1.3.4 Κατεχολαμίνες

Η ντοπαμίνη (dopamine, DA) μπορεί να συναντάται και ως 4-(2-αμινοαιθυλ) βενζιν-1,2-διόλη (4 - (2 -aminoethyl) benzene - 1, 2 -diol), 3,4-δι-ϋδροξυ-φαιλαιθυλαμίνη (3,4-dihydroxy-phenethylamine), 3- υδροξυτυραμίνη (3-hydroxytyramine) και α-(3,4-διϋδροξυφαινυλ)-β-αμινοαιθάνη (α-(3,4-dihydroxyphenyl)-β-aminoethane) (2001).

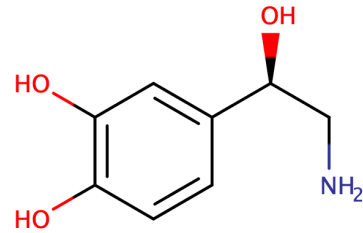
Η νοραδρεναλίνη (noradrenaline) με τη σειρά της μπορεί να συναντάται και ως νορεπινεφρίνη (norepinephrine, NE), 4-[(1R)-2-αμινο-1-υδροξυαιθυλ]-1,2-βενζινδιόλη (4-[(1R)-2-amino-1-hydroxyethyl]-1,2-benzendiol), 3,4-διϋδροξυ-φαινυλαιθανολαμίνη (3,4-dihydroxyphenylethanolamine) και λεβαρτερενόλη (levarterenol) (2001).

1.3.4.1 Δομή και σύνθεση

Δομή της ντοπαμίνης και της νοραδρεναλίνης φαίνονται στις παρακάτω εικόνες (10 και 11 αντίστοιχα). Οι μοριακοί τύποι τους είναι $C_8H_{11}NO_2$ και $C_8H_{11}NO_3$, ενώ τα μοριακά τους βάρη είναι 153.18 και 169.18 g/mol αντίστοιχα (2001).

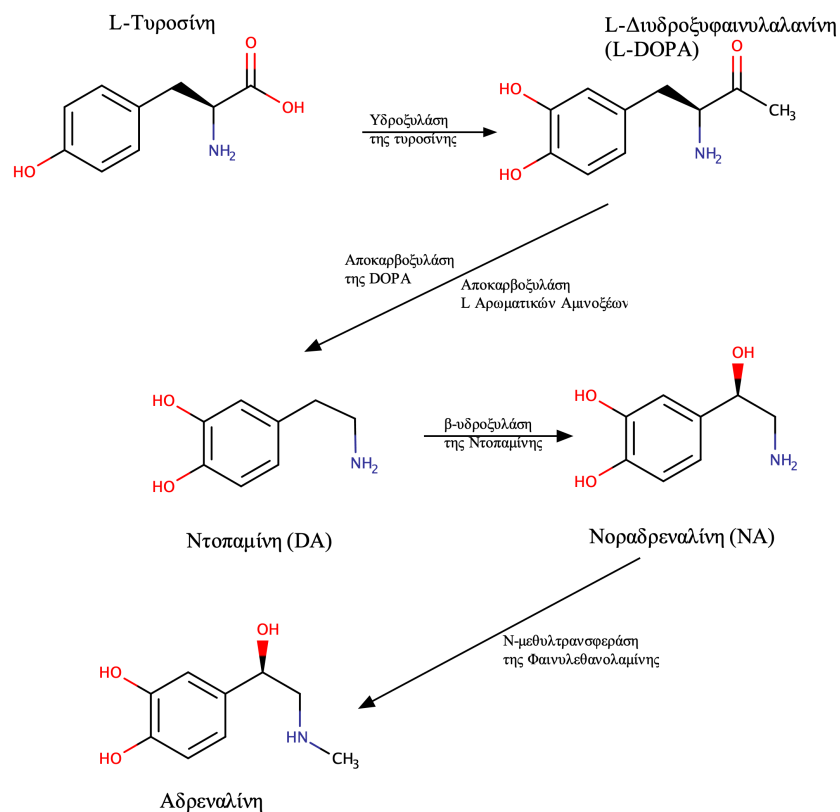


Εικόνα 10: Ντοπαμίνη.



Εικόνα 11: Νοραδρεναλίνη.

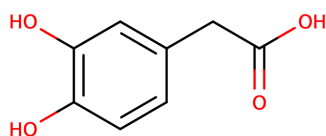
Η πρόδρομος ουσία για τη σύνθεση των κατεχολαμινών είναι το αμινοξύ τυροσίνη το οποίο μετατρέπεται σε L-διυδροξυ-φαινυλαλανίνη (L-DOPA) μέσω του ενζύμου τυροσινωδροξυλάση, η διαθεσιμότητα του οποίου ρυθμίζει και τη σύνθεση των κατεχολαμινών (Εικόνα 12). Στη συνέχεια η L-DOPA μετατρέπεται σε DA μέσω του ενζύμου δοπα-αποκαρβοξυλάση και τέλος σε NA μέσω της ντοπαμίνο-β-υδροξυλάσης. Στα επινεφρίδια και σε άλλους ιστούς η NA μετατρέπεται σε αδρεναλίνη μέσω της φαινύλ-N-μεθυλτρανσφεράσης.



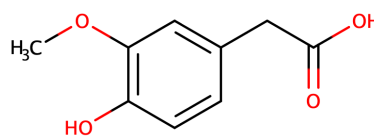
Εικόνα 12: Σύνθεση Κατεχολαμινών.

1.3.4.2 Μεταβολισμός

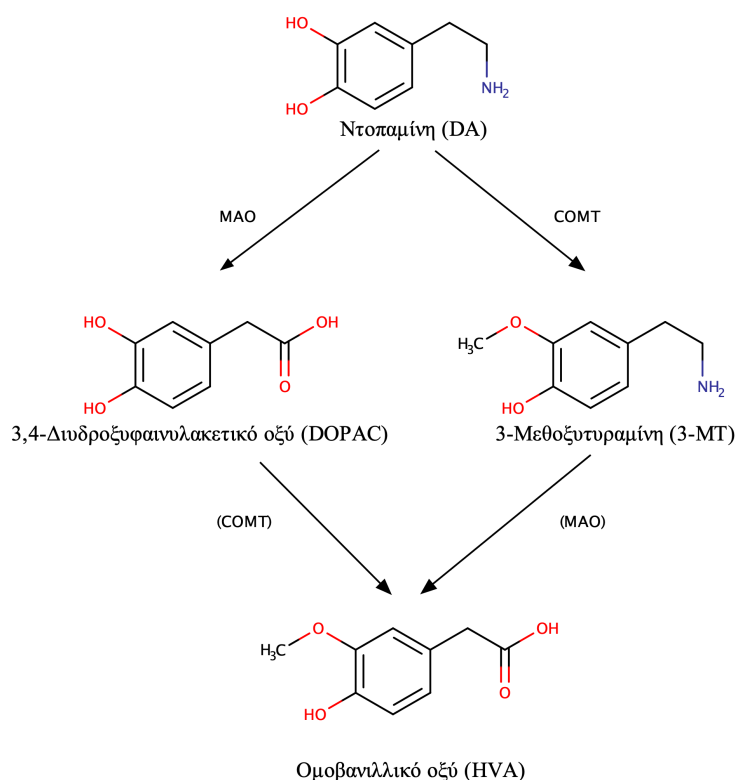
Η DA καταβολίζεται με την επίδραση μονοαμινοξειδάσης (monoamine-oxydase, MAO) σε 3,4 διυδροξυφαινυλοξικό οξύ (DOPAC), με μοριακό τύπο $C_8H_8O_4$ (Εικόνα 13). Σε αυτό το σημείο αν επιδράσει η κατεχολ-Ο-μεθυλτρανσφεράσης (Catechol-O-methyl-transferase, COMT) παράγεται ομοβανιλλικό οξύ (HVA), με μοριακό τύπο $C_9H_{10}O_4$ (Εικόνα 14). Αν το ένζυμο COMT επιδράσει από την αρχή, η ντοπαμίνη καταβολίζεται αρχικά σε 3-μεθοξυτυραμίνη (3-methoxytyramine, 3-MT) και τελικά με περαιτέρω επίδραση MAO σε HVA. Στην Εικόνα 15 φαίνεται σχηματικά ο καταβολισμός της DA.



Εικόνα 13: DOPAC.



Εικόνα 14: HVA.



Εικόνα 15: Σύνθεση HVA & DOPAC.

1.3.4.3 Δράσεις

Οι κατεχολαμίνες εντοπίζονται σε διάφορους ιστούς, όπως ο εγκεφαλικός ιστός (μόνο η DA και η NA), το πλάσμα, το συμπαθητικό νευρικό σύστημα και η καρδιά (Παπουτσόγλου, 1998).

Στον άνθρωπο, η ντοπαμίνη αντιπροσωπεύει πάνω από το 50% του συνολικής περιεκτικότητας του κεντρικού νευρικού συστήματος σε κατεχολαμίνες, ενώ οι συγκεντρώσεις της νοραδρεναλίνης και αδρεναλίνης είναι μικρές (Yi and Brown, 1991).

Ειδικά για τα ψάρια, οι κατεχολαμίνες συντίθενται και στα κύτταρα του άνω-νεφρικού συστήματος. Ο εντοπισμός κυττάρων που παράγουν μόνο αδρεναλίνη ή νοραδρεναλίνη είναι δυσχερής, ενώ σύμφωνα με τις υπάρχουσες πληροφορίες, στα ψάρια δεν υπάρχουν ειδικά κύτταρα για την παραγωγή ντοπαμίνης στο άνω νεφρικό σύστημα (Παπουτσόγλου, 1998). Οι αδρεναλίνη και νοραδρεναλίνη συντίθενται και εκκρίνονται στην κυκλοφορία από χρωμιόφιλα κύτταρα κατά την έκθεση του οργανισμού σε εσωτερικούς και περιβαλλοντικούς στρεσογόνους παράγοντες (Reid et al., 1998). Στα θηλαστικά, τα χρωμιόφιλα κύτταρα αποτελούν την μυελώδη ουσία των επινεφριδίων. Είναι μεγάλα και ανώμαλα ή πολύεδρα και το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι περιέχουν λεπτότατα κυτταροπλασματικά κοκκία, τα οποία χρωματίζονται καστανόξανθα με διχρωμικό κάλιο. Η χρωμιόφιλη αυτή αντίδραση είναι αποτέλεσμα της οξειδωσης και του πολυμερισμού των κατεχολαμινών, οι οποίες περιέχονται στα κοκκία τους (Μιχαήλ, 1996).

Παρουσία κατεχολαμινών πιστοποιήθηκε και σε νευρογλοιακά κύτταρα ορισμένων ειδών ψαριών (Παπουτσόγλου, 1998). Οι κατεχολαμίνες επεμβαίνουν άμεσα στο κυκλοφορικό και αναπνευστικό σύστημα κατά τη διάρκεια της διατάραξης της κανονικής τους λειτουργίας από παράγοντες stress (Παπουτσόγλου, 1998). Συγκεκριμένα, όταν βρεθούν στην κυκλοφορία, ρυθμίζουν την καρδιαγγειακή και την αναπνευστική λειτουργία του οργανισμού, ώστε να διατηρηθούν αυξημένα επίπεδα οξυγόνου στο αίμα και να τροφοδοτηθούν επαρκώς οι ιστοί. Επιπλέον, κινητοποιούν αποθηκευμένη ενέργεια του οργανισμού, ώστε να αντεπεξέλθει στις αυξημένες ενεργειακές ανάγκες, που συνήθως ακολουθούν τις στρεσογόνες καταστάσεις (Perry and Wood, 1989; Reid et al., 1998).

Εμπλέκονται ακόμη σε μηχανισμούς ωσμωτικής και ιοντικής ρύθμισης. Η εμπλοκή τους δεν είναι σαφής αλλά δείχνει να είναι καθοριστικής σημασίας τόσο στα ψάρια, όσο και στα καρκινοειδή (Παπουτσόγλου, 1998; Zatta, 1987).

Έχει αποδειχθεί επίσης ότι η ντοπαμίνη έχει ανασταλτική επίδραση στη σύνθεση μελατονίνης και την έκκρισή της στους φωτοϋποδοχείς (Zilberman-Peled et al., 2006). Η ντοπαμίνη παράγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και σε αντίθεση με τη μελατονίνη ρυμίζει την προσαρμοστικότητα στο φως του αμφιβληστροειδούς (Anderson and Green, 2000). Η μελατονίνη με τη σειρά της παρεμποδίζει την έκκριση ντοπαμίνης (Behrens et al., 2000).

Η εμπλοκή τους τέλος στο μεταβολισμό των υδατανθράκων, μέσω της ενεργοποίηση των μηχανισμών γλυκογονόλυσης και γλυκογένεσης μέσω της αναστολής έκκρισης της ινσουλίνης, αποσκοπεί στην αντιμετώπιση των αυξημένων ενεργειακών αναγκών των οργανισμών (Fabbri et al., 1998). Στη DA έχει επίσης αποδοθεί ανορεκτική δράση τόσο σε ψάρια, όσο και σε θηλαστικά (Conde-Sieira et al., 2018; He et al., 2018; Leal et al., 2013; Lin et al., 2000; Meguid et al., 2000; Wang et al., 2001). Αντίθετα η NA διεγείρει την πρόσληψη τροφής (De Pedro et al., 1995; De Pedro et al., 2001; Hesse et al., 2017; Thomas and Palmiter, 1997).

Όπως προαναφέρθηκε για τη σεροτονίνη, ο προσδιορισμός των κατεχολαμίνων και της ντοπαμινεργικής δραστηριότητας έχει συνδεθεί με τον προσδιορισμό του επιπέδου stress στο υδατοκαλλιεργητικό περιβάλλον.

1.4 Λιπίδια

Τα λιπίδια είναι οργανικά μόρια που απαντούν στη φύση και μπορούν να απομονωθούν κατά την εκχύλιση κυττάρων και ιστών με άπολους οργανικούς διαλύτες (McMurry, 2015).

Τα λιπίδια ταξινομούνται σε δύο βασικές κατηγορίες, σε αυτά που περιέχουν εστερομάδες που μπορούν να υδρολυθούν (λίπη και κηροί) και σε αυτά που δεν περιέχουν εστερομάδες και δεν υδρολύονται (χοληστερόλη και άλλα στεροειδή) (McMurry, 2015).

Αναλυτικότερα, τα λιπίδια διακρίνονται σύμφωνα με τους Sargent et al. (2002) στις παρακάτω κλάσεις:

1. Τριακυλγλυκερόλες, οι οποίες αποτελούνται από τρία μόρια λιπαρών οξέων, τα οποία είναι εστεροποιημένα στις θέσεις *sn-1*, *sn-2* και *sn-3* της L-γλυκερόλης. Γενικά, τα κορεσμένα και τα μονοακόρεστα λιπαρά οξέα εντοπίζονται κατά προτίμηση στις θέσεις *sn-1* και *sn-3* της γλυκερόλης, ενώ τα πολυακόρεστα εντοπίζονται κατά προτίμηση στη θέση *sn-2*.
2. Κηροί εστέρων, τα μόρια των οποίων αποτελούνται από ένα μόριο λιπαρού οξέος, εστεροποιημένο σε ένα μόριο λιπαρής αλκοόλης. Είναι άφθονοι στο θαλάσσιο ζωοπλαγκτόν, καθώς και σε σωματικούς ιστούς και αβγά ορισμένων ψαριών. Οι λιπαρές αλκοόλες στους κηρούς εστέρων θαλάσσιας προέλευσης είναι κυρίως κορεσμένες και μονοακόρεστες. Ειδικά για την περίπτωση του θαλάσσιου ζωοπλαγκτού από υψηλό γεωγραφικό πλάτος, μπορεί να είναι πολύ πλούσιο σε 20:1

3. Φωσφογλυκερίδια ή φωσφολιπίδια, τα οποία διαθέτουν ένα κοινό κορμό φωσφατιδικού οξέος.
4. Σφιγγολιπίδια, όπως η σφιγγομυελίνη, η οποία είναι αυστηρά φωσφολιπίδιο, αλλά διαφέρει δομικά από τα φωσφογλυκερίδια, αφού δεν αποτελείται από φωσφατιδικό οξύ.
5. Στερόλες. Η κύρια στερόλη των ιστών των ψαριών είναι η χοληστερόλη, η οποία μπορεί να παρατηρείται σε εστεροποιημένη σε ένα λιπαρό οξύ ή μη εστεροποιημένη μορφή.

Τα ψάρια χρησιμοποιούν τα λιπίδια ως πηγή διαθέσιμης ενέργειας, ως δομικά στοιχεία των μεμβρανών, ως φορείς των λιποδιαλυτών βιταμινών, ως πρόδρομες ουσίες των εικοσανοειδών, των ορμονών και της βιταμίνης D και ως ενζυμικούς συμπαράγοντες (Higgs and Dong, 2000; Turchini et al., 2009). Για τα ψάρια, τα λιπίδια αποτελούν πηγή απαραίτητων λιπαρών οξέων, με σκοπό τη διατήρηση της καλής υγείας, της ορθής ανάπτυξης, της αναπαραγωγής και των λοιπών λειτουργιών του σώματος. Τα τελευταία χρόνια, λόγω της αύξησης της παραγωγής των υδατοκαλλιεργειών (FAO, 2020), ο ρόλος των λιπιδίων στη διατροφή των ψαριών έχει γίνει πιο σημαντικός λόγω της παραγωγής και της εφαρμογής σιτηρεσίων υψηλής περιεκτικότητας σε ενέργεια (Turchini et al., 2009).

1.4.1 Λιπαρά οξέα

Από τις πιο σημαντικές ιδιότητες των λιπιδίων είναι οι υδροφοβικές τους ιδιότητες. Οι ιδιότητες αυτές οφείλονται κυρίως σε ένα συστατικό των λιπιδίων, τα λιπαρά οξέα. Τα λιπαρά οξέα είναι αλυσίδες υδρογονανθράκων διαφόρων μηκών και πλήθους διπλών δεσμών, οι οποίες απολήγουν σε καρβοξυλικές ομάδες (Berg et al., 2006). Τα λιπαρά οξέα διακρίνονται με βάση τα μήκη της αλυσίδας τους, το βαθμό κορεσμού (αριθμός διπλών δεσμών) και τη θέση των διπλών δεσμών. Με βάση τα παραπάνω, τα 14:0 και 16:0 ορίζουν λιπαρά οξέα με 14 και 16 άτομα άνθρακα, αντίστοιχα, χωρίς διπλούς δεσμούς. Με τους όρους 18:1n-9 και 18:1n-7 υποδηλώνονται λιπαρά οξέα με 18 άτομα άνθρακα, όπου οι μοναδικοί διπλοί δεσμοί εντοπίζονται αντίστοιχα στο 9^ο και 7^ο άτομο άνθρακα από το άκρο μεθυλίου του μορίου (Sargent et al., 2002).

Ο φυσιολογικός ρόλος των λιπαρών οξέων συνοψίζεται στα παρακάτω σημεία:

1. Αποτελούν δομικούς λίθους φωσφολιπιδίων και γλυκολιπιδίων.

2. Πολλές πρωτεΐνες τροποποιούνται με την ομοιοπολική δέσμευση λιπαρών οξέων, τα οποία τις καθοδηγούν στις θέσεις τους στις μεμβράνες.
3. Αποτελούν πηγές ενέργειας (καύσιμα μόρια). Αποθηκεύονται ως τριακυλογλυκερόλες, οι οποίες κινητοποιούν λιπαρά οξέα, τα οποία οξειδώνονται, για να καλύψουν ενεργειακές ανάγκες του κυττάρου ή του οργανισμού.
4. Τα παράγωγα των λιπαρών οξέων (εικοσανοειδή) χρησιμεύουν ως ορμόνες και ως ενδοκυτταρικοί αγγελιαφόροι (Berg et al., 2006).

Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, τα λιπαρά οξέα συμμετέχουν στη διατήρηση της εύρυθμης καρδιαγγειακής λειτουργίας (Monnard and Dulloo, 2021; Watanabe and Tatsuno, 2021), στη ρύθμιση της σύστασης του σώματος (αύξηση άλιπης μάζας) (Monnard and Dulloo, 2021) και συμβάλλουν στη φυσιολογική λειτουργία πολλών μηχανισμών του κεντρικού νευρικού συστήματος (Bellino et al., 2021; Bhathena, 2000; Tanskanen et al., 2001; Young and Conquer, 2005).

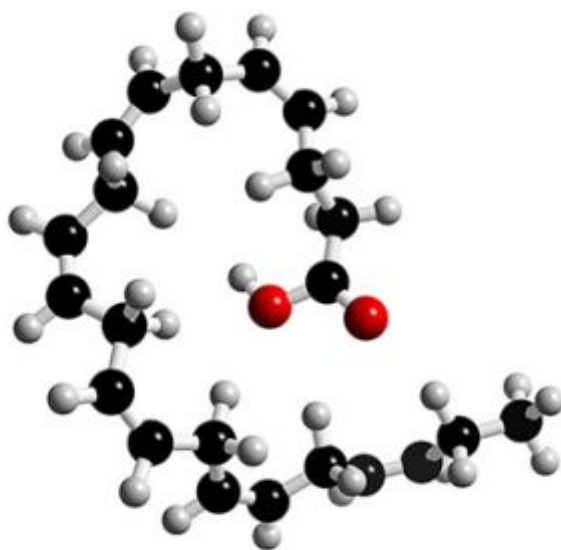
1.4.2 Λιπίδια στη διατροφή των ψαριών

Όπως προαναφέρθηκε, τα λιπίδια διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διατροφή των ψαριών, εφόσον τους παρέχουν τα πλούσια σε ενέργεια λιπαρά οξέα. Επιπλέον, είναι αναγκαία για τα ψάρια ως δομικά συστατικά των βιομεμβρανών, ως μεταφορείς λιποδιαλυτών βιταμινών, ως πρόδρομες ενώσεις των εικοσανοειδών, ορμονών και βιταμίνης D και ως συνένζυμα (Higgs and Dong, 2000). Ειδικά για τα σαρκοφάγα θαλάσσια είδη, όπως το λαβράκι, τα λιπίδια αποτελούν κύρια πηγή ενέργειας, αφού οι υδατάνθρακες έχουν μικρή συμμετοχή στη φυσική τους διατροφή (Sargent et al., 2002). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη χαμηλή ικανότητα χρησιμοποίησης των υδατανθράκων και την εξάρτησή τους από εύκολα μεταβολιζόμενες πηγές λίπους, προκειμένου να αποφευχθεί η οξείδωση πολύτιμων πρωτεϊνών (Bell and Koppe, 2011).

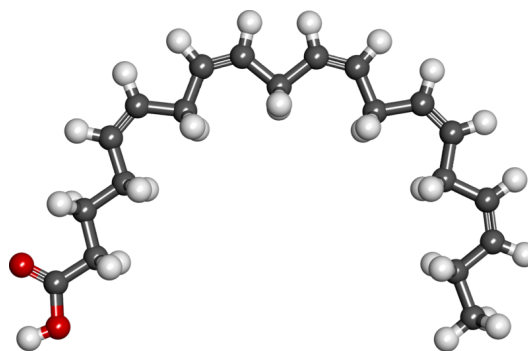
Συνεπώς τα λιπαρά οξέα δεν είναι μόνο η κύρια πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται για την αύξηση και την ανάπτυξη των ψαριών, αλλά και ζωτικής σημασίας κατά την αναπαραγωγή, όπου η παραγωγή γαμετών απαιτεί αυξημένη ενεργειακή παροχή (Bell and Koppe, 2011). Ενδεικτικά, τα λιπίδια παρέχουν 35.9kJ/g, σε σύγκριση με τα 23.6kJ/g και 17.2 kJ/g που παρέχουν οι πρωτεΐνες και οι υδατάνθρακες αντίστοιχα (NRC, 2011). Επιπλέον, η αποδοτικότητα της μετατροπής της ενέργειας από το λίπος στις τροφές σε σωματικό λίπος είναι η υψηλότερη από τα τρία μακροθρεπτικά συστατικά (Glencross, 2009).

1.4.2.1 Λιπαρά οξέα στη διατροφή των ψαριών

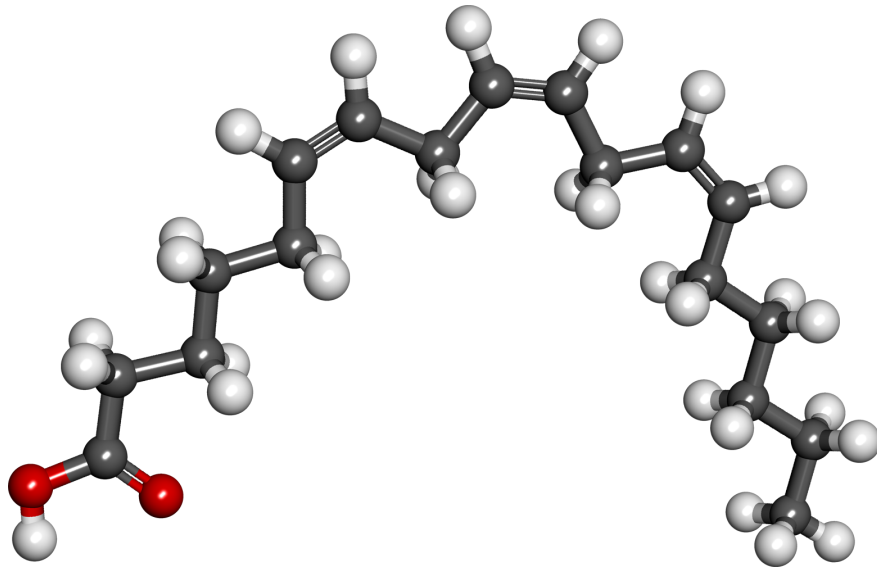
Τα λιπαρά οξέα παρέχουν ενέργεια στον οργανισμό με τη μορφή ATP, το οποίο παράγεται κυρίως από τη μιτοχονδριακή β-οξείδωση (Sargent et al., 2002). Η οξείδωση των λιπαρών οξέων αποτελεί επίσης πηγή ενέργειας για την παρατεταμένη κολύμβηση και τη μετανάστευση, όπου αυξάνεται η δραστηριότητα των ερυθρών μυών και οι ενεργειακές ανάγκες (Bell and Koppe, 2011). Τα ψάρια απαιτούν τρία πολυακόρεστα λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας (long chain polyunsaturated fatty acids, LC PUFA), για τη φυσιολογική αύξηση, ανάπτυξη και αναπαραγωγή τους: το δοκοσαεξαενοϊκό οξύ (docosahexaenoic acid, DHA, 22:6n-3, **Error! Reference source not found.**), το εικοσαπενταενοϊκό οξύ (eicosapentaenoic acid, EPA, 20:5-3, **Error! Reference source not found.**), μαζί με το μεταβολικό πρόδρομό τους α -λινολενικό οξύ (α -linolenic acid, ALA, 18:3n-3, Εικόνα 18) και το αραχιδονικό οξύ (arachidonic acid, AA, 20:4n-6, Εικόνα 19) με το πρόδρομό του λινολεϊκό οξύ (linoleic acid, LA, 18:2n-6, Εικόνα 20) (Sargent et al., 1999).



Εικόνα 16: Δοκοσαεξαενοϊκό οξύ (DHA) (Πηγή: <http://www.mentalhelp.net>).



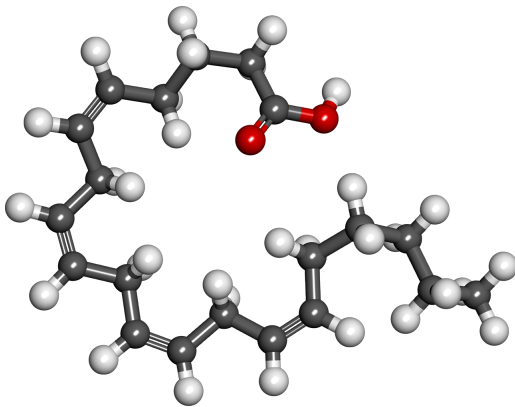
Εικόνα 17: Εικοσαπενταενοϊκό οξύ (EPA) (Πηγή: <http://commons.wikimedia.org>).



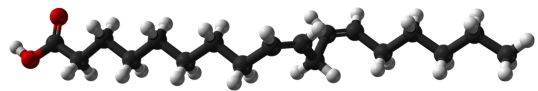
Εικόνα 18: α -Λινολενικό οξύ (ALA) (Πηγή: <http://commons.wikimedia.org>).

Οι βιοχημικές, κυτταρικές και φυσιολογικές λειτουργίες αυτών των τριών λιπαρών οξέων εντάσσονται σε δύο κατηγορίες:

1. Σε έναν γενικευμένο ρόλο στη διατήρηση της δομικής και λειτουργικής ακεραιότητας των κυτταρικών μεμβρανών και
2. Σε έναν πιο εξειδικευμένο ρόλο, ως πρόδρομες ουσίες μιας ιδιαίτερα βιολογικά ενεργής ομάδας παρακρινών ορμονών, γνωστών ως εικοσανοειδή (Sargent et al., 1999).



Εικόνα 19: Αραχιδονικό οξύ (AA), (Πηγή: <http://commons.wikimedia.org>).



Εικόνα 20: Λινολεϊκό οξύ (LA), (Πηγή: <http://commons.wikimedia.org>).

Τα εικοσανοειδή εμπλέκονται σε πολλές φυσιολογικές δραστηριότητες, ανοσολογικές ανταποκρίσεις, αιματολογική και καρδιαγγειακή δραστηριότητα, αναπαραγωγή, νεφρική και νευρική λειτουργία των ψαριών (Tocher, 2003). Πρόκειται για ενώσεις με 20 άτομα άνθρακα, οι οποίες παράγονται σε χαμηλές ποσότητες, ακόμη και ίχνη, σχεδόν σε όλους τους ιστούς του οργανισμού. Στην περίπτωση των ψαριών, η κύρια πρόδρομη ουσία τους είναι το αραχιδονικό οξύ (AA). Εικοσανοειδή παράγονται επίσης και από το EPA, αλλά αυτές οι μορφές είναι λιγότερο βιολογικά ενεργές (Sargent et al., 1999).

Η ενδογενής βιοσύνθεση των παραπάνω λιπαρών οξέων, μέσω της επιμήκυνσης και του αποκορεσμού της ανθρακικής αλυσίδας, είναι περιορισμένη για τα περισσότερα θαλάσσια είδη ψαριών, όπως το λαβράκι. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι τα τελεόστεα ψάρια έχουν χάσει στην πορεία της εξέλιξης το γονίδιο *fads1*, το οποίο ρυθμίζει τη διαδικασία αποκορεσμού που χαρακτηρίζει τη βιοσύνθεση των LC PUFA (Monroig et al., 2018). Τα συγκεκριμένα λιπαρά οξέα χαρακτηρίζονται ως απαραίτητα, εφόσον ο οργανισμός δεν μπορεί να τα παράξει σε επίπεδο που να καλύπτουν τις απαιτήσεις του και ταυτόχρονα απαιτούνται για την φυσιολογική λειτουργία του (Calder, 2018). Στο φυσικό περιβάλλον, η διατροφή αυτών των ειδών παρέχει τις απαιτούμενες ποσότητες PUFA (Sargent et al., 2002). Συνεπώς σε περιβάλλον εντατικής εκτροφής, είναι αναγκαία η χορήγησή τους με το σιτηρέσιο.

1.4.2.2 Επίδραση λιπαρών οξέων στο κεντρικό νευρικό σύστημα

Τα λιπαρά οξέα και ιδιαίτερα τα n-3 LC PUFA, ως συστατικό των μεμβρανών νευρικών κυττάρων εμπλέκονται σε μια πληθώρα εγκεφαλικών λειτουργιών (Bellino et al., 2021). Η ελλιπής πρόσληψή τους έχει συνδεθεί με μείωση της σύνθεσης, αποθήκευσης και έκκρισης σεροτονίνης και με μειωμένη λειτουργία υποδοχέων (Innis, 2007). Επιπλέον τα χαμηλά επίπεδα των n-3 LC PUFA και ο υψηλός λόγος n-6/n-3 στο πλάσμα, έχουν συνδεθεί με επιθετική και παρορμητική συμπεριφορά στον άνθρωπο (Bellino et al., 2021).

Αντίστροφα, η διατροφική πρόσληψη n-3 LC PUFA και ιδιαίτερα EPA και DHA έχει παρατηρηθεί ότι μπορεί να συμβάλει στην πρόληψη ή τον έλεγχο της σοβαρότητας της δυσλειτουργίας του εγκεφάλου, όπως αυτή εκφράζεται μέσω της διαταραχής ελλειμματικής προσοχής-υπερκινητικότητας, της διπολικής διαταραχής, της σχιζοφρένειας και της παρορμητικής συμπεριφοράς (Patrick and Ames, 2015).

Η χορήγηση EPA φαίνεται επίσης ότι έχει ευεργετική επίδραση στην ρύθμιση συμπτωμάτων που σχετίζονται με συμπεριφορές εθισμού, ως αποτέλεσμα δυσλειτουργίας της ντοπαμίνης. Ωστόσο, έχει επίσης παρατηρηθεί αυξημένη συγκέντρωση EPA και μειωμένοι

λόγοι AA/EPA και AA/DHA στις μεμβράνες των ερυθρών κυττάρων του αίματος (Bellino et al., 2021).

Η αυξημένη κατανάλωση κορεσμένων λιπαρών οξέα έχει συνδεθεί με την πρόκληση συμπεριφορών αγχώδους διαταραχής σε τρωκτικά (Dutheil et al., 2016; Moon et al., 2014; Nakajima et al., 2020). Η διατροφή με υψηλά κορεσμένα αλλά όχι και υψηλά μονοακόρεστα έχει συνδεθεί με εμφάνιση κατάθλιψης (Decarie-Spain et al., 2018). Τέλος, έχει διαπιστωθεί σε ζωικά μοντέλα ότι οι αυξημένες ποσότητες κορεσμένων λιπαρών οξέων κατά τη νεαρή ηλικία αυξάνουν την πιθανότητα εμφάνισης διαταραχών συμπεριφοράς κατά την ενηλικίωση (Page and Anday, 2020).

Στα ψάρια η επίδραση των λιπαρών οξέων στο κεντρικό νευρικό σύστημα και ειδικότερα στους νευροδιαβιβαστές, δεν έχει ερευνηθεί επαρκώς. Ο υποθάλαμος έχει παρατηρηθεί ότι διαθέτει ένα μεταβολικό μηχανισμό ελέγχου της πρόσληψης της τροφής. Εξειδικευμένοι νευρώνες του εντοπίζουν τις μεταβολές των επιπέδων μεταβολιτών, όπως τα λιπαρά οξέα (Blouet and Schwartz, 2010). Στο είδος *Solea senegalensis*, ο μηχανισμός αυτός ενεργοποιήθηκε από μονοακόρεστα και πολυακόρεστα οξέα, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της ανορεξιογόνου ικανότητας (Conde-Sieira et al., 2015). Παρόμοια επίδραση έχει παρατηρηθεί και στο είδος *Siniperca chuatsi* (Luo et al., 2020). Πρόσφατη έρευνα εντοπίζει μηχανισμό που συνδέει την κατανάλωση n-3 LC PUFA με ανορεκτική συμπεριφορά, που τελικά επηρέασε υψηλό ποσοστό της εγκεφαλικής λειτουργίας νεαρών ατόμων πέστροφας (*Oncorhynchus mykiss*) (Roy et al., 2020). Η εμπλοκή των λιπαρών οξέων στη απόκριση στο stress έχει διαπιστωθεί σε άτομα τσιπούρας, που τους χορηγήθηκε τροφή με υψηλά ποσοστά ALA και παρουσίασαν αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης, μετά από χειρισμούς αύξησης της ιχθυοπυκνότητας (overcrowding) (Caballero et al., 2002).

1.4.2.3 Επίδραση λιπαρών οξέων στην ανάπτυξη και τη σύσταση του σώματος

Ο ρόλος των λιπαρών οξέων και ιδιαίτερα των απαραίτητων, είναι καθοριστικός για την ανάπτυξη των ψαριών. Τα ελλιπή επίπεδα απαραίτητων λιπαρών οξέων σε τροφές ψαριών λαρβικού σταδίου έχουν συνδεθεί με χαμηλή διατροφική δραστηριότητα και δραστηριότητα κολύμβησης, χαμηλή ανάπτυξη, αυξημένη θνησιμότητα, λιπώδη διήθηση του ήπατος, ατελή πλήρωση της νηκτικής κύστης, μη φυσιολογικό χρωματισμό, αποσύνθεση βραγχιακού επιθηλίου, ανοσολογική ανεπάρκεια, αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης και παραμορφώσεις σκελετού (Izquierdo and Koven, 2011).

Στη σύγχρονη υδατοκαλλιεργητική πρακτική, οι τροφές που χορηγούνται στο λαβράκι περιέχουν υψηλό ποσοστό λίπους (Kousoulaki et al., 2015). Στόχος είναι η αύξηση της απόδοσης της ανάπτυξης, μέσω της εκμετάλλευσης της ενέργειας από το λίπος, ώστε να μεγιστοποιηθεί η μετατροπή της πρωτεΐνης τροφής σε πρωτεΐνη των μυών (Sargent et al., 2002). Η πρωτεΐνη αποτελεί το ακριβότερο συστατικό του σιτηρεσίου και η εξοικονόμησή του είναι ζωτικής σημασίας για τη βιωσιμότητα της υδατοκαλλιέργειας (Kousoulaki et al., 2015). Ειδικά για το λαβράκι, η αύξηση του λιπιδικού περιεχομένου του σιτηρεσίου από το 11 στο 19% (ξηράς ουσίας) προκάλεσε στατιστικά σημαντική αύξηση του τελικού μέσου βάρους (Lanari et al., 1999)

Ωστόσο, η σύσταση της πηγής λίπους σε λιπαρά οξέα φαίνεται να έχει μεγαλύτερη σημασία στην ανάπτυξη, αφού η ποσότητα των λιπιδίων δεν είναι αρκετή, για διατηρήσει την επιθυμητή απόδοση της ανάπτυξης. Μετά από χορήγηση τροφών με ίδια ποσότητα λίπους (22%), αλλά διαφορετική σύσταση λιπαρών οξέων, λόγω της αντικατάστασης του ιχθυέλαιου από φυτικά έλαια, παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις του τελικού μέσου βάρους (Montero et al., 2005). Το ιχθυέλαιο περιέχει υψηλές ποσότητες n-3 LC PUFA (Ghasemi Fard et al., 2019). Η υπεροχή του τελικού μέσου βάρους, λόγω της αυξημένης συμμετοχής του ιχθυέλαιου στο σιτηρέσιο για λαβράκι έχει επιβεβαιωθεί και από άλλες έρευνες (Chatelier et al., 2006; Geay et al., 2011; Monteiro et al., 2018; Torrecillas et al., 2017b; Tsopelakos et al., 2018).

Η συνεχής ανάπτυξη του κλάδου της υδατοκαλλιέργειας έχει επιβάλει την ανάγκη να υιοθετηθεί ένα περισσότερο βιώσιμο παραγωγικό μοντέλο, προκειμένου να προφυλαχθούν οι άγριοι πληθυσμοί από τους οποίους παράγεται το ιχθυέλαιο (FAO, 2020). Ωστόσο, το περιεχόμενο σε n-3 LC PUFA των εναλλακτικών πηγών λίπους είναι χαμηλότερο και δεν καλύπτει πάντα τις ανάγκες των εκτρεφόμενων ειδών (Glencross and Turchini, 2011).

Όπως προαναφέρθηκε, τα λιπαρά οξέα παίζουν ενεργό ρόλο και στη σύσταση του σώματος (Monnard and Dulloo, 2021). Προηγούμενες έρευνες έχουν παρουσιάσει διαφορές στη σύσταση του σώματος των ψαριών, που σχετίζονται με τη διαφορετική σύσταση του λίπους (Fountoulaki et al., 2009; Francis et al., 2006; Fukada et al., 2019; Glencross et al., 2003; Karalazos et al., 2007; Montero et al., 2005; Mourente and Bell, 2006; Torrecillas et al., 2017b; Turchini et al., 2003b; Turchini et al., 2007b; Yilmaz et al., 2016). Τα αποτελέσματά τους επιβεβαιώνουν τον ισχυρισμό ότι η σύσταση του λίπους το σώματος είναι άρρηκτα δεμένη με τη σύσταση του λίπους της τροφής (Sargent et al., 2002).

Με δεδομένο ότι κατά τη μιτοχονδριακή β-οξειδωση παρατηρείται ένας ανταγωνισμός μεταξύ των λιπαρών οξέων, ως προτιμώμενα υποστρώματα (Bell and Koppe, 2011),

διαμορφώνεται ένα δυναμικό σύστημα ισορροπιών, που ερευνάται συνεχώς προκειμένου να καθοριστούν οι ανάγκες σε απαραίτητα λιπαρά οξέα. Ειδικά για το λαβράκι δεν έχουν ακόμη καθοριστεί (NRC, 2011) και η παραγωγή των εμπορικών τροφών στηρίζεται σε ποσότητες που με βεβαιότητα δε θίγουν την παραγωγικότητα του είδους (Kaushik, 2002).

1.5 Αντικατάσταση ιχθυέλαιου σε ιχθυοτροφές

Η παγκόσμια κατά κεφαλή κατανάλωση ψαριών από 13.4Kg το 1995, αυξήθηκε στα 20.5Kg το 2018. Παράλληλα στο ίδιο χρονικό διάστημα, η συλλεκτική αλιεία αύξησε την παραγωγικότητά της από 86.9 Mt σε 96.4Mt, ενώ η υδατοκαλλιέργεια την αύξησε από 101.8 Mt σε 178.5 Mt (FAO, 2020). Συνεπώς, η αυξημένη κατανάλωση, που οφείλεται τόσο στην αύξηση του πληθυσμού, όσο και στην άνοδο του βιοτικού επιπέδου καλύπτεται κυρίως από τον κλάδο της υδατοκαλλιέργειας. Ωστόσο, η αύξηση της παραγωγικότητας απαιτεί και αύξηση των ποσοτήτων των πρώτων υλών για τις ιχθυοτροφές, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει μείωση της διαθεσιμότητας ιχθυάλευρου και ιχθυέλαιου και ταυτόχρονη αύξηση της τιμής τους. Αυτές οι πρώτες ύλες είναι προϊόντα συλλεκτικής αλιείας και η παραγωγή τους έχει ετήσιες διακυμάνσεις, που σχετίζονται κυρίως με το φαινόμενο El Niño (FAO, 2020). Το χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση ενός πυκνού επιφανειακού στρώματος θερμού νερού, το οποίο εμποδίζει την άνοδο στην επιφάνεια του ψυχρού και πλούσιου σε θρεπτικά συστατικά στρώματος. Στην επιφάνεια διενεργείται η φωτοσύνθεση, με αποτέλεσμα την παύση της παραγωγής των ωκεανών και τη μετανάστευση ή το θάνατο των ειδών που εξαρτώνται από αυτή (Bertrand et al., 2020). Σύμφωνα με εκτιμήσεις του IFFO (International Fish Meal and Fish Oil Organization), το 2018 το 75% του ιχθυάλευρου και το 73% του ιχθυέλαιου που παράχθηκε, χρησιμοποιήθηκε από την υδατοκαλλιέργεια (IFFO, 2020). Συνεπώς είναι αναγκαία η μείωση της συμμετοχής του ιχθυέλαιου στις ιχθυοτροφές, ως μέσο επίτευξης της βιωσιμότητας και της αειφορίας του κλάδου.

Στο πλαίσιο της ανεύρεσης πρώτων υλών για την αντικατάσταση του ιχθυέλαιου, έχουν εξεταστεί πειραματικά οι προοπτικές εναλλακτικών πηγών λίπους, όπως φυτικά έλαια (Fountoulaki et al., 2009; Menoyo et al., 2004; Menoyo et al., 2003; Menoyo et al., 2005; Montero et al., 2008; Montero et al., 2003; Montero et al., 2005; Mourente and Bell, 2006; Mu et al., 2020; Özşahinoğlu et al., 2013; Parpoura and Alexis, 2001; Peng et al., 2008; Pettersson et al., 2009; Raso and Anderson, 2003; Regost et al., 2003; Richard et al., 2006; Shapawi et al., 2008; Torrecillas et al., 2017b; Toyos-Vargas et al., 2020; Turchini et al., 2013; Wassef et al., 2008), υποπροϊόντα υδατοκαλλιέργειας (Turchini et al., 2003a), υποπροϊόντα εκτροφής χερσαίων ζώων (Campos et al., 2019; Monteiro et al., 2018; Saoud et al., 2008; Turchini et al.,

2003b) και μικροφύκη (Atalah et al., 2007; Cardinaletti et al., 2018; Fukada et al., 2019; Ganuza et al., 2008; Miller et al., 2007).

Τα φυτικά έλαια αποτελούν ιδιαίτερα ελκυστική επιλογή λόγω της διαθεσιμότητάς, της ανανεωσιμότητάς και της προοπτικής αύξησης της παραγωγής τους. Ωστόσο, τα περισσότερα φυτικά έλαια είναι σχετικά φτωχές πηγές των n-3 λιπαρών οξέων σε σύγκριση με το θαλάσσιο ιχθυέλαιο. Τα απαραίτητα n-3 LC PUFA για την ανάπτυξη και την υγεία των ψαριών απουσιάζουν από όλα τα φυτικά έλαια. Τα φυτικά έλαια είναι πλούσια σε n-6 και n-9 λιπαρά οξέα, κυρίως LA και ολεϊκό (OA, 18:1n-9), με εξαίρεση το λινέλαιο (LO, linseed oil), το οποίο είναι πλούσιο σε ALA. (Turchini et al., 2009). Το γενικό συμπέρασμα από τις σχετικές έρευνες είναι ότι η αντικατάσταση του ιχθυέλαιου από φυτικά έλαια είναι αποτελεσματική, όταν τα απαραίτητα λιπαρά οξέα που παρέχονται από την τροφή καλύπτουν τις ανάγκες του εκάστοτε εκτρεφόμενου είδους.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε είδη γλυκού νερού όπως η πέστροφα, η αντικατάσταση κατά 60, 75 και 90% του ιχθυέλαιου από έλαιο ελαιοκράμβης με υψηλή συγκέντρωση ολεϊκού οξέος, δεν προκάλεσε σημαντική μείωση της ανάπτυξης (Turchini et al., 2013). Γενικά η χρήση του ελαίου ελαιοκράμβης στα είδη του γλυκού νερού έχει από αμελητέες ως μη επιβλαβείς επιδράσεις στη συνολική απόδοση των ψαριών (Bell et al., 2003a; Bell et al., 2003b; Glencross et al., 2010; Karalazos et al., 2007; Tocher et al., 2000; Torstensen et al., 2005; Torstensen et al., 2004; Turchini and Mailer, 2010). Στα μεσογειακά είδη, δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη όταν η αντικατάσταση δεν υπερβαίνει το 60% (Izquierdo et al., 2003; Montero et al., 2005).

Το φοινικέλαιο αποτελεί μία ακόμη ελκυστική επιλογή για αντικατάσταση του ιχθυέλαιου, αφού χαρακτηρίζεται από χαμηλή τιμή αγοράς και ευρεία διαθεσιμότητα. Επιπλέον, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε SFA, μπορεί να βελτιώσει τη ποιότητα των ιχθυοτροφών, οι οποίες λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων PUFA, είναι επιρρεπείς σε οξειδωση (Ng and Gibon, 2011). Επίσης, η χαμηλή συμμετοχή του σε μείγματα αντικατάστασης 60% του ιχθυέλαιου, δεν προκαλεί επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανάπτυξη και την σύσταση του φιλέτου του λαβρακιού (Richard et al., 2006). Στα σολομοειδή δεν επηρεάζει την ανάπτυξη ακόμη και σε αντικατάσταση 50% του ιχθυέλαιου (Rosenlund et al., 2001).

Τα υποπροϊόντα υδατοκαλλιέργειας (όπως εντόσθια, κεφάλια, αίμα, δέρμα, οστά και ήπαρ), θεωρούνται χαμηλής εμπορικής αξίας και απορρίπτονται (Turchini et al., 2009). Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες για παραγωγή ιχθυέλαιου στο πλαίσιο της επίτευξης του Στόχου Βιώσιμης Ανάπτυξης, αφού η χρήση τους για παραγωγή ιχθυέλαιου θα μειώσει το κόστος παραγωγής των ιχθυοτροφών, ενώ περιέχουν υψηλότερα επίπεδα n-3 LC

PUFA, από εκείνα των φυτικών ελαίων (FAO, 2020). Ειδικά από την παραγωγή από την εκτροφή σολομού στη Νορβηγία προκύπτουν πάνω από 20.000 τόνοι υποπροϊόντων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ελαίου (salmon oil, SO). Αυτό το έλαιο, μετά από κατάλληλη επεξεργασία, μπορεί να αποτελέσει πρώτη ύλη ιχθυοτροφών για είδη που δεν περιλαμβάνουν το σολομό (Olsen et al., 2014). Στο SO παραμένουν και οι χρωστικές (καροτενοειδή, ασταξανθίνη), που είναι φυσικά αντιοξειδωτικά. Ωστόσο, εντοπίζονται σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις, από εκείνες που χορηγήθηκαν με την τροφή, όπως επίσης και τα n-3 LC PUFA (Olsen et al., 2011; Olsen et al., 2014). Τέλος, το SO αναμένεται να είναι πλούσιο σε μονοακόρεστα και ιδιαίτερα αυτά της μακράς αλυσού C20, C21 (long chain monounsaturated fatty acids, LC MUFA), κυρίως λόγω της υψηλής συμμετοχής φυτικών ελαίων στην τροφή που χορηγήθηκε προηγουμένως (Wu and Bechtel, 2008).

Η μείωση του επιπέδου των απαραίτητων λιπαρών οξέων στις ιχθυοτροφές, έχει οδηγήσει σε μία προσαρμογή των ψαριών στο χαμηλότερο επίπεδο. Τα ψάρια παρουσιάζουν ένα φαινόμενο φειδωλής χρησιμοποίησης των n-3 LC PUFA (sparing effect), κατά το οποίο μειώνεται ο καταβολισμός τους, λόγω της αφθονίας των μονοακόρεστων (MUFA) και κορεσμένων (SFA) λιπαρών οξέων (Eroldogan et al., 2013; Turchini et al., 2011). Ταυτόχρονα, το χαμηλό επίπεδο απαραίτητων λιπαρών οξέων στην τροφή έχει συνδεθεί με αντίστοιχα χαμηλό επίπεδο στο φιλέτο των ψαριών (Torrecillas et al., 2017b; Yilmaz and Eroldogan, 2015). Συνεπώς είναι απαραίτητη η χορήγηση τροφής με υψηλό επίπεδο n-3 LC PUFA για ένα χρονικό διάστημα, προκειμένου να αποκατασταθεί μερικώς η περιεκτικότητα του φιλέτου (Glencross and Turchini, 2011).

1.5.1 Αλληλεπιδράσεις Λιπαρών Οξέων

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η πρακτική της αντικατάστασης του ιχθυέλαιου, παρά τη συμβολή της στη βιωσιμότητα και στην αειφορία του κλάδου των υδατοκαλλιεργειών, μπορεί να θίξει την ανάπτυξη και την ευζωία των εκτρεφόμενων ψαριών. Αναφέρθηκε επίσης ότι η σύσταση του λίπους σε λιπαρά οξέα έχει καθοριστική σημασία στην εύρυθμη λειτουργία του μεταβολισμού.

Ο ανταγωνισμός μεταξύ των λιπαρών οξέων (Bell and Korpe, 2011) δημιουργεί ισορροπίες που πρέπει να διατηρηθούν και θέτει ερωτήματα για περαιτέρω διερεύνηση. Η υψηλή περιεκτικότητα ενός λιπαρού οξέος στην τροφή (π.χ. του αραχιδονικού) θα μεταβάλει την διατροφική απαίτηση για κάποιο άλλο (όπως το EPA). Ειδικά για το EPA, το τελικό επίπεδο του επηρεάζεται από τις ικανότητες του οργανισμού (γενετικά προκαθορισμένες) να

βιοσυνθέτει το συγκεκριμένο λιπαρό οξύ από πρόδρομες ενώσεις, μικρότερης αλυσίδας και να καταβολίζει τόσο την πρόδρομη ένωση όσο και το προϊόν. (Sargent et al., 2002).

Οι λόγοι n-3/n-6 και EPA/DHA/AA έχουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο κατά την αντικατάσταση του ιχθυέλαιου (Sargent et al., 1999). Από την αντικατάσταση του ιχθυέλαιου με φυτικά έλαια πλούσια n-6 λιπαρά οξέα, μπορεί να προκληθεί καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος. Από την αλλαγή του λόγου n-3/n-6 στο σιτηρέσιο των ψαριών μεταβάλλεται και ο λόγος EPA/AA στα ψάρια σε κυτταρικό επίπεδο. Τα εικοσανοειδή που προέρχονται από το AA έχουν μεγαλύτερη ενεργότητα από τα αντίστοιχα του EPA, και η αύξησή τους είναι υπεύθυνη για μεταβολές σε αρκετές φυσιολογικές ανταποκρίσεις των ψαριών, συμπεριλαμβανομένης και της καταστολής του ανοσοποιητικού συστήματος (Tocher, 2003).

1.6 Σκοπός της εργασίας

Η αντικατάσταση ιχθυέλαιου στις ιχθυοτροφές είναι μία πρακτική που έχει μελετηθεί εντατικά, για τα περισσότερα είδη που απασχολούν τη βιομηχανία της υδατοκαλλιέργειας. Ωστόσο, η έρευνα επικεντρώνεται κυρίως σε πρώτες ύλες που θα αντικαταστήσουν το ιχθυέλαιο. Πιο συγκεκριμένα, η εστίαση αφορά στο επίπεδο συμμετοχής των πρώτων υλών στο σιτηρέσιο, γεγονός που τελικά επηρεάζει το επίπεδο n-3 LC PUFA.

Η μείωση της συμμετοχής των n-3 LC PUFA, σε συνδυασμό με την αύξηση των MUFA ή/και των SFA, σηματοδοτεί την εμφάνιση του φαινομένου φειδωλής χρησιμοποίησης των n-3 και την ανάγκη διερεύνησης των συνδυαστικών επιδράσεων των διαφορετικών ομάδων λιπαρών οξέων.

Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία ήταν η αξιολόγηση της επίδρασης διαφορετικών διατροφικών λόγων SFA/MUFA, κάτω από διαφορετικά επίπεδα n-3 LC PUFA στη λειτουργία του κεντρικού νευρικού συστήματος, μέσω του προσδιορισμού των συγκεντρώσεων των νευροδιαβιβαστών του εγκεφάλου, της ανάπτυξης και της σύστασης του σώματος του Ευρωπαϊκού λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax* L.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β

2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Πειραματικός σχεδιασμός

2.1.1 Πειραματική εκτροφή

Η πειραματική εκτροφή των ψαριών πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Υδροβιολογίας, σε συστήματα ανακυκλούμενου θαλασσινού νερού. 336 ψάρια, αρχικού μέσου βάρους (\pm τυπική απόκλιση) $154.89 \pm 39.995\text{g}$, τοποθετήθηκαν 28 γυάλινες δεξαμενές των 215L (12 άτομα/δεξαμενή). Πραγματοποιήθηκε έλεγχος για κανονική κατανομή στον αρχικό πληθυσμό, η οποία επιβεβαιώθηκε, τόσο σε επίπεδο πειραματικής μονάδας (δεξαμενή) όσο και σε επίπεδο πειραματικών επεμβάσεων. Η ιχθυοπυκνότητα διατηρήθηκε κάτω από το όριο των 15Kg/m^3 σε όλη τη διάρκεια του πειραματισμού.

Διατηρήθηκε καθεστώς φωτοπεριόδου 12h φωτός και 12h σκότους. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού εκτροφής (pH, $\text{O}_2\%$, κορεσμός O_2 , θερμοκρασία, αλατότητα) ελέγχονταν καθημερινώς, ενώ η περιεκτικότητά του σε αμμωνία και νιτρώδη ιόντα ελέγχονταν εβδομαδιαίως.

Η εκτροφή διήρκεσε 350 ημέρες και διακρίθηκε σε 251 ημέρες εκτροφής με τις πειραματικές τροφές και 99 ημέρες τελική διατροφή (finisher-diet period) με σιτηρέσιο που προηγουμένως χορηγούνταν μόνο στην ομάδα του μάρτυρα (M). Στόχος ήταν να εξεταστεί η πιθανή αντισταθμιστική επίδραση στην ανάπτυξη. Η χορήγηση της τροφής γινόταν με το χέρι, μέχρι το σημείο του φαινόμενου κορεσμού, 2 φορές την ημέρα, 5 ημέρες την εβδομάδα.

2.1.2 Δειγματοληψίες

Στις ημέρες 131, 251, 313 και 350 πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες (3 άτομα από κάθε δεξαμενή) για την εκτίμηση των νευροδιαβιβαστών, των αιματολογικών, φυσιολογικών και ποιοτικών παραμέτρων. Συγκεκριμένα, το επίπεδο των νευροδιαβιβαστών, η σύσταση του φιλέτου και η ανάπτυξη προσδιορίστηκαν σε όλα τα χρονικά σημεία, οι αιματολογικές παράμετροι στις ημέρες 131 και 251, ενώ η σύσταση του λίπους του φιλέτου σε λιπαρά οξέα και ο προσδιορισμός λίπους στο ήπαρ στις ημέρες 251 και 350.

Τα ψάρια αλιεύθηκαν τυχαία από κάθε δεξαμενή, δέχθηκαν χτύπημα αναισθητοποίησης στο κεφάλι και τοποθετήθηκαν σε δεξαμενή με μείγμα θαλασσινού νερού και πάγου. Όταν ολοκληρώθηκε τη λήψη των τριών ατόμων, ζυγίστηκαν ατομικά, λήφθηκε αίμα και ο εγκέφαλος. Στις ημέρες 251 και 350, πραγματοποιήθηκαν σωματομετρήσεις (ολικό μήκος, σταθερό μήκος, ύψος), εκσπλαχνισμός και δειγματοληψία ήπατος και πεπτικού σωλήνα.

Η λήψη του αίματος πραγματοποιήθηκε με σύριγγες 1mL, οι οποίες είχαν επιχριστεί με διάλυμα ηπαρίνης συγκέντρωσης 500U/mL. Το αίμα μεταγγίστηκε σε Eppendorf, που περιείχαν 50U ηπαρίνης και από εκεί έγινε προσδιορισμός του αιματοκρίτη. Ακολούθησε φυγοκέντριση στις 12000rpm για 5min, λήψη του πλάσματος και αποθήκευση στους -20°C.

2.2 Παρασκευή πειραματικών τροφών

Παρασκευάστηκαν έξι ισοαζωτούχες και ισολιπιδικές πειραματικές τροφές, στις οποίες μέρος του ιχθυέλαιου αντικαταστάθηκε από εναλλακτικές πηγές λίπους. Επιλέχθηκαν 2 επίπεδα n-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας (n-3 LC PUFA). Για κάθε επίπεδο επιλέχθηκαν 3 λόγοι κορεσμένων προς μονοακόρεστων λιπαρών οξέων (SFA/MUFA). Τα διαφορετικά επίπεδα n-3 LC PUFA (% αναγνωρισμένων ολικών λιπαρών οξέων), οι λόγοι SFA/MUFA, η τελική σύνθεση και σύσταση παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Σύνθεση και σύσταση των πειραματικών τροφών

n-3 LC PUFA (% αναγνωρισμένων ολικών λιπαρών οξέων)	Χαμηλό (5)			Μέσο (7)			Μάρτυρας (14)
	0.4	0.6	0.9	0.4	0.6	0.9	
SFA/MUFA	0.4	0.6	0.9	0.4	0.6	0.9	0.7
	Τροφές						
Πρώτες Ύλες (%)	X0.4	X0.6	X0.9	M0.4	M0.6	M0.9	M
Ιχθυάλευρο ¹	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8
Πρωτεΐνη ιχθύων (υδρολυμένη) ²	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
Αιματάλευρο ³	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Γλουτένη Αραβοσίτου ⁴	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
Πλακούντας Ηλιάλευρου ⁵	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8
Σίτος ⁶	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7
Πρόμειγμα βιταμινών και ιχνοστοιχείων ⁷	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Ιχθυέλαιο ⁸	0.5	0.5	0.5	1.8	1.8	1.8	13.3
Έλαιο υποπροϊόντων εκτροφής σολομού ⁹	2.0	2.0	2.0	4.6	4.6	4.6	2.0
Έλαιο ελαιοκράμβης ¹⁰	12.0	7.7	4.1	9.4	5.1	1.7	1.7
Φοινικέλαιο ¹¹	2.4	6.8	10.3	1.3	5.5	8.9	0.0
Σύσταση (g/Kg νωπού βάρους)							
Υγρασία	69	67	68	61	59	62	56
Πρωτεΐνη	420	424	421	420	428	427	432
Λίπος	215	234	216	233	233	231	222

Τέφρα	60	60	61	61	61	60	62
Ακαθάριστη Ενέργεια (Kj/g)	20.9	21.4	21.0	21.6	21.7	21.6	21.6

¹ Περού, ² Νορβηγία, ³ Γερμανία, ⁴ Ιταλία, ⁵ Σερβία, ⁶ Ελλάδα, ⁷ Το πρόμειγμα βιταμινών και ιχνοστοιχείων παρασκευάστηκε στην Ευρωπαϊκή Ένωση, σύμφωνα με τις εμπορικές προδιαγραφές της Biomar Hellenic, ⁸ Περού, ⁹ Νορβηγία, ¹⁰ Σερβία, ¹¹ Μαλαισία

Οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν, εκτός από το ιχθυέλαιο ελεύθερης αλιείας, ήταν έλαιο ελαιοκράμβης (rapeseed oil, RO), φοινικέλαιο (palm oil, PO) και έλαιο από υποπροϊόντα εκτροφής σολομού (salmon oil, SO). Η διαδικασία παρασκευής περιλάμβανε την προσθήκη μείγματος των παραπάνω ελαίων, διαφορετικής σύστασης, σε βασική τροφή με χαμηλή περιεκτικότητα σε λίπος. Η λιποπεριεκτικότητα της βασικής τροφής διαμορφώθηκε από το λίπος που εισάχθηκε μέσω του ιχθυαλεύρου και από την ελάχιστη ποσότητα λίπους που είναι απαραίτητη, ώστε να λειτουργήσει η μηχανή εξώθησης. Η βασική τροφή παράχθηκε από την εταιρεία BioMar Hellenic ABEEI. Η εταιρεία παρείχε επίσης τα έλαια που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση των σιτηρεσιών. Παρασκευάστηκε επίσης τροφή (M) χωρίς υποκατάσταση του ιχθυέλαιου, η οποία χορηγήθηκε στην επέμβαση που λειτούργησε ως μάρτυρας.

Μετά την προσθήκη του μείγματος λίπους, η οποία πραγματοποιήθηκε σε δύο ισόποσες δόσεις, ακολούθησε η τοποθέτηση σε θάλαμο κενού για 1h, ώστε να διευκολυνθεί η απορρόφησή του από τα εξωθημένα σύμπληκτα. Η διάμετρος των κόκκων των συμπληκτων που χρησιμοποιήθηκαν στην έναρξη της εκτροφής ήταν 4.5mm και αυξήθηκε στα 6.0mm κατά την εξέλιξή της.

Τα ποσοστά υποκατάστασης κυμάνθηκαν σε δύο επίπεδα και υπολογίστηκαν ως ποσοστά υποκατάστασης του ιχθυέλαιου αλιείας από τα φυτικά έλαια (έλαιο ελαιοκράμβης και φοινικέλαιο) και το έλαιο από υποπροϊόντα εκτροφής σολομού, όπως επίσης και ως ποσοστό υποκατάστασης των ελαίων ζωικής προέλευσης (ιχθυέλαιο αλιείας και έλαιο από υποπροϊόντα εκτροφής σολομού) από τα φυτικά έλαια (Πίνακας 2)

Πίνακας 2: Ποσοστά αντικατάστασης

	X0.4	X0.6	X0.9	M0.4	M0.6	M0.9
% Υποκατάστασης από εναλλακτικές πηγές λίπους (SO, RO, PO)	97	97	97	89	89	89
% Υποκατάστασης από φυτικά έλαια (RO, PO)	85	85	85	63	63	63

2.3 Προσδιορισμός λίπους και αναλογιών λιπαρών οξέων

2.3.1 Προσδιορισμός λίπους σε δείγματα φιλέτου

Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε λίπος, ακολουθήθηκε η μέθοδος Folch (Folch et al., 1957). Επιπροσθέτως υιοθετήθηκαν οι προτεινόμενες προσαρμογές που αφορούσαν στην προσθήκη μεθανόλης (20% του συνολικού όγκου του δείγματος), ώστε να μειωθεί ειδικό βάρος και να διευκολυνθεί η φυγοκέντριση. Η φυγοκέντριση προτιμήθηκε από τη διήθηση, διότι παρέχει καθαρότερο εκχύλισμα (Folch et al., 1957).

Αρχικά, λήφθηκαν 250-300mg υλικού (τροφής, φιλέτου, ήπατος), τοποθετήθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες τύπου falcon, όπου προστέθηκαν 5mL διαλύματος χλωροφορμίου:μεθανόλης (2:1, Διάλυμα 1), ομογενοποιήθηκαν με συσκευή υπερήχων και προστέθηκε 1mL μεθανόλης. Οι σωλήνες πωματίστηκαν και φυγοκεντρίστηκαν στις 4300 στροφές/min για 10min. Το υπερκείμενο υγρό μεταγγίστηκε σε αντίστοιχα σημασμένους δοκιμαστικούς σωλήνες και συμπληρωματικά, στο στερεό υπόλειμμα προστέθηκε 1mL διαλύματος 1, πραγματοποιήθηκε ομογενοποίηση και προστέθηκαν 0.2mL μεθανόλης. Ακολούθησε φυγοκέντριση (4300 στροφές/min, 10 min) και το υπερκείμενο υγρό συμπληρώθηκε στους αντίστοιχους δοκιμαστικούς σωλήνες, στους οποίους προστέθηκαν 2.4mL χλωροφορμίου και 2.4mL διαλύματος χλωριούχου καλίου (KCl) 0.05N. Οι σωλήνες πωματίστηκαν και φυγοκεντρίστηκαν όπως παραπάνω. Κατά τη φυγοκέντριση σχηματίστηκαν δύο φάσεις, από τις οποίες απορρίφθηκε η άνω και προστέθηκαν 1.5mL διαλύματος χλωροφορμίου:μεθανόλης:χλωριούχου καλίου 0,1N (8:4:3). Στη συνέχεια έγινε ανάμιξη (vortex) στο σημείο διαχωρισμού των δύο φάσεων. Ακολούθησε πωματισμός και φυγοκέντριση όπως παραπάνω. Τέλος, έγινε λήψη της κάτω φάσης, μετάγγιση της σε προζυγισμένους υάλινους δοκιμαστικούς σωλήνες και ξήρανση σε θερμοκρασία 50°C. Μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης, οι δοκιμαστικοί σωλήνες ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας (Scientech, d=0.0001g) για τον προσδιορισμό της ποσότητας του λίπους.

2.3.2 Προσδιορισμός σύστασης του λίπους σε λιπαρά οξέα

Το λίπος που συλλέχθηκε μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της μεθόδου Folch, εστεροποιήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο Christie (Christie, 1982; Christie, 1993), ώστε να προσδιοριστούν οι αναλογίες των λιπαρών οξέων. Για κάθε 50mg λίπους, προστέθηκαν 2mL διαλύματος BHT σε μεθανόλη και 2% πυκνού διαλύματος H₂SO₄. Οι δοκιμαστικοί σωλήνες τοποθετήθηκαν σε κλίβανο θερμοκρασίας 50°C για 16h περίπου. Ακολούθως, τα δείγματα

διηθήθηκαν μέσα από φίλτρο GF/A, το οποίο περιείχε ποσότητα θειικού νατρίου (Na_2SO_4) και εκπλύθηκε με εξάνιο. Τέλος, τα διαλύματα που προέκυψαν τοποθετήθηκαν για εξάτμιση σε ατμόσφαιρα αζώτου.

Πριν την έγχυση σε αέριο χρωματογράφο με ανιχνευτή ιονισμού φλόγας (GC/FID, Agilent Technologies 6890N), το εστεροποιημένο δείγμα αραιώθηκε με ποσότητα εξανίου, ανάλογης του αρχικού βάρους του λίπους που εξάχθηκε με τη μέθοδο Folch.

Για την ανίχνευση και τον προσδιορισμό των μεθυλεστέρων των λιπαρών οξέων, χρησιμοποιήθηκε στήλη Supelco OMEGAWAX 320 (L:30m, ID:0.32mm, DF:0.25 μm). Το φέρον αέριο ήταν Ήλιο (He) με ροή 2mL/min. Το πρόγραμμα θερμοκρασιών ήταν από τους 50°C ως τους 150°C με ρυθμό 40°C/min και έπειτα ως τους 225°C με ρυθμό 2°C/min. Η αναγνώριση των μεθυλεστέρων των λιπαρών οξέων έγινε με βάση τα γνωστά δείγματα προτύπων Supelco 37 component FAME mix και Menhaden fish oil καθώς και το πρωτόκολλο AOCS Ce 1i-07, στο λογισμικό Chemstation (G1701DA Rev.01.02 SP1).

2.3.3 Προσδιορισμός λίπους σε δείγματα τροφών

Για τον προσδιορισμό της λιποπεριεκτικότητας των τροφών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Soxhlet. Σε κάθε σωλήνα υδρόλυσης τοποθετήθηκαν 5g δείγματος τροφής, 5g γης διατόμων και 100ml διαλύματος HCl 4N. Σε αντίστοιχα σημασμένες υάλινες χοάνες τοποθετήθηκαν 20g άμμου θαλάσσης και 5g γης διατόμων. Οι σωλήνες και οι χοάνες τοποθετήθηκαν σε συσκευή υδρόλυσης (Buchi), όπου μετά από 30min βρασμού, το περιεχόμενο των σωλήνων διηθείται μέσω αντλίας κενού από τις χοάνες. Ακολούθησε η ξήρανση του περιεχομένου των χοανών σε κλίβανο, με θερμοκρασία 80-90°C, για 24h.

Μετά την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας, οι χοάνες τοποθετήθηκαν για εκχύλιση σε συσκευή Soxhlet (Buchi 812). Σε κάθε χοάνη αντιστοιχήθηκε ένα προζυγισμένο ποτήρι εκχύλισης, στο οποίο είχαν μεταγγιστεί 170ml πετρελαϊκού αιθέρα. Η υδρόλυση ολοκληρώνεται όταν ο αιθέρας που μεταγγίζεται από τις χοάνες προς τα ποτήρια εκχύλισης είναι διαυγής. Τα ποτήρια μεταφέρονται σε κλίβανο θερμοκρασίας 50-60°C, ώστε να εξατμιστεί ο αέρας και να παραμείνει μόνο το λίπος.

Η ποσότητα του λίπους υπολογίζεται από τη ζύγιση του ποτηριού μετά την εξάτμιση και την αφαίρεση του αρχικού του βάρους. Ακολουθεί η αναγωγή του στα 100g τροφής.

2.4 Σύσταση λιπαρών οξέων ελαίων και τροφών

Η επιλογή των ποσοστών συμμετοχής κάθε ελαίου στα διαφορετικά μείγματα βασίστηκε στον προσδιορισμό της αναλογίας των λιπαρών οξέων, τόσο στα έλαια όσο και στη βασική τροφή (Πίνακας 3)

Πίνακας 3: Σύσταση σε επιλεγμένα λιπαρά οξέα (% αναγνωρισμένων ολικών λιπαρών οξέων) στα έλαια και στο λίπος της βασικής τροφής.

	FO	SO	RO	PO	Βασική Τροφή
18:1n-9	10.19	37.39	58	37.08	21.92
18:2n-6	1.57	11.92	20.35	8.92	0.98
18:3n-3	1.16	4.38	7.77	0.17	0.23
20:1n-11+20:1n-9	7.89	4.46	1.3	0.2	4.59
20:4n-6	0.64	0.32	MA	MA	0.06
20:5n-3	8.16	2.84	MA	MA	0.17
22:1n-11	12.45	2.95	MA	MA	1.56
22:1n-9	MA	0.46	MA	MA	2.73
22:6:n-3	7.55	3.45	MA	MA	1.01
SFA	25.64	15.76	7.5	51.17	25.02
MUFA	39.65	52.02	62.68	38.1	35.33
n-3	21.29	13.58	7.77	0.17	3.80
n-3 LC PUFA	17.55	8.49	0	0	3.49
n-6	2.51	13.13	20.35	8.92	1.10
EPA+DHA	15.71	6.29	0	0	1.18
SFA/MUFA	0.65	0.30	0.12	1.34	0.71

MA: Μη Αναγνωρίσιμο

Η σύσταση των λιπαρών οξέων (% Ολικών Αναγνωρισμένων Λιπαρών Οξέων, ΟΑΛΟ) του λίπους των τροφών παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Σύσταση λιπαρών οξέων του λίπους των τροφών

% ΟΑΛΟ	X0.4	X0.6	X0.9	M0.4	M0.6	M0.9	M
14:0	1.71±0.145	1.94±0.086	2.13±0.094	2.47±0.082	2.68±0.132	2.84±0.079	7.05±0.318
iso 15:0	0.04±0.044	0.04±0.035	0.04±0.028	0.07±0.056	0.06±0.031	0.06±0.027	0.18±0.045
15:0	0.05±0.084	0.07±0.034	0.07±0.021	0.10±0.053	0.09±0.041	0.09±0.038	0.27±0.069
iso 16:0	0.03±0.026	0.03±0.019	0.03±0.022	0.04±0.020	0.03±0.050	0.04±0.010	0.10±0.040
16:0	13.82±0.352	22.51±0.196	28.57±0.312	12.19±0.251	20.13±0.395	29.00±0.412	16.84±0.391
16:1n-7	1.69±0.093	1.72±0.064	1.74±0.096	2.47±0.140	2.46±0.072	2.36±0.156	5.63±0.101
16:1n-5	0.11±0.045	0.11±0.023	0.08±0.134	0.16±0.025	0.16±0.021	0.16±0.047	0.45±0.052
16:2n-6	0.04±0.069	0.02±0.029	0.04±0.031	0.05±0.058	0.06±0.051	0.06±0.076	0.18±0.073
16:2n-4	0.08±0.092	0.08±0.051	0.09±0.054	0.15±0.068	0.13±0.084	0.11±0.109	0.27±0.117
17:0	0.05±0.030	0.05±0.016	0.06±0.025	0.08±0.026	0.08±0.017	0.08±0.029	0.21±0.031
16:3n-4	0.18±0.049	0.20±0.034	0.20±0.030	0.21±0.049	0.23±0.052	0.24±0.045	0.48±0.055
16:3n-3	0.13±0.051	0.12±0.030	0.08±0.096	0.17±0.024	0.15±0.024	0.13±0.012	0.30±0.018
16:4n-3	0.05±0.026	0.05±0.024	0.09±0.109	0.07±0.022	0.05±0.100	0.07±0.025	0.18±0.059
18:0	2.96±0.143	3.51±0.117	3.95±0.106	2.82±0.125	3.38±0.176	3.98±0.200	3.15±0.108
18:1n-9	43.03±0.474	37.86±0.369	34.85±0.273	38.54±0.255	34.91±0.273	31.30±0.253	16.73±0.101
18:1n-7	3.79±0.553	2.88±0.346	2.37±0.260	3.48±0.277	2.89±0.230	2.33±0.169	3.42±0.237
18:1n-5	0.41±0.189	0.35±0.110	0.33±0.107	0.37±0.139	0.38±0.144	0.39±0.169	0.76±0.140
18:2n-7 (5c, 11c)	0.69±0.312	0.55±0.180	0.45±0.158	0.40±0.196	0.44±0.210	0.49±0.251	0.46±0.147
18:2n-7 (8c, 11c)	0.00±0.000	0.00±0.000	0.00±0.000	0.00±0.000	0.00±0.000	0.00±0.000	0.00±0.000
18:2n-6	13.66±0.662	11.96±0.339	10.49±0.352	13.73±0.398	11.35±0.454	8.74±0.561	5.41±0.327
18:2n-4	0.20±0.137	0.19±0.076	0.19±0.068	0.12±0.094	0.16±0.094	0.18±0.098	0.09±0.073
18:3n-6	0.08±0.045	0.11±0.169	0.06±0.041	0.30±0.262	0.42±0.238	0.09±0.097	0.13±0.046
18:3n-4	0.09±0.031	0.07±0.052	0.07±0.049	0.08±0.058	0.08±0.060	0.09±0.068	0.12±0.067
19:1	0.09±0.087	0.06±0.049	0.04±0.041	0.06±0.062	0.06±0.069	0.04±0.071	0.06±0.047
18:3n-3	3.39±0.452	2.38±0.212	1.61±0.172	3.72±0.276	2.40±0.269	1.34±0.277	1.39±0.219
18:4n-3	0.36±0.108	0.34±0.057	0.34±0.064	0.57±0.095	0.54±0.117	0.47±0.157	1.28±0.224
20:0	0.56±0.110	0.50±0.063	0.44±0.055	0.48±0.079	0.43±0.087	0.41±0.090	0.35±0.072
20:1n-11	0.31±0.202	0.29±0.160	0.24±0.119	0.19±0.153	0.21±0.131	0.23±0.158	0.53±0.160
20:1n-9	2.58±0.216	2.24±0.082	1.97±0.076	3.24±0.150	2.95±0.187	2.72±0.207	6.59±0.247
20:1n-7	0.00±0.000	0.00±0.000	0.00±0.000	0.00±0.000	0.00±0.000	0.00±0.000	0.00±0.000
20:2n-6	1.72±0.340	1.43±0.211	1.31±0.196	1.32±0.203	1.28±0.216	1.19±0.309	0.88±0.172
20:3n-6	0.48±0.111	0.47±0.077	0.44±0.068	0.59±0.112	0.58±0.101	0.58±0.118	0.43±0.069
20:4n-6	0.26±0.090	0.26±0.078	0.26±0.062	0.33±0.050	0.31±0.050	0.30±0.064	0.59±0.037
20:3n-3	0.11±0.046	0.11±0.029	0.12±0.038	0.19±0.034	0.18±0.050	0.17±0.061	0.24±0.042
20:4n-3	0.22±0.055	0.23±0.021	0.24±0.052	0.37±0.077	0.26±0.260	0.33±0.098	0.08±0.074
20:5n-3	1.53±0.269	1.59±0.127	1.65±0.160	2.57±0.196	2.45±0.240	2.21±0.306	5.72±0.382
22:1n-11	1.26±0.055	1.27±0.076	1.31±0.057	2.39±0.072	2.40±0.059	2.37±0.065	9.50±0.067
22:1n-9	0.52±0.101	0.52±0.082	0.31±0.053	0.58±0.098	0.39±0.104	0.27±0.107	0.75±0.241
21:5n-3	0.08±0.069	0.14±0.125	0.08±0.048	0.07±0.095	0.06±0.021	0.07±0.085	0.11±0.145
22:5n-3	0.59±0.133	0.66±0.149	0.60±0.042	1.08±0.283	1.18±0.256	0.78±0.097	1.22±0.160
24:0	0.29±0.188	0.26±0.115	0.23±0.082	0.20±0.148	0.20±0.151	0.25±0.146	0.15±0.029
22:6n-3	2.38±0.224	2.46±0.083	2.48±0.164	3.43±0.171	3.34±0.188	3.06±0.248	6.89±0.357
24:1n-9	0.36±0.134	0.38±0.131	0.33±0.048	0.54±0.084	0.47±0.069	0.41±0.117	0.83±0.096
SFA	19.51±0.438	28.90±0.263	35.52±0.351	18.44±0.330	27.07±0.487	36.73±0.492	28.31±0.529
MUFA	54.16±0.568	47.68±0.262	43.58±0.207	52.03±0.494	47.28±0.463	42.58±0.379	45.25±0.394
n-3	8.86±0.568	8.09±0.275	7.30±0.295	12.25±0.482	10.61±0.552	8.63±0.517	17.41±0.612
n-3 LC PUFA	4.92±0.323	5.19±0.168	5.16±0.241	7.71±0.383	7.47±0.474	6.61±0.407	14.25±0.523
n-6	16.24±0.548	14.24±0.297	12.61±0.281	16.32±0.410	14.00±0.445	10.95±0.432	7.62±0.283
EPA+DHA	3.92±0.350	4.05±0.150	4.12±0.227	6.00±0.259	5.79±0.305	5.27±0.393	12.61±0.522
SFA/MUFA	0.37±0.046	0.63±0.031	0.85±0.057	0.37±0.034	0.61±0.041	0.91±0.073	0.67±0.070
n-3/n-6	0.56±0.095	0.59±0.050	0.60±0.058	0.79±0.101	0.81±0.116	0.83±0.097	2.45±0.158
18:1n-9/n-3 LC HUFA	9.08±0.436	7.62±0.195	7.05±0.263	5.27±0.295	5.00±0.398	4.98±0.385	1.26±0.157
SFA/n-3 HUFA	3.96±0.364	5.57±0.196	6.88±0.327	2.39±0.228	3.62±0.387	5.55±0.448	1.99±0.253

2.5 Προσδιορισμός πρωτεΐνης φιλέτου

Ο προσδιορισμός της πρωτεΐνης του φιλέτου πραγματοποιήθηκε μέσω του προσδιορισμού του αζώτου, με την εφαρμογή της μεθόδου Kjeldahl. Σε σωλήνες υδρόλυσης (Buchi, 300mL) τοποθετήθηκαν 1.1 ± 0.01 g λυοφιλιωμένου δείγματος, 6.5g θειικό κάλιο (K_2SO_4), το οποίο ανεβάζει το σημείο ζέσεως και 0.4g ένυδρου θειικού χαλκού ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), που αποτελεί τον καταλύτη της αντίδρασης. Τέλος στον σωλήνα προστέθηκαν 15mL πυκνού θειικού οξέως (H_2SO_4).

Οι σωλήνες τοποθετήθηκαν σε συσκευή πέψης (Buchi 430 Digestor). Η ολοκλήρωση της αντίδρασης σηματοδοτείται από την αλλαγή χρώματος του δείγματος σε διαυγές πράσινο. Σε αυτό το σημείο, το άζωτο του δείγματος έχει αναχθεί σε αμμωνία και έχει δεσμευθεί από το H_2SO_4 προς θειικό αμμώνιο (NH_4SO_2).

Οι σωλήνες ακολούθως μεταφέρονται σε συσκευή απόσταξης (Buchi B-324, Distillation Unit). Κατά τη διαδικασία της απόσταξης, στο σωλήνα προστίθενται 50mL αποσταγμένου νερού και 70mL καυστικού νατρίου ($NaOH$, 32%), το οποίο μετατρέπει το άλας του αμμωνίου σε αμμωνία. Η αμμωνία που συμπυκνώνεται μετά την απόσταξη, ενσταλάσσεται σε κωνική φιάλη που περιέχει 120mL βορικού οξέως (H_3BO_3 , 2%), το οποίο δεσμεύει την αμμωνία προς σχηματισμό βορικού αμμωνίου.

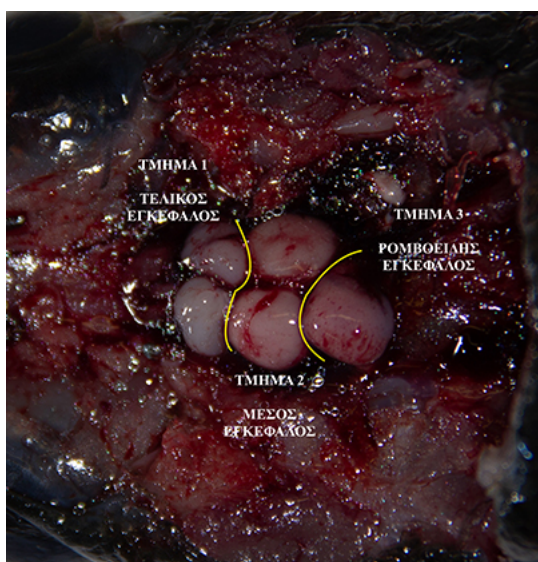
Τη διαδικασία της απόσταξης ακολουθεί η τιτλοδότηση με διάλυμα υδροχλωρικού οξέως (HCl , 0.1N). Σε αυτό το στάδιο, το βορικό αμμώνιο διασπάται και η αμμωνία δεσμεύεται από το Cl , ενώ σχηματίζεται και βορικό οξύ. Στη φιάλη είχαν προστεθεί προηγουμένως σταγόνες κυανού της βρωμοκρεζόλης, που αποτελεί δείκτη για την ολοκλήρωση της αντίδρασης.

Από το ποσοστό της ολικού αζώτου στο δείγμα, προκύπτει με αναγωγή, το ποσοστό των πρωτεϊνών στο δείγμα (βλ. 2.10 Υπολογισμοί και Στατιστική Επεξεργασία)

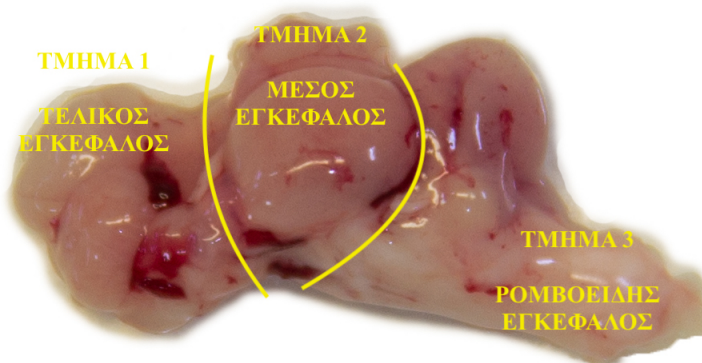
2.6 Προσδιορισμός επιπέδων νευροδιαβιβαστών εγκεφάλου

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των νευροδιαβιβαστών στα διάφορα τμήματα του εγκεφάλου των ψαριών πραγματοποιήθηκε με χρήση διάταξης υγρής χρωματογραφίας υψηλής ακρίβειας (HPLC) με ηλεκτροχημικό ανιχνευτή (ECD).

Από τους εγκεφάλους των ψαριών που θυσιάστηκαν, απομονώθηκαν ο τελικός εγκέφαλος (Τμήμα 1), ο μέσος εγκέφαλος (Τμήμα 2) και ο ρομβοειδής εγκέφαλος (Τμήμα 3) (Εικόνες 21 και 22).



Εικόνα 21: Κάτοψη τμημάτων εγκεφάλου του Ευρωπαϊκού λαβρακιού



Εικόνα 22: Πλάγια όψη τμημάτων εγκεφάλου του Ευρωπαϊκού λαβρακιού

Τα τμήματα αυτά ζυγίστηκαν και αποθηκεύτηκαν σε -80°C . Προκειμένου να προσδιοριστούν οι συγκεντρώσεις των νευροδιαβιβαστών, ομογενοποιήθηκαν και αποπρωτεϊνώθηκαν σε 500 μL HClO_4 0.2 N, το οποίο περιείχε 7.9 mM $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ και 1.3 mM Na_2EDTA . Ακολούθως, τα δείγματα φυγοκεντρίστηκαν σε 15000 rpm για 45 λεπτά στους 4°C , το υπερκείμενο υγρό συλλέχθηκε και αποθηκεύτηκε στους -80°C μέχρι την ανάλυσή του.

Η ανάλυση των δειγμάτων έγινε με σύστημα Υγρής Χρωματογραφίας Υψηλής Απόδοσης με Ηλεκτροχημικό Ανιχνευτή (HPLC-ED), το οποίο αποτελούνταν από αντλία LKB2248 (Pharmacia, Sweden) και έναν ηλεκτροχημικό ανιχνευτή BAS LC4 B (Bioanalytical Systems, USA). Το ηλεκτρόδιο εργασίας είχε ρυθμιστεί στα +0.8mV. Η τεχνική της χρωματογραφίας ζεύγους ιόντων αντίστροφης φάσης χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της νοραδρεναλίνης (NA), της ντοπαμίνης (DA), των μεταβολιτών της δι-υδροξυφαινυλακετικού οξέος (DOPAC) και ομοβανιλλικό οξύ (HVA), της σεροτονίνης (5-HT) και του μεταβολίτη της 5-υδροξυ-3-ινδολοξικό οξύ (5-HIAA). Η κινητή φάση αποτελούνταν από ένα

φωσφορικό ρυθμιστικό διάλυμα (pH 3.0), που περιείχε οκτυλοθειικό νάτριο, ως παράγοντα ζεύξης των ιόντων, σε συγκέντρωση 300mg/l και Na₂EDTA σε συγκέντρωση 20 mg/l. Η συμμετοχή του ακετονιτριλίου ήταν 6-9%. Τα πρότυπα διαλύματα αναφοράς προετοιμάστηκαν σε διάλυμα HClO₄ 0.2 N, το οποίο περιείχε 7.9 mM Na₂S₂O₅ και 1.3 mM Na₂EDTA. Η ευαισθησία της ανάλυσης ελέγχθηκε με χρήση εξωτερικών προτύπων. Η στήλη που χρησιμοποιήθηκε ήταν Aquasil C18, 150 mm X 2.1 mm, 5 μm μέγεθος σωματιδίων (Thermo Electron, UK). Τα δείγματα ποσοτικοποιήθηκαν μέσω σύγκρισης του εμβαδού κάτω από την καμπύλη (area under the curve, AUC) με πρότυπα αναφοράς. Η επεξεργασία έγινε σε H/Y με το λογισμικό Clarity (Data-Apex, Czech Republic). Τέλος, εκτιμήθηκαν οι σεροτονινεργική και ντοπαμινεργική δραστηριότητα, οι οποίες υπολογίστηκαν μέσω του ρυθμού ανακύκλισης της 5-HT (5-HIAA/5-HT) και της DA (HVA/DA και DOPAC/DA) (Bessinis et al., 2013; Kokras et al., 2018)

2.7 Προσδιορισμός αιματολογικών παραμέτρων

Το αίμα λήφθηκε από όλα τα άτομα των δεξαμενών κάθε χειρισμού. Για τη μέτρηση της γλυκόζης και της χοληστερόλης στο αίμα των ψαριών χρησιμοποιήθηκαν εμπορικά κιτ φωτομετρικής ανάλυσης (Biosis). Το διάλυμα εργασίας (ρυθμιστικό διάλυμα και φιαλίδιο ενζύμων) μαζί με τα δείγματα πλάσματος του αίματος, το τυφλό δείγμα και τα πρότυπα διαλύματα γλυκόζης και χοληστερόλης μεταφέρθηκαν σε πλάκα 96 θέσεων. Ακολούθησε επώαση της πλάκας σε θερμοκρασία 37° C για 15 min, ανάδευση και φωτομέτρηση έναντι τυφλού σε φωτόμετρο, σε μήκος κύματος 540nm. Για την μέτρηση της αλβουμίνης ακολουθήθηκε ίδια διαδικασία, με επώαση για 5min και φωτομέτρηση στα 630nm.

Για τη μέτρηση των τριγλυκεριδίων χρησιμοποιήθηκε κιτ φωτομετρικής ανάλυσης (Biosis). Σε σχέση με τις προηγούμενες αναλύσεις υπήρξε διαφορά στην επώαση της πλάκας (37°C για 5min) και προσθήκη σταθεροποιητικού διαλύματος.

Για τη μέτρηση της δραστηριότητας της αλκαλικής φωσφατάσης, χρησιμοποιήθηκε κιτ φωτομετρικής ανάλυσης (Biosis). Το διάλυμα εργασίας επώαστηκε στους 37° C για 3 min, ακολούθως προστέθηκε το δείγμα, πραγματοποιήθηκε ανάδευση και μέτρηση της απορρόφησης σε 405nm.

Για τη μέτρηση της δραστηριότητας της γαλακτικής αφυδρογονάσης (LDH), της ασπαρτικής αμινοτρασφοράσης (GOT) και της αμινοτρασφοράσης της αλανίνης (GPT), χρησιμοποιήθηκαν κιτ φωτομετρικής ανάλυσης (Biosis). Το διάλυμα εργασίας επώαστηκε στους 37° C για 3 min, ακολούθως προστέθηκε το δείγμα, πραγματοποιήθηκε ανάδευση και μέτρηση της απορρόφησης σε 340nm.

Η ωσμωμοριακότητα μετρήθηκε σε κρυσκοπικό ωσμόμετρο Osmomat 010 (Gonotec).

Ο προσδιορισμός της κορτιζόλης έγινε με ραδιοανοσοπροσδιορισμό (RIA), με χρήση εμπορικού κιτ, που έχει επικυρωθεί για μέτρηση στο αίμα ψαριών (Ainsworth et al., 1985).

Αμέσως μετά από κάθε αιμοληψία πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός του αιματοκρίτη. Το αίμα από την κάθε σύριγγα μεταγγίστηκε σε σωληνάρια erpendorf με ηπαρίνη. Σε κάθε erpendorf τοποθετήθηκε ηπαρινισμένος τριχοειδής σωλήνας, η μία άκρη του οποίου σφραγίστηκε με πλαστελίνη. Ακολούθως, τα τριχοειδή τοποθετήθηκαν σε φυγόκεντρο, στα 12.000rpm για 5min με αποτέλεσμα το διαχωρισμό του πλάσματος από τα έμμορφα συστατικά του αίματος. Μετά τη φυγοκέντριση το κάθε τριχοειδές τοποθετήθηκε σε ειδική πλάκα ανάγνωσης σύμφωνα με την οποία ερμηνεύτηκαν τα αποτελέσματα του αιματοκρίτη του αίματος των ψαριών.

2.8 Προσδιορισμός φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού εκτροφής

Η αλατότητα του νερού εκτροφής προσδιορίστηκε με διαθλασίμετρο το οποίο είχε προηγουμένως βαθμονομηθεί με αποσταγμένο νερό, βάσει του οποίου προκύπτει η τιμή 0‰.

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου (mg/L) και του κορεσμού του νερού εκτροφής σε αυτό χρησιμοποιήθηκε φορητή συσκευή με ηλεκτρόδιο (Oxyguard, Denmark), το οποίο είχε βαθμονομηθεί με βάση την αλατότητα του νερού του κυκλώματος.

Η θερμοκρασία μετρήθηκε με αισθητήρα που υπήρχε στο ηλεκτρόδιο αναφοράς του οξυγονόμετρου.

Το pH προσδιορίστηκε με φορητή συσκευή (Oxyguard, Denmark), η οποία είχε προηγουμένως βαθμονομηθεί με δύο ρυθμιστικά διαλύματα με pH 7 και 4, σε θερμοκρασία δωματίου. Για τη μέτρηση του pH στο νερό εκτροφής λαμβάνονταν προηγουμένως η θερμοκρασία του νερού και ρυθμιζόταν ανάλογα το όργανο.

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι μετρήσεις (\pm τυπικό σφάλμα) των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού εκτροφής κατά τις διαφορετικές περιόδους εκτροφής. Οι τιμές ήταν εντός των προτεινόμενων ορίων για την εκτροφή του συγκεκριμένου είδους: pH: 6.5-9, O₂: ελάχιστο 70% κορεσμός του νερού σε O₂ και 5ppm, T: μέγιστη 33°C και μέγιστη ημερήσια μεταβολή 3°C (Παπουτσόγλου, 1997).

Πίνακας 5: Μετρήσεις (\pm τυπική απόκλιση) επιπέδων διαλυμένου Οξυγόνου (ppm), κορεσμού του νερού εκτροφής σε οξυγόνο (%), pH και θερμοκρασίας ($^{\circ}$ C)

	O ₂ (ppm)	O ₂ (κορεσμός %)	pH	T $^{\circ}$ C
Ημέρες 0-131	6.57 \pm 0.056	93.60 \pm 0.360	7.46 \pm 0.018	23.85 \pm 0.049
Ημέρες 131-251	6.90 \pm 0.035	94.08 \pm 0.314	7.52 \pm 0.027	20.14 \pm 0.095
Ημέρες 251-350	6.80 \pm 0.025	95.38 \pm 0.218	7.44 \pm 0.013	21.16 \pm 0.235

2.9 Προσδιορισμός Νιτρωδών Ιόντων και Ολικής Αμμωνίας

Εβδομαδιαία και 30min μετά το δεύτερο γεύμα, λαμβάνονταν δείγματα νερού από κάθε δεξαμενή. Τα δείγματα συλλέγονταν σε φιαλίδια χωρητικότητας των 100mL, μετά από διήθηση σε ηθμό και αναλύονταν με σκοπό τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των νιτρωδών ιόντων και της ολικής αμμωνίας του νερού.

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των νιτρωδών ιόντων χρησιμοποιήθηκε φωτομετρική μέθοδος που βασίζεται στην αντίδραση των νιτρωδών ιόντων με διαλύματα σουλφανιλαμίδης και NED, κατά την οποία σχηματίζεται σε pH 2.0-2.5 ερυθροϊώδες χρώμα (APHA, 1998). Το απαιτούμενο μήκος κύματος στο φασματοφωτόμετρο (Helios α , Thermo Electron Cooperation) ήταν 540nm.

Για τον προσδιορισμό της ολικής αμμωνίας χρησιμοποιήθηκε φωτομετρική μέθοδος που βασίζεται στην αντίδραση της αμμωνίας με φαινόλη και υποχλωριώδες διάλυμα, κατά την οποία σχηματίζεται μπλε χρώμα σε αλκαλικό περιβάλλον. Η ένταση χρώματος προσδιορίστηκε με τη χρήση νιτροπρωσσικού νατρίου. Χρησιμοποιήθηκε το ίδιο φασματοφωτόμετρο, σε μήκος κύματος 640nm.

Ο προσδιορισμός της μη ιονισμένης (τοξικής) αμμωνίας πραγματοποιήθηκε μέσω μαθηματικού τύπου (βλ. 2.10 Υπολογισμοί και Στατιστική Επεξεργασία).

Για το λαβράκι οι τιμές στις οποίες παρουσιάζεται θνησιμότητα του 50% του πληθυσμού (LC50) είναι για την ολική αμμωνία 40ppm (μη ιονισμένη 1.7ppm) (Lemarié et al., 2004). Για τα νιτρώδη συνιστάται η συγκέντρωσή τους να είναι <0.55ppm (Παπουτσόγλου, 1997). Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις (ppm \pm τυπικό σφάλμα) της ολικής αμμωνίας ((NH₄⁺+NH₃)-N), των νιτρωδών ιόντων (NO₂-N) και της τοξικής αμμωνίας (NH₃-N). Δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων.

Πίνακας 6: Επίπεδα (ppm \pm τυπικό σφάλμα) ολικής αμμωνίας, τοξικής αμμωνίας και νιτρωδών ιόντων, στο νερό εκτροφής

	X0.4	X0.6	X0.9	M0.4	M0.6	M0.9	M
(NH ₄ ⁺ +NH ₃)-N	0.282 \pm 0.0026	0.282 \pm 0.0027	0.286 \pm 0.0029	0.283 \pm 0.0032	0.285 \pm 0.0031	0.287 \pm 0.0031	0.287 \pm 0.0026
NH ₃ -N	0.003 \pm 0.0001	0.003 \pm 0.0002	0.003 \pm 0.0001	0.003 \pm 0.0002	0.003 \pm 0.0002	0.003 \pm 0.0001	0.003 \pm 0.0001

NO ₂ -N	0.044±0.0024	0.043±0.0022	0.044±0.0021	0.044±0.0024	0.043±0.0020	0.045±0.0026	0.045±0.0020
<i>(NH₄⁺+NH₃)-N ολική αμμωνία, NH₃-N τοξική αμμωνία (μη ιονισμένη μορφή), NO₂-N νιτρώδη ιόντα</i>							

2.10 Υπολογισμοί και Στατιστική Επεξεργασία

Για τον προσδιορισμό του Συντελεστή Εκμετάλλευσης της Τροφής (FCR) χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$FCR = \frac{\text{Κατανάλωση τροφής (g)}}{\text{Αύξηση νωπού βάρους (g)}}$$

Για τον προσδιορισμό της Αποτελεσματικότητας της Τροφής (FE) χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$FE (\%) = \frac{\text{Αύξηση νωπού βάρους (g)}}{\text{Κατανάλωση τροφής (g)}} \times 100$$

Για τον προσδιορισμό του Ειδικού Ρυθμού ανάπτυξης χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$SGR (\%/ημέρα) = \frac{\ln(\text{τελικό βάρος}) - \ln(\text{αρχικό βάρος})}{\text{πλήθος ημερών}} \times 100$$

Για τον προσδιορισμό του Συντελεστή Ευρωστίας (CF) κατά Fulton χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$CF (\%) = \frac{\text{Βάρος (g)}}{\text{Σταθερό Μήκος Σώματος}^3} \times 100$$

Για τον προσδιορισμό του Ηπατοσωματικού Δείκτη (HSI) χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$HSI (\%) = \frac{\text{Βάρος Ήπατος (g)}}{\text{Βάρος Σώματος}} \times 100$$

Για τον προσδιορισμό του Σπλαγνοσωματικού Δείκτη (VSI) χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$VSI(\%) = \frac{\text{Βάρος Σπλάχνων (g)}}{\text{Βάρος Σώματος}} \times 100$$

Για τον προσδιορισμό της Ημερήσιας Αύξησης Βάρους (Daily Growth Index) χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$DGI (\% \text{ αύξηση βάρους/ημέρα}) = \frac{\text{Τελικό Βάρος (g)}^{1/3} - \text{Αρχικό Βάρος (g)}^{1/3}}{\text{Πλήθος Ημερών}} \times 100$$

Για τον προσδιορισμό του Συντελεστή Θερμικής Ανάπτυξης (Thermal Growth Coefficient) χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$TGC = \frac{\text{Τελικό Βάρος (g)}^{1/3} - \text{Αρχικό Βάρος (g)}^{1/3}}{\text{Θερμοκρασία} \times \text{Πλήθος Ημερών}} \times 1000$$

Για τον προσδιορισμό του Συντελεστή Λιπιδικής Αποδοτικότητας (Lipid Efficiency Ratio) χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$LER = \frac{\text{Τελικό Σωματικό Βάρος (g)} - \text{Αρχικό Σωματικό Βάρος (g)}}{\text{Βάρος λίπους που χορηγήθηκε με την τροφή (g)}}$$

Η τοξική αμμωνία υπολογίστηκε με βάση τον τύπο:

$$\% \text{ Μη Ιονισμένη Αμμωνία} = \frac{100}{1 + 10^{pK_a(T) - pH}}$$

όπου:

$$pK_a(T) = pK_a(298^\circ K) + 0.0324 \times (298 - T^\circ K)$$

T: η θερμοκρασία σε °K

$$pK_a(298^\circ K) = 9.35$$

Ακολούθησε αναγωγή στην ποσότητα ολικής αμμωνίας.

Ο ρυθμός ανακύκλωσης της σεροτονίνης 5-HT υπολογίστηκε με βάση τον τύπο:

$$\text{Ρυθμός ανακύκλωσης 5-HT} = \frac{[5 - HIAA]}{[5 - HT]}$$

όπου:

[5-HIAA]: η συγκέντρωση του 5-ύδροξυ-ινδολοξικού οξέως

[5-HT]: η συγκέντρωση της σεροτονίνης

Ο ρυθμός ανακύκλωσης της ντοπαμίνης (DA) υπολογίστηκε με βάση τους τύπους:

$$\text{Ρυθμός ανακύκλωσης DA} = \frac{[DOPAC]}{[DA]} \text{ και } \frac{[HVA]}{[DA]}$$

όπου:

[DOPAC]: η συγκέντρωση του δι-ύδροξυ-φαινυλακετικού οξέως

[HVA]: η συγκέντρωση του ομοβανιλλικού οξέως

[DA]: η συγκέντρωση της ντοπαμίνης

Το ολικό άζωτο υπολογίστηκε ως εξής:

$$\text{Ολικό Άζωτο (\%)} = \frac{N_{\text{HCl}} \times a \times 1400}{\beta}$$

όπου:

N_{HCl} : η κανονικότητα του διαλύματος HCl (0.1)

a: ο όγκος σε mL του διαλύματος HCl που χρησιμοποιήθηκαν κατά την τιτλοδότηση

β : η μάζα του δείγματος σε mg

Ο προσδιορισμός του ποσοστού πρωτεΐνης του δείγματος πραγματοποιείται μέσω της σχέσης:

$$\text{Πρωτεΐνη (\%)} = \text{Ολικό Άζωτο (\%)} \times 6.25$$

όπου, 6.25 ο συντελεστής διόρθωσης, ο οποίος προκύπτει από την περιεκτικότητα της πρωτεΐνης σε άζωτο (1g πρωτεΐνης περιέχει 0.16g άζωτο).

Για τον τελικό υπολογισμό της δραστηριότητας των GOT και GPT χρησιμοποιήθηκαν οι τύποι:

$$LDH (IU/L)_{37^{\circ}C} = \Delta A / \text{min} \times 8095$$

$$GOT (IU/L)_{37^{\circ}C} = \Delta A / \text{min} \times 1746$$

$$GPT (IU/L)_{37^{\circ}C} = \Delta A / \text{min} \times 1746$$

Για τον τελικό υπολογισμό των τιμών της γλυκόζης χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$\text{Γλυκόζη (mg/dl)} = A_{\Delta} / A_{S} \times 100$$

Για τον τελικό υπολογισμό των τιμών της χοληστερόλης χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$\text{Χοληστερόλη (mg/dl)} = A_{\Delta}/A_S \times 200$$

Για τον τελικό υπολογισμό των τιμών της αλβουμίνης χρησιμοποιήθηκε ο τύπος (η τιμή-πρότυπο αναγράφεται στο φιαλίδιο):

$$\text{Αλβουμίνη (g/dl)} = A_{\Delta}/A_S \times \text{τιμή προτύπου}$$

Για τον τελικό υπολογισμό των τριγλυκεριδίων χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$\text{Τριγλυκερίδια (mg/dl)} = A_{\Delta}/A_S \times 200$$

Για τον τελικό υπολογισμό της δραστικότητας της αλκαλικής φωσφατάσης χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$\text{Αλκαλική Φωσφατάση (IU/L)}_{37^{\circ} \text{C}} = \Delta A/\text{min} \times 2759$$

Η κανονικότητα των κατανομών διαπιστώθηκε με τη δοκιμή των Shapiro-Wilk, ενώ η ομοιογένεια των διακυμάνσεων με τις δοκιμές των Levene και Bartlett. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επαναλήψεων κάθε χειρισμού, συνεπώς τα δεδομένα ομογενοποιήθηκαν για τη στατιστική ανάλυση. Οι κύριες επιδράσεις και η αλληλεπίδραση των επιπέδων n-3 LC PUFA και των λόγων SFA/MUFA διερευνήθηκαν με αμφίπλευρη ανάλυση διακύμανσης (Two-Way ANOVA). Η ύπαρξη στατιστικά σημαντικών επιδράσεων ή αλληλεπιδράσεων διερευνήθηκε *post hoc* με ζευγαρωτές συγκρίσεις, διορθωμένες κατά Bonferroni. Πραγματοποιήθηκε επίσης μονόπλευρη ανάλυση διακύμανσης (One-way ANOVA), όπου η παράμετρος σταθερής επίδρασης (Fixed Effect) ήταν οι διαφορετικές πειραματικές τροφές. Η σύγκριση των μέσων όρων πραγματοποιήθηκε με τη δοκιμή Duncan.

Για τις αιματολογικές παραμέτρους, η διάρκεια της δειγματοληψίας χρησιμοποιήθηκε ως συμμεταβλητή, για να εξαλειφθούν οποιεσδήποτε διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων, που μπορεί να ανακύψουν κατά τη διαδικασία. Η συγκέντρωση, του O₂ νερού εκτροφής, της ολικής αμμωνίας, της τοξικής αμμωνίας και των νιτρωδών ιόντων καθώς και οι τιμές του pH του νερού εκτροφής αναλύθηκαν με βάση ένα Γενικό Γραμμικό Μοντέλο (General Linear Model, GLM), ειδικά προσαρμοσμένο για επαναλαμβανόμενες μετρήσεις (repeated measures) ανά δείγμα.

Χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson, για να διερευνηθούν οι συσχετίσεις μεταξύ των παραγόντων που αναλύθηκαν.

Το παρακάτω μοντέλο χρησιμοποιήθηκε, για να περιγραφούν οι επιδράσεις των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA (X) και SFA/n-3 LC PUFA (Z) στις συγκεντρώσεις των DA, DOPAC, 5-HT, 5-HIAA, και στη ντοπαμινεργική (DOPAC/DA) και σεροτονινεργική δραστηριότητα

(5-ΗΙΑΑ/5-ΗΤ) κάθε τμήματος του εγκεφάλου (Y): $Y = a + b_1X + b_2X^2 + b_3Z + b_4Z^2 + b_5XZ$. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης, ώστε να υπολογιστούν οι παράμετροι του μοντέλου. Για τη δοκιμασία της σημαντικότητας των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA).

Όλες οι στατιστικές αναλύσεις και η ανάλυση ισχύος πραγματοποιήθηκαν με SPSS 22. Οι διαφορές θεωρήθηκαν στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο $\alpha = 0.05$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Παράμετροι ανάπτυξης

3.1.1 Μέσο Σωματικό Βάρος

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζεται το μέσο βάρος (\pm τυπικό σφάλμα του μέσου) των πειραματικών επεμβάσεων, κατά την εξέλιξη της πειραματικής εκτροφής.

Πίνακας 7: Μέσο βάρος (g) (\pm τυπικό σφάλμα) ψαριών σε κάθε διατροφική επέμβαση στη διάρκεια της πειραματικής εκτροφής (E: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA).

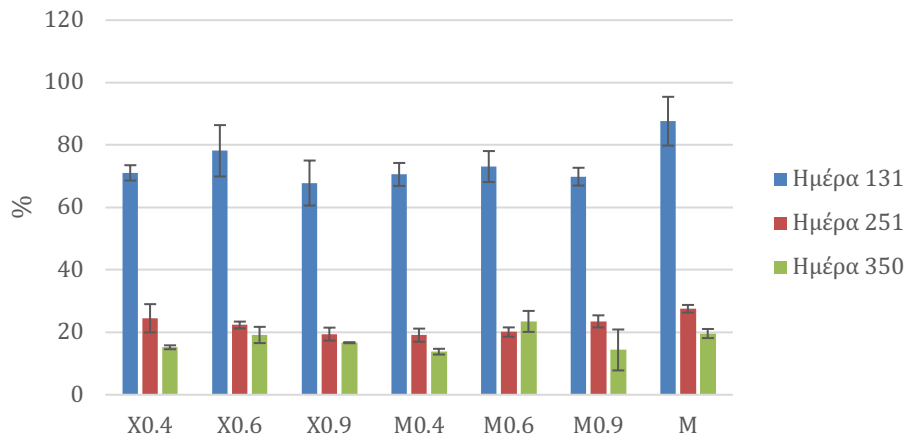
One Way ANOVA									Two Way ANOVA		
	X0.4	X0.6	X0.9	M0.4	M0.6	M0.9	M	p	E	Λ	ΕxΛ
Ημέρα 0	154.1 \pm 6.59	151.7 \pm 6.06	151.9 \pm 5.89	153.2 \pm 5.85	155.4 \pm 5.64	156.3 \pm 6.02	157.6 \pm 6.09	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ημέρα 33	187.3 \pm 8.01	185.3 \pm 8.46	185.8 \pm 8.87	190.7 \pm 7.95	196.0 \pm 6.80	193.6 \pm 7.78	205.4 \pm 7.21	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ημέρα 68	232.6 \pm 10.69	238.1 \pm 9.77	233.9 \pm 9.45	234.0 \pm 10.20	232.1 \pm 9.80	238.5 \pm 10.28	249.9 \pm 10.01	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ημέρα 103	251.0 \pm 10.14	255.9 \pm 9.66	247.9 \pm 8.64	248.1 \pm 9.93	255.7 \pm 9.32	254.4 \pm 9.86	278.8 \pm 9.63	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ημέρα 131	264.3 \pm 9.97	268.7 \pm 10.28	255.8 \pm 8.33	261.0 \pm 10.16	267.6 \pm 9.19	267.2 \pm 10.40	293.1 \pm 9.58	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ημέρα 131 [†]	246.7 \pm 8.97	256.0 \pm 12.17	246.9 \pm 9.74	248.4 \pm 11.03	254.9 \pm 10.73	257.5 \pm 11.82	281.0 \pm 10.11	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ημέρα 152	261.3 \pm 8.75	266.7 \pm 11.77	259.8 \pm 10.01	257.7 \pm 10.61	265.5 \pm 10.72	272.0 \pm 10.59	294.6 \pm 9.88	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ημέρα 188	269.7 \pm 9.15 ^a	264.8 \pm 9.89 ^a	259.6 \pm 10.61 ^a	262.4 \pm 10.80 ^a	270.8 \pm 11.03 ^a	278.4 \pm 10.35 ^a	308.7 \pm 9.81 ^b	*	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ημέρα 222	286.1 \pm 10.92 ^a	291.3 \pm 13.30 ^a	271.0 \pm 10.89 ^a	276.6 \pm 11.80 ^a	282.6 \pm 10.93 ^a	298.7 \pm 11.55 ^a	336.6 \pm 11.92 ^b	**	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ημέρα 251	305.0 \pm 12.78 ^a	312.9 \pm 15.02 ^a	289.6 \pm 11.73 ^a	295.8 \pm 13.55 ^a	305.7 \pm 12.49 ^a	318.2 \pm 12.75 ^a	358.4 \pm 13.68 ^b	*	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ημέρα 251 [†]	277.6 \pm 12.29 ^a	267.5 \pm 11.11 ^a	248.6 \pm 10.77 ^a	272.7 \pm 12.15 ^a	264.7 \pm 9.64 ^a	279.1 \pm 11.02 ^a	329.5 \pm 12.23 ^b	***	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ημέρα 313	312.2 \pm 15.78 ^a	308.8 \pm 14.00 ^a	286.9 \pm 12.73 ^a	309.1 \pm 15.16 ^a	306.5 \pm 11.85 ^a	303.3 \pm 10.79 ^a	360.5 \pm 13.34 ^b	*	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ημέρα 313 [†]	281.7 \pm 16.18 ^a	279.7 \pm 15.05 ^a	253.8 \pm 8.53 ^a	278.8 \pm 15.25 ^a	286.2 \pm 10.06 ^a	286.4 \pm 12.18 ^a	333.1 \pm 14.15 ^b	**	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ημέρα 350	320.5 \pm 19.97 ^a	318.7 \pm 16.74 ^a	290.1 \pm 7.96 ^a	310.3 \pm 15.28 ^a	325.0 \pm 14.63 ^a	321.1 \pm 12.77 ^a	375.7 \pm 14.69 ^b	**	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ

Οι διαφορετικοί εκθέτες στις τιμές μίας σειράς υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (n=4, ***: P<0.001, **: P<0.01, *: P<0.05, ΜΣ: P>0.05)

[†] Το μέσο σωματικό βάρος των επεμβάσεων μετά τη δειγματοληψία

Η Ποσοστιαία Αύξηση του Μέσου Βάρους (MBWG %) (Γράφημα 3) δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των πειραματικών χειρισμών σε όλη της διάρκεια της εκτροφής.

Ποσοστιαία Αύξηση του Μέσου Βάρους (MBWG %)

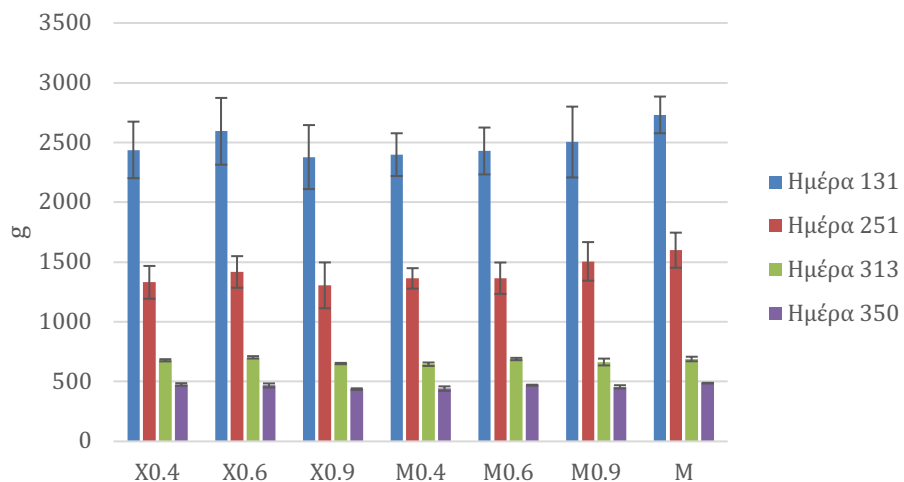


Γράφημα 3: Ποσοστιαία Αύξηση του Μέσου Βάρους στις διαφορετικές περιόδους εκτροφής

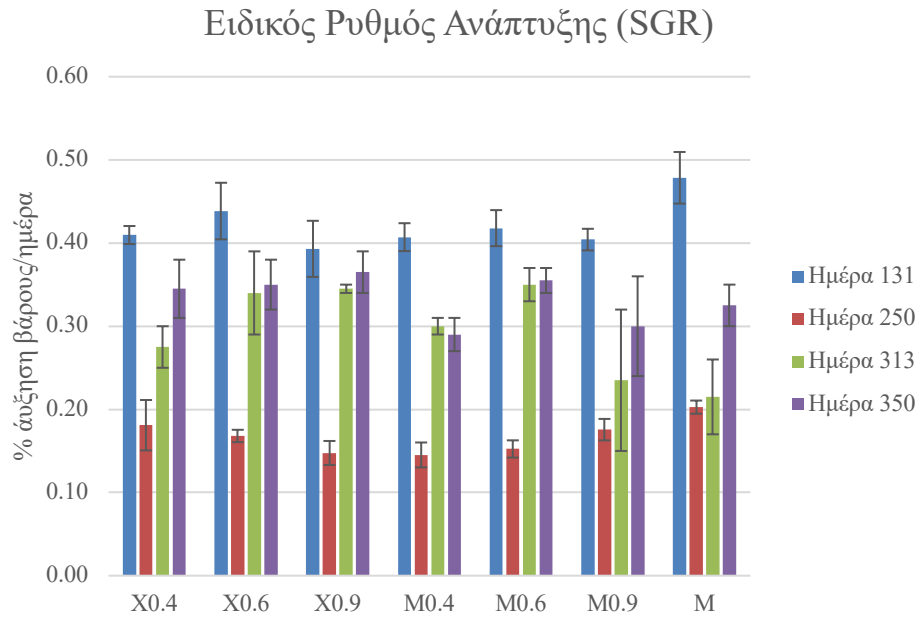
3.1.2 Ειδικός Ρυθμός Ανάπτυξης και Συντελεστής Εκμετάλλευσης της Τροφής

Η κατανάλωση της τροφής (Γράφημα 4), ο Ειδικός Ρυθμός Ανάπτυξης (SGR) (Γράφημα 5) και ο Συντελεστής Εκμετάλλευσης της Τροφής (FCR) (Γράφημα 6), δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των πειραματικών επεμβάσεων, σε όλες τις περιόδους εκτροφής.

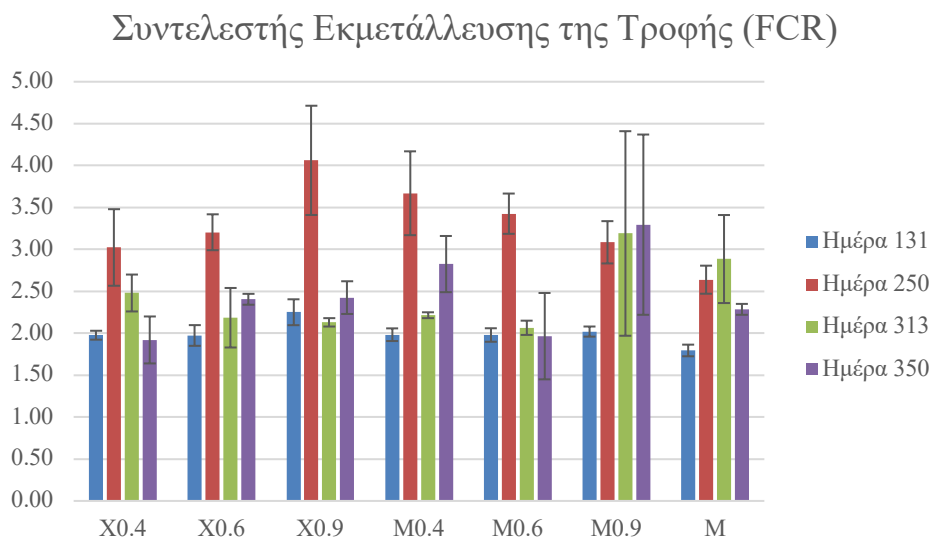
Κατανάλωση τροφής



Γράφημα 4: Κατανάλωση της τροφής ανά περίοδο εκτροφής



Γράφημα 5: Ειδικός Ρυθμός Ανάπτυξης ανά περίοδο εκτροφής

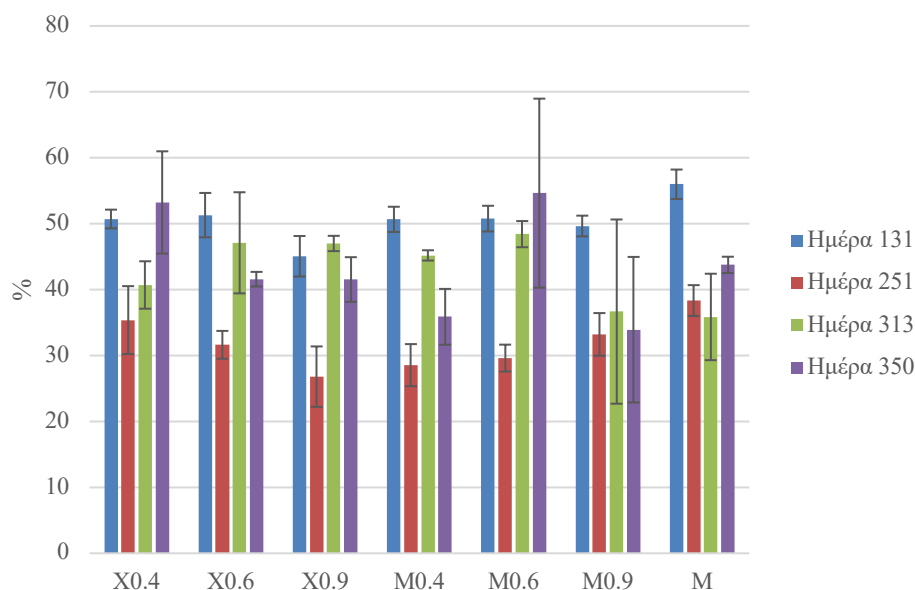


Γράφημα 6: Συντελεστής Εκμετάλλευσης της Τροφής ανά περίοδο εκτροφής

3.1.3 Αποτελεσματικότητα της τροφής και ημερήσια αύξηση βάρους

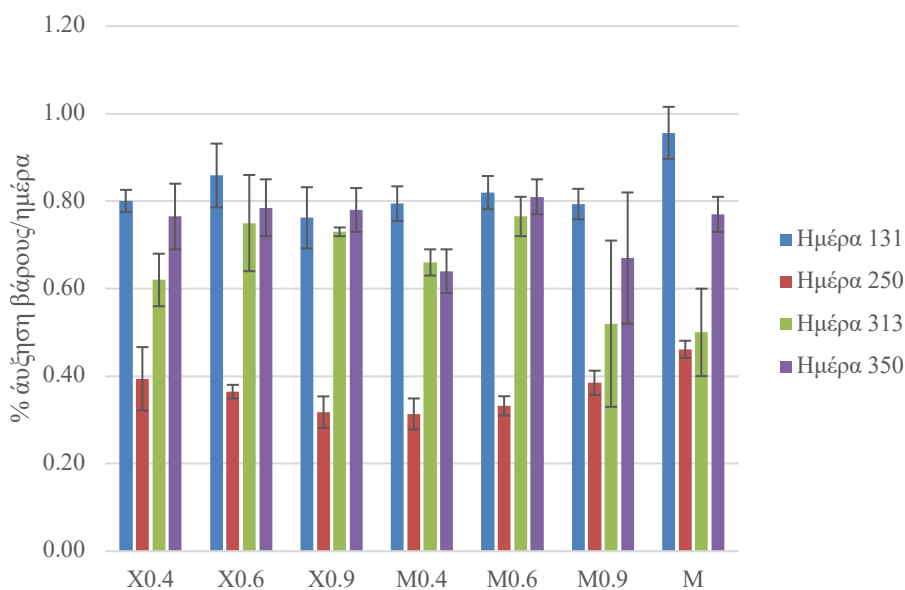
Η Αποτελεσματικότητα της Τροφής (FE) (Γράφημα 7) καθώς και η Ημερήσια Αύξηση Βάρους (DGI) (Γράφημα 8) δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των πειραματικών χειρισμών.

Αποτελεσματικότητα της Τροφής



Γράφημα 7: Αποτελεσματικότητα της Τροφής ανά περίοδο εκτροφής

Ημερήσια Αύξηση Βάρους

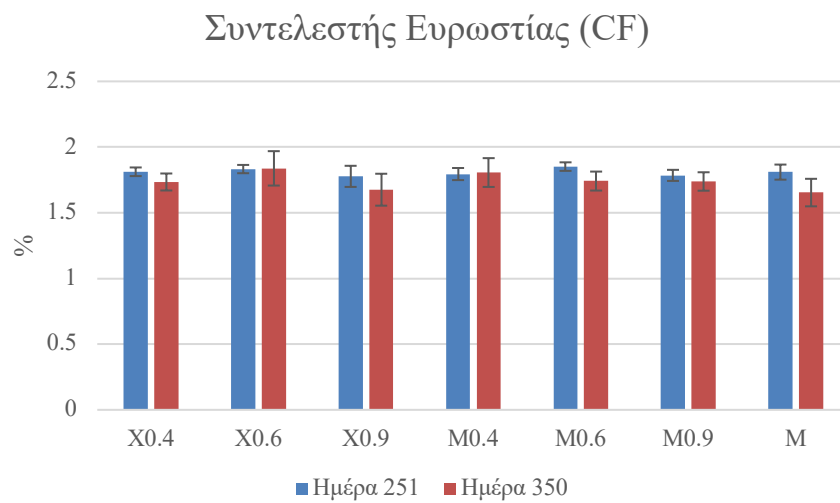


Γράφημα 8: Ημερήσια Αύξηση Βάρους ανά περίοδο εκτροφής.

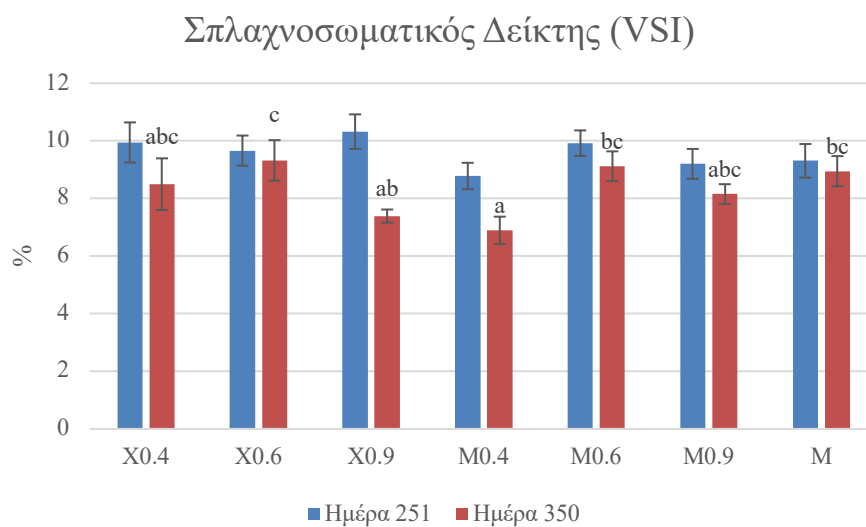
3.1.4 Συντελεστής Ευρωστίας, Σπλαγνοσωματικός και Ηπατοσωματικός Δείκτης

Ο Συντελεστής Ευρωστίας (CF) (Γράφημα 9) δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων σε κανένα χρονικό σημείο δειγματοληψίας. Την ημέρα 350, ο Σπλαγνοσωματικός Δείκτης (VSI) παρουσιάστηκε σημαντικά υψηλότερος στην επέμβαση X0.6 και χαμηλότερος στην επέμβαση M0.4 (Γράφημα 10). Την ίδια περίοδο οι επεμβάσεις

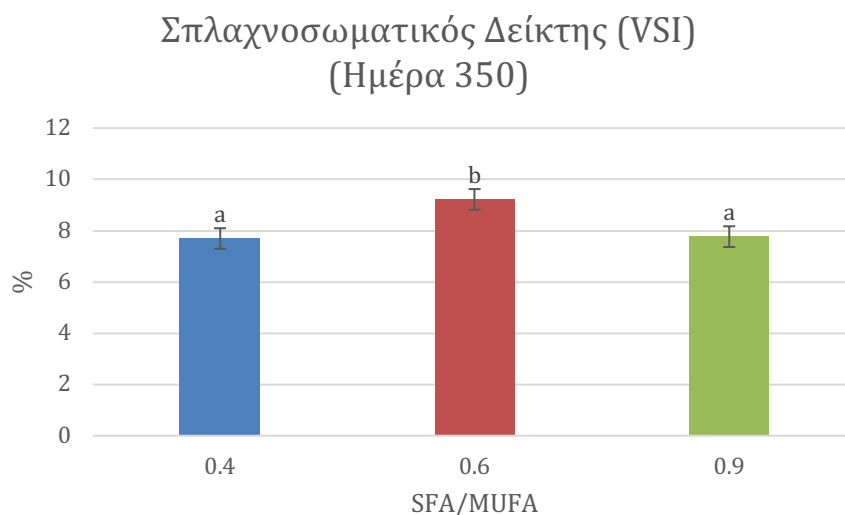
που είχαν προηγουμένως διατραφεί στο μέσο λόγο SFA/MUFA παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερες τιμές VSI (Γράφημα 11).



Γράφημα 9: Συντελεστής Ευρωστίας στις διαφορετικές περιόδους εκτροφής

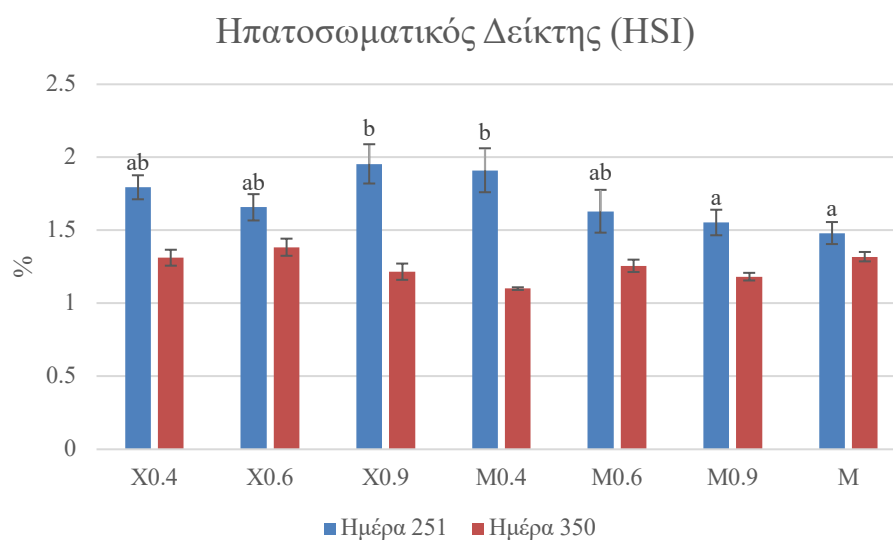


Γράφημα 10: Σπλαγνοσωματικός Δείκτης στις διαφορετικές περιόδους εκτροφής



Γράφημα 11: Επίδραση λόγου SFA/MUFA την ημέρα 350 στο Σπλαχνοσωματικό Δείκτη

Ο Ηπατοσωματικός Δείκτης την ημέρα 251 παρουσιάστηκε σημαντικά αυξημένος στις επεμβάσεις X0.9 και M0.4, ενώ σημαντικά ελαττωμένος στις M0.9 και το μάρτυρα (Γράφημα 12).

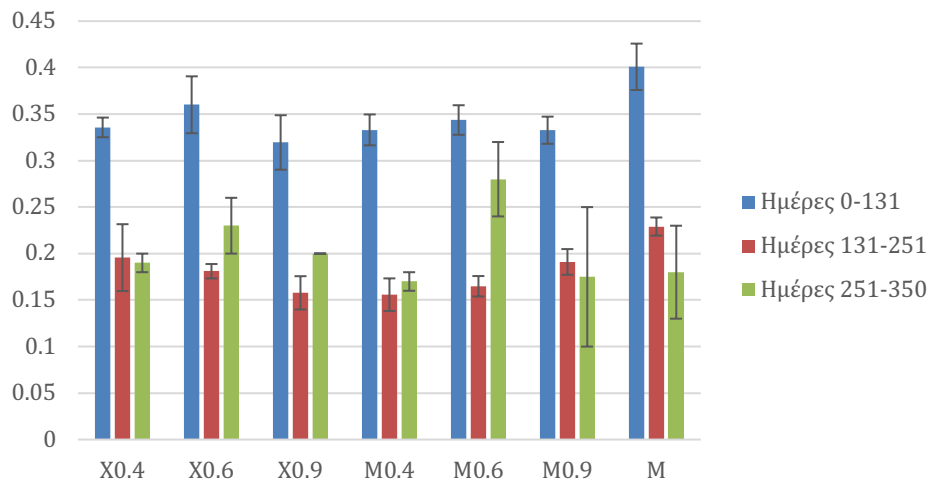


Γράφημα 12: Ηπατοσωματικός Δείκτης στις διαφορετικές περιόδους εκτροφής

3.1.5 Συντελεστής Θερμικής Ανάπτυξης

Οι τιμές του Συντελεστή Θερμικής Ανάπτυξης (TGC) (Γράφημα 13) δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε κανένα στάδιο της πειραματικής εκτροφής.

Συντελεστής Θερμικής Ανάπτυξης (TGC)

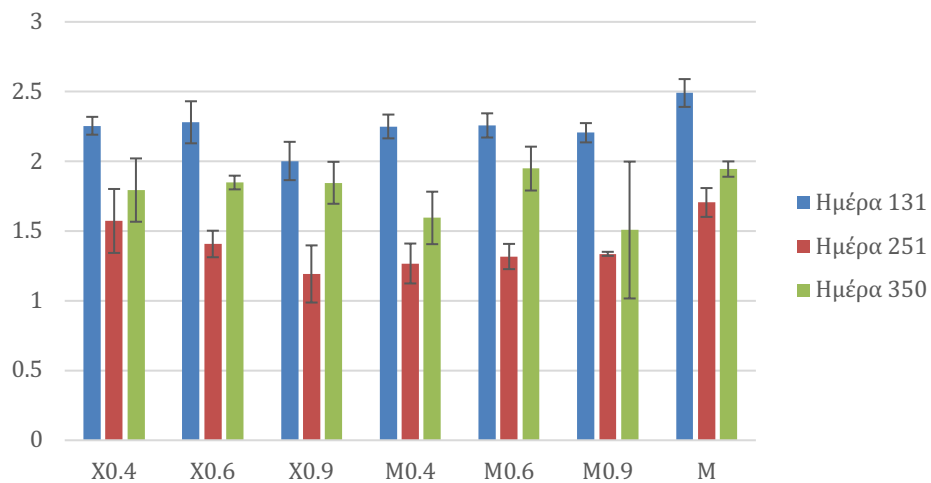


Γράφημα 13: Συντελεστής Θερμικής Ανάπτυξης στις διαφορετικές περιόδους εκτροφής

3.1.6 Συντελεστής Λιπιδικής Αποδοτικότητας

Οι τιμές του Συντελεστή Λιπιδικής Αποδοτικότητας (LER) (Γράφημα 14) δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε κανένα στάδιο της πειραματικής εκτροφής.

Συντελεστής Λιπιδικής Αποδοτικότητας (LER)



Γράφημα 14: Συντελεστής Λιπιδικής Αποδοτικότητας στις διαφορετικές περιόδους εκτροφής

3.2 Νευροδιαβιβαστές

3.2.1 Επίδραση των σιτηρεσίων

Την ημέρα 131 (Πίνακας 8), δεν παρατηρήθηκαν επιδράσεις της τροφής στις συγκεντρώσεις των νευροδιαβιβαστών του τελικού εγκεφάλου. Στον μέσο εγκέφαλο, οι επεμβάσεις L0.4, M0.6, M0.9 και M παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικά αυξημένη συγκέντρωση 5-HT (σεροτονίνη), σε σύγκριση με τις L0.6 και M0.4 ($F(6, 73)=3.300, p<0.01$). Παρατηρήθηκε επίσης μειωμένη σεροτονινεργική δραστηριότητα (5-HIAA/5-HT) στην επέμβαση M0.6, σε σύγκριση με τις L0.6, L0.9 και M0.4 ($F(6, 64)=2.595, p<0.05$). Στο ρομβοειδή εγκέφαλο, η συγκέντρωση NA (νοραδρεναλίνη) παρουσιάστηκε σημαντικά αυξημένη στην L0.4 σε σύγκριση με τις M0.6 και M, όπως επίσης στις L0.6 και L0.9 σε σύγκριση με το M ($F(6, 70)=2.519, p<0.05$). Η DA (ντοπαμίνη) παρουσιάστηκε επίσης σημαντικά αυξημένη στην M0.4 σε σύγκριση με τις L0.9, M0.9 και M ($F(6, 73)=2.36, p<0.05$).

Την ημέρα 251 (Πίνακας 9), στον τελικό εγκέφαλο, η συγκέντρωση DOPAC (δι-ύδροξυφαινυλακετικό οξύ) παρουσιάστηκε σημαντικά αυξημένη στην επέμβαση M0.4, σε σχέση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις ($F(6, 37)=2.825, p<0.05$). Στον μέσο εγκέφαλο δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στο ρομβοειδή εγκέφαλο, η σεροτονινεργική δραστηριότητα της M0.9 παρουσιάστηκε αυξημένη σε σύγκριση με τις X0.4, X0.6, X0.9, M0.4 και M, ενώ η M0.6 παρουσίασε αντίστοιχη εικόνα σε σχέση με την X0.9 ($F(6, 67)=2.752, p<0.05$).

Στα τμήματα εγκεφάλου που λήφθηκαν την ημέρα 313 (Πίνακας 10) δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές επιδράσεις των διαφορετικών σιτηρεσίων στη συγκέντρωση των νευροδιαβιβαστών.

Την ημέρα 350 (Πίνακας 11), στον τελικό εγκέφαλο, η συγκέντρωση της 5-HT παρουσιάστηκε σημαντικά αυξημένη για την επέμβαση M0.6, σε σχέση με τις X0.6, X0.9 και M, ενώ η M0.4 διέφερε σημαντικά από την X0.9 ($F(6, 32)=2.811, p<0.05$). Η ντοπαμινεργική δραστηριότητα παρουσιάστηκε αυξημένη στο Μάρτυρα σε σχέση με τις X0.4 και X0.9 ($F(6, 30)=2.446, p<0.05$). Η σεροτονινεργική δραστηριότητα παρουσιάστηκε σημαντικά αυξημένη στη επέμβαση X0.9, σε σχέση με τις X0.4, M0.4, M0.6 και M0.9, όπως επίσης και στο Μάρτυρα, σε σχέση με την M0.6 ($F(6, 30)=2.787, p<0.05$). Στο μέσο εγκέφαλο δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Τέλος, στο ρομβοειδή εγκέφαλο, η 5-HT για τις επεμβάσεις X0.4, M0.4 και M0.6 ήταν αυξημένη σε σχέση με τις X0.6, X0.9 και M ($F(6,27)=3.992, p<0.01$).

Η συγκέντρωση της HVA σε όλα τα τμήματα του εγκεφάλου και σε όλα τα χρονικά σημεία δειγματοληψίας ήταν τόσο χαμηλή που δεν επέτρεψε είτε την ανίχνευσή της, είτε την ποσοτικοποίησή της. Συνεπώς δεν παρουσιάστηκε σε κανέναν από τους παρακάτω πίνακες, όπως επίσης δεν παρουσιάστηκε η έκφραση της ντοπαμινεργικής δραστηριότητας σε συνάρτηση με την HVA (HVA/DA).

Πίνακας 8: Συγκεντρώσεις νευροδιαβιβαστών την Ημέρα 131 στον τελικό, στον μέσο και στο ρομβοειδή εγκέφαλο (ng/g ιστού±τυπικό σφάλμα του μέσου). Ε: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA

		<i>One Way ANOVA</i>								<i>Two Way ANOVA</i>		
Ημέρα 131		X0.4	X0.6	X0.9	M0.4	M0.6	M0.9	M	<i>p</i>	E	Λ	E×Λ
Τελικός εγκέφαλος	NA	0.370±0.0519	0.452±0.0693	0.523±0.1053	0.551±0.0868	0.383±0.0599	0.433±0.0535	0.431±0.0613	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DA	0.133±0.0127	0.160±0.0192	0.158±0.0270	0.143±0.0119	0.131±0.0180	0.142±0.0089	0.131±0.0213	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DOPAC	0.021±0.0023	0.022±0.0031	0.023±0.0034	0.022±0.0027	0.022±0.0027	0.031±0.0058	0.021±0.0027	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HIAA	0.075±0.0138	0.112±0.0273	0.103±0.0276	0.096±0.0185	0.092±0.0144	0.093±0.0161	0.089±0.0154	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HT	2.532±0.5065	2.854±0.5992	2.312±0.4422	3.985±0.8463	2.367±0.5037	2.742±0.6329	1.324±0.2766	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DOPAC/DA	0.168±0.0266	0.140±0.0166	0.147±0.0136	0.164±0.0169	0.156±0.0089	0.170±0.0239	0.138±0.0126	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HIAA/5-HT	0.111±0.0140	0.132±0.0106	0.112±0.0171	0.134±0.0147	0.150±0.0152	0.116±0.0141	0.121±0.0133	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Μέσος εγκέφαλος	NA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA				
	DA	0.078±0.0062	0.071±0.0066	0.066±0.0096	0.070±0.0067	0.072±0.0077	0.077±0.0087	0.081±0.0084	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DOPAC	0.016±0.0017	0.014±0.0016	0.014±0.0022	0.014±0.0013	0.015±0.0006	0.013±0.0011	0.018±0.0017	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HIAA	0.078±0.0063	0.067±0.0074	0.073±0.0063	0.065±0.0072	0.083±0.0114	0.083±0.0067	0.091±0.0098	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HT	0.990±0.0976 ^b	0.682±0.0666 ^a	0.731±0.0691 ^{ab}	0.632±0.0884 ^a	1.025±0.1017 ^b	1.029±0.1150 ^b	0.991±0.1098 ^b	**	ΜΣ	ΜΣ	***
	DOPAC/DA	0.188±0.0154	0.181±0.0101	0.259±0.0358	0.219±0.0260	0.218±0.0230	0.195±0.0214	0.229±0.0147	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HIAA/5-HT	0.084±0.0078 ^{ab}	0.103±0.0041 ^b	0.104±0.0053 ^b	0.103±0.0049 ^b	0.078±0.0044 ^a	0.094±0.0103 ^{ab}	0.087±0.0055 ^{ab}	*	ΜΣ	ΜΣ	**
Ρομβοειδής εγκέφαλος	NA	0.486±0.0844 ^c	0.406±0.0600 ^{bc}	0.414±0.0650 ^{bc}	0.380±0.0525 ^{abc}	0.243±0.0488 ^{ab}	0.329±0.0367 ^{abc}	0.222±0.0180 ^a	*	*	ΜΣ	ΜΣ
	DA	0.139±0.0125 ^{ab}	0.143±0.0185 ^{ab}	0.103±0.0083 ^a	0.158±0.0243 ^b	0.112±0.0125 ^{ab}	0.101±0.0108 ^a	0.103±0.0122 ^a	*	ΜΣ	*	ΜΣ
	DOPAC	0.028±0.0039	0.028±0.0039	0.026±0.0043	0.029±0.0047	0.029±0.0060	0.026±0.0035	0.019±0.0034	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HIAA	0.227±0.0735	0.248±0.0712	0.267±0.0997	0.241±0.0708	0.337±0.1498	0.243±0.0808	0.249±0.0730	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HT	0.749±0.2097	1.434±0.4749	0.840±0.1744	2.064±0.8828	1.181±0.2782	1.014±0.1422	0.701±0.2618	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DOPAC/DA	0.200±0.0262	0.218±0.0328	0.235±0.0413	0.186±0.0217	0.234±0.0357	0.267±0.0337	0.189±0.0334	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HIAA/5-HT	0.126±0.0152	0.112±0.0082	0.123±0.0108	0.097±0.0125	0.121±0.0175	0.097±0.0081	0.116±0.0134	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ

Οι διαφορετικοί εκθέτες στις τιμές μίας σειράς υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (n=4, ***: P<0.001, **: P<0.01, *: P<0.05, ΜΣ: P>0.05, MA: Μη Ανιχνεύσιμο)

Πίνακας 9: Συγκεντρώσεις νευροδιαβιβαστών την Ημέρα 251 στον τελικό, στον μέσο και στο ρομβοειδή εγκέφαλο (ng/g ιστού±τυπικό σφάλμα του μέσου). Ε: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA

		<i>One Way ANOVA</i>								<i>Two Way ANOVA</i>		
Ημέρα 251		X0.4	X0.6	X0.9	M0.4	M0.6	M0.9	M	p	E	Λ	E×Λ
Τελικός εγκέφαλος	NA	0.355±0.0515	0.501±0.0554	0.411±0.0688	0.421±0.0653	0.396±0.0512	0.510±0.0716	0.491±0.0573	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DA	0.108±0.0054	0.113±0.0050	0.120±0.0086	0.120±0.0141	0.130±0.0072	0.124±0.0085	0.127±0.0065	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DOPAC	0.015±0.0013 ^a	0.016±0.0019 ^a	0.021±0.0061 ^a	0.041±0.0138 ^b	0.017±0.0017 ^a	0.016±0.0017 ^a	0.018±0.0035 ^a	*	ΜΣ	ΜΣ	*
	5-HIAA	0.309±0.0329	0.323±0.0318	0.328±0.0367	0.268±0.0150	0.290±0.0185	0.351±0.0208	0.305±0.0381	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HT	5.879±0.4074	5.522±0.6388	5.846±0.9633	5.379±0.7362	6.032±0.5753	6.172±0.5412	5.365±0.3851	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DOPAC/DA	0.126±0.0141	0.142±0.0138	0.178±0.0378	0.169±0.0092	0.101±0.0015	0.144±0.0161	0.142±0.0196	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HIAA/5-HT	0.053±0.0054	0.064±0.0069	0.050±0.0029	0.053±0.0064	0.048±0.0048	0.062±0.0063	0.057±0.0058	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Μέσος εγκέφαλος	NA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA				
	DA	0.077±0.0080	0.088±0.0032	0.087±0.0075	0.076±0.0057	0.084±0.0027	0.070±0.0066	0.077±0.0079	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DOPAC	0.012±0.0010	0.012±0.0010	0.013±0.0016	0.012±0.0013	0.012±0.0011	0.011±0.0012	0.015±0.0014	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HIAA	0.099±0.0084	0.098±0.0064	0.098±0.0063	0.101±0.0047	0.095±0.0054	0.091±0.0037	0.103±0.0087	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HT	0.871±0.0926	0.886±0.0803	0.984±0.0707	0.922±0.0501	0.922±0.0358	0.801±0.0771	0.818±0.0600	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DOPAC/DA	0.166±0.0150	0.176±0.0244	0.167±0.0259	0.171±0.0221	0.140±0.0151	0.163±0.0206	0.214±0.0268	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HIAA/5-HT	0.100±0.0043	0.112±0.0113	0.113±0.0108	0.119±0.0072	0.106±0.0080	0.136±0.0133	0.112±0.0104	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ρομβοειδής εγκέφαλος	NA	0.338±0.0423	0.361±0.0265	0.381±0.0433	0.418±0.0342	0.354±0.0282	0.341±0.0241	0.346±0.0353	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DA	0.122±0.0148	0.138±0.0091	0.155±0.0134	0.151±0.0117	0.138±0.0089	0.110±0.0074	0.127±0.0137	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	**
	DOPAC	0.013±0.0019	0.017±0.0018	0.016±0.0014	0.015±0.0012	0.016±0.0021	0.015±0.0015	0.014±0.0018	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HIAA	0.083±0.0149	0.083±0.0092	0.065±0.0109	0.074±0.0063	0.090±0.0119	0.084±0.0096	0.066±0.0143	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HT	1.352±0.1809	1.249±0.1447	1.283±0.1801	1.114±0.0815	1.294±0.1756	0.829±0.0924	1.028±0.1653	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DOPAC/DA	0.098±0.0070	0.119±0.0096	0.105±0.0048	0.095±0.0097	0.096±0.0038	0.123±0.0093	0.112±0.0129	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HIAA/5-HT	0.068±0.0080 ^{ab}	0.071±0.0080 ^{ab}	0.059±0.0049 ^a	0.066±0.0054 ^{ab}	0.092±0.0132 ^{bc}	0.097±0.0082 ^c	0.069±0.0087 ^{ab}	*	**	ΜΣ	ΜΣ

Οι διαφορετικοί εκθέτες στις τιμές μίας σειράς υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (n=4, ***: P< 0.001, **: P<0.01, *: P<0.05, ΜΣ: P>0.05, MA: Μη Ανιχνεύσιμο)

Πίνακας 10: Συγκεντρώσεις νευροδιαβιβαστών την Ημέρα 313 στον τελικό, στον μέσο και στο ρομβοειδή εγκέφαλο (ng/g ιστού±τυπικό σφάλμα του μέσου). Ε: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA

		<i>One Way ANOVA</i>								<i>Two Way ANOVA</i>		
Ημέρα 313		X0.4	X0.6	X0.9	M0.4	M0.6	M0.9	M	p	E	Λ	E×Λ
Τελικός εγκέφαλος	NA	0.473±0.0825	0.305±0.0793	0.492±0.0543	0.219±0.0101	0.383±0.0795	0.325±0.0262	0.372±0.0586	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DA	0.122±0.0201	0.078±0.0144	0.139±0.0105	0.098±0.0097	0.096±0.0088	0.142±0.0232	0.100±0.0119	ΜΣ	ΜΣ	*	ΜΣ
	DOPAC	0.022±0.0026	0.020±0.0034	0.025±0.0023	0.017±0.0014	0.017±0.0007	0.018±0.0011	0.023±0.0025	ΜΣ	*	ΜΣ	ΜΣ
	5-HIAA	0.488±0.0505	0.435±0.1013	0.560±0.0429	0.499±0.0546	0.596±0.0945	0.606±0.0875	0.589±0.0950	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HT	2.878±0.1719	2.849±0.1411	2.895±0.1586	2.873±0.3590	3.148±0.3488	3.049±0.2152	2.421±0.0241	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DOPAC/DA	0.216±0.0256	0.173±0.0183	0.180±0.0148	0.183±0.0170	0.173±0.0111	0.150±0.0260	0.237±0.0370	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HIAA/5-HT	0.168±0.0125	0.183±0.0231	0.178±0.0060	0.175±0.0080	0.187±0.0162	0.196±0.0178	0.203±0.0294	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Μέσος εγκέφαλος	NA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA				
	DA	0.078±0.0075	0.070±0.0137	0.075±0.0103	0.069±0.0063	0.076±0.0046	0.072±0.0085	0.059±0.0070	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DOPAC	0.013±0.0019	0.012±0.0012	0.014±0.0018	0.012±0.0013	0.015±0.0040	0.011±0.0013	0.010±0.0005	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HIAA	0.100±0.0123	0.084±0.0083	0.111±0.0119	0.096±0.0102	0.110±0.0107	0.096±0.0079	0.081±0.0058	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HT	0.836±0.0449	0.921±0.1227	0.751±0.0354	0.737±0.0662	0.911±0.1326	0.691±0.0654	0.600±0.0572	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DOPAC/DA	0.178±0.0317	0.112±0.0046	0.195±0.0313	0.181±0.0207	0.153±0.0351	0.154±0.0136	0.178±0.0171	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HIAA/5-HT	0.120±0.0132	0.104±0.0175	0.135±0.0123	0.132±0.0114	0.130±0.0192	0.141±0.0084	0.137±0.0076	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ρομβοειδής εγκέφαλος	NA	0.403±0.0775	0.364±0.0354	0.327±0.0333	0.380±0.0599	0.336±0.0546	0.365±0.0493	0.264±0.0298	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DA	0.147±0.0167	0.137±0.0119	0.112±0.0097	0.145±0.0066	0.142±0.0069	0.132±0.0096	0.110±0.0048	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DOPAC	0.015±0.0022	0.017±0.0008	0.014±0.0007	0.019±0.0026	0.016±0.0039	0.016±0.0005	0.014±0.0032	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HIAA	0.133±0.0316	0.086±0.0026	0.098±0.0072	0.159±0.0103	0.125±0.0217	0.131±0.0236	0.119±0.0318	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HT	1.519±0.2320	1.631±0.2246	1.008±0.0851	1.796±0.2159	1.547±0.3834	1.685±0.2600	1.336±0.3108	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	DOPAC/DA	0.105±0.0124	0.124±0.0093	0.125±0.0120	0.117±0.0111	0.114±0.0273	0.127±0.0089	0.109±0.0200	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	5-HIAA/5-HT	0.070±0.0059	0.068±0.0086	0.098±0.0031	0.095±0.0122	0.090±0.0169	0.102±0.0161	0.089±0.0114	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ

Οι διαφορετικοί εκθέτες στις τιμές μίας σειράς υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (n=4, ***: P< 0.001, **: P<0.01, *: P<0.05, ΜΣ: P>0.05, MA: Μη Ανιχνεύσιμο).

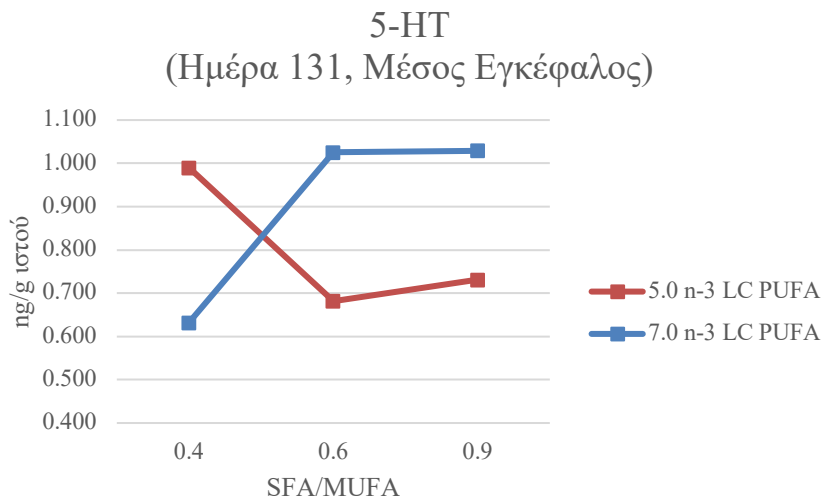
Πίνακας 11: Συγκεντρώσεις νευροδιαβιβαστών την Ημέρα 350 στον τελικό, στον μέσο και στο ρομβοειδή εγκέφαλο (ng/g ιστού±τυπικό σφάλμα του μέσου). Ε: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA

		<i>One Way ANOVA</i>								<i>Two Way ANOVA</i>		
Ημέρα 350		X0.4	X0.6	X0.9	M0.4	M0.6	M0.9	M	p	E	Λ	E×Λ
Τελικός εγκέφαλος	NA	0.297±0.0460	0.371±0.0735	0.385±0.0612	0.428±0.0527	0.363±0.0786	0.338±0.0450	0.333±0.0558	MΣ	MΣ	MΣ	MΣ
	DA	0.060±0.0057	0.084±0.0116	0.081±0.0107	0.080±0.0061	0.087±0.0072	0.073±0.0117	0.065±0.0033	MΣ	MΣ	MΣ	MΣ
	DOPAC	0.013±0.0011	0.019±0.0022	0.021±0.0023	0.019±0.0018	0.020±0.0011	0.020±0.0041	0.020±0.0024	MΣ	MΣ	MΣ	MΣ
	5-HIAA	0.393±0.0324	0.402±0.0384	0.395±0.0383	0.475±0.0766	0.498±0.0419	0.370±0.0327	0.418±0.0507	MΣ	MΣ	MΣ	MΣ
	5-HT	2.246±0.2391 ^{abc}	1.937±0.2008 ^{ab}	1.383±0.1225 ^a	2.584±0.5354 ^{bc}	3.203±0.5346 ^c	2.159±0.2471 ^{abc}	1.720±0.1603 ^{ab}	*	*	MΣ	MΣ
	DOPAC/DA	0.202±0.0079 ^a	0.249±0.0367 ^{ab}	0.222±0.0050 ^a	0.247±0.0322 ^{ab}	0.233±0.0146 ^{ab}	0.275±0.0129 ^{ab}	0.307±0.0282 ^b	*	MΣ	MΣ	MΣ
	5-HIAA/5-HT	0.193±0.0364 ^{ab}	0.224±0.0335 ^{abc}	0.307±0.0238 ^c	0.148±0.0280 ^{ab}	0.126±0.0044 ^a	0.188±0.0354 ^{ab}	0.245±0.0423 ^{bc}	*	**	*	MΣ
Μέσος εγκέφαλος	NA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA				
	DA	0.073±0.0131	0.076±0.0099	0.078±0.0087	0.101±0.0194	0.071±0.0113	0.096±0.0160	0.063±0.0035	MΣ	MΣ	MΣ	MΣ
	DOPAC	0.012±0.0013	0.015±0.0019	0.015±0.0005	0.020±0.0040	0.016±0.0026	0.016±0.0025	0.016±0.0015	MΣ	MΣ	MΣ	MΣ
	5-HIAA	0.092±0.0114	0.092±0.0099	0.093±0.0129	0.091±0.0087	0.092±0.0114	0.092±0.0133	0.097±0.0065	MΣ	MΣ	MΣ	MΣ
	5-HT	0.913±0.1546	0.828±0.0743	0.748±0.0753	0.898±0.1077	0.636±0.0895	0.804±0.0662	0.635±0.0773	MΣ	MΣ	MΣ	MΣ
	DOPAC/DA	0.169±0.0172	0.195±0.0208	0.222±0.0355	0.214±0.0182	0.228±0.0227	0.201±0.0272	0.253±0.0248	MΣ	MΣ	MΣ	MΣ
	5-HIAA/5-HT	0.107±0.0121	0.112±0.0112	0.130±0.0215	0.123±0.0124	0.152±0.0167	0.116±0.0168	0.169±0.0285	MΣ	MΣ	MΣ	MΣ
Ρομβοειδής εγκέφαλος	NA	0.395±0.0442	0.400±0.0911	0.370±0.0448	0.459±0.0489	0.436±0.0885	0.376±0.0485	0.330±0.0520	MΣ	MΣ	MΣ	MΣ
	DA	0.161±0.0175	0.146±0.0303	0.138±0.0228	0.167±0.0295	0.162±0.0103	0.138±0.0159	0.140±0.0110	MΣ	MΣ	MΣ	MΣ
	DOPAC	0.026±0.0060	0.021±0.0049	0.021±0.0020	0.022±0.0035	0.023±0.0009	0.021±0.0020	0.018±0.0024	MΣ	MΣ	MΣ	MΣ
	5-HIAA	0.170±0.0148	0.134±0.0321	0.140±0.0191	0.117±0.0097	0.156±0.0179	0.146±0.0176	0.128±0.0156	MΣ	MΣ	MΣ	MΣ
	5-HT	1.554±0.0964 ^b	0.928±0.2299 ^a	1.134±0.1771 ^{ab}	1.610±0.1779 ^b	1.625±0.1979 ^b	1.234±0.0773 ^{ab}	0.848±0.0490 ^a	**	*	MΣ	MΣ
	DOPAC/DA	0.126±0.0074	0.136±0.0099	0.154±0.0173	0.132±0.0096	0.142±0.0056	0.145±0.0032	0.132±0.0151	MΣ	MΣ	MΣ	MΣ
	5-HIAA/5-HT	0.096±0.0127	0.090±0.0126	0.112±0.0219	0.077±0.0085	0.094±0.0225	0.105±0.0140	0.121±0.0206	MΣ	MΣ	MΣ	MΣ

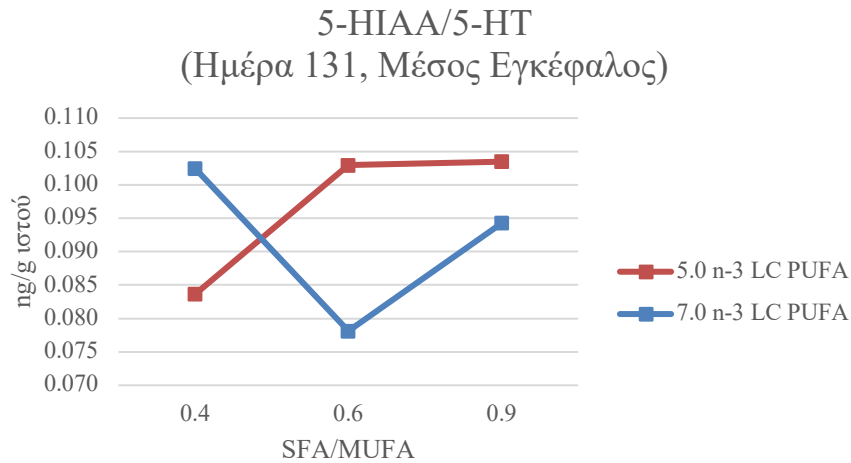
Οι διαφορετικοί εκθέτες στις τιμές μίας σειράς υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (n=4, ***: P<0.001, **: P<0.01, *: P<0.05, MΣ: P>0.05, MA: Μη Ανιχνεύσιμο)

3.2.2 Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA

Την ημέρα 131 (Πίνακας 8) δεν παρατηρήθηκαν επιδράσεις του επιπέδου των n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση των νευροδιαβιβαστών του τελικού εγκεφάλου. Στον μέσο εγκεφαλο, παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ του λόγου SFA/MUFA και του επιπέδου n-3 LC PUFA ($F(2, 62)=8.736, p<0.001$), στη συγκέντρωση 5-HT. Συγκεκριμένα, στο μέσο επίπεδο n-3 LC PUFA (7), η επέμβαση M0.4, η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλή αναλογία SFA/MUFA (0.4), εμφάνισε σημαντικά χαμηλότερη συγκέντρωση 5-HT από τις υπόλοιπες επεμβάσεις στο ίδιο επίπεδο n-3 LC PUFA (Γράφημα 15). Όσον αφορά στη σεροτονινεργική δραστηριότητα του μέσου εγκεφάλου, η M0.4 επηρεάστηκε παρομοίως από την αλληλεπίδραση, η οποία παρουσιάστηκε υψηλότερη σε σύγκριση με την επέμβαση M0.6 ($F(2, 54)=5.591, p<0.01$) (Γράφημα 16).

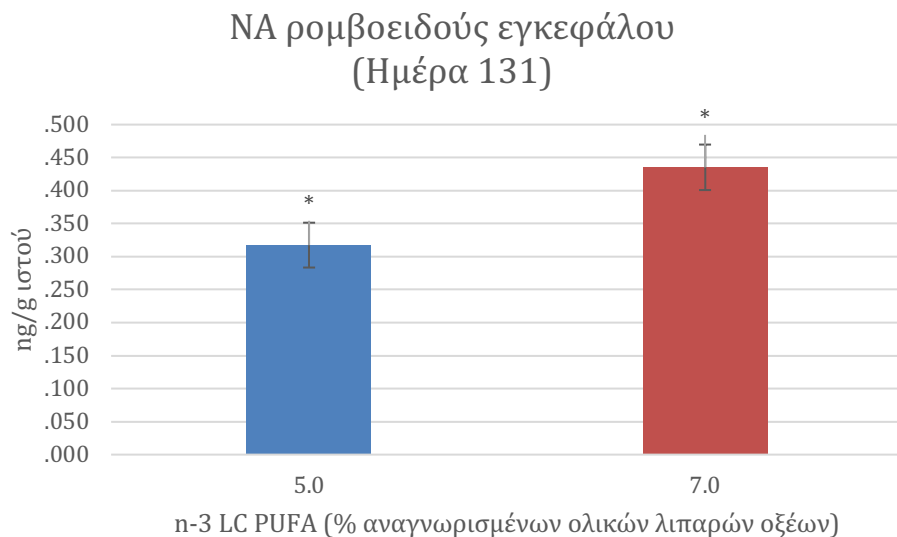


Γράφημα 15: Αλληλεπίδραση επιπέδου n-3 LC PUFA και λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση 5-HT, στο μέσο εγκεφαλο (ημέρα 131).

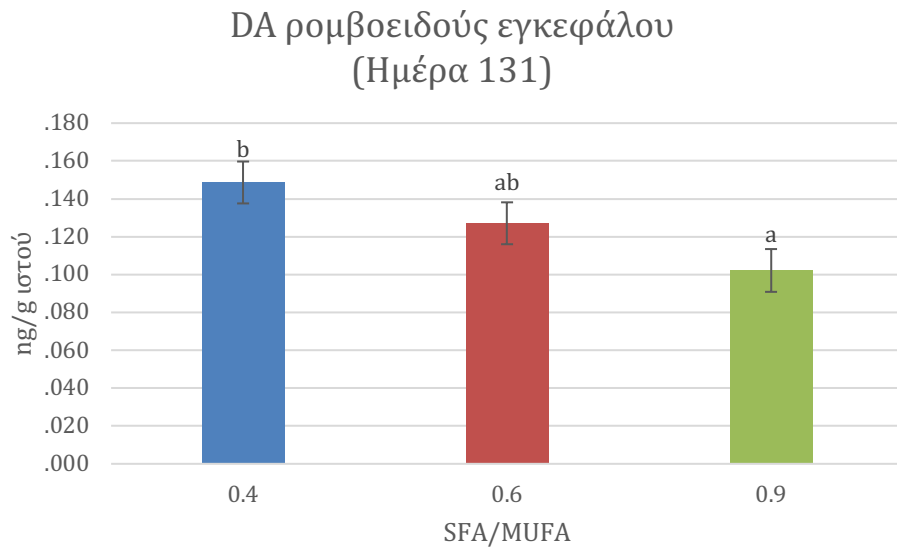


Γράφημα 16: Αλληλεπίδραση επιπέδου n-3 LC PUFA και λόγου SFA/MUFA στη σεροτονινεργική δραστηριότητα, στο μέσο εγκέφαλο (ημέρα 131).

Στο ρομβοειδή εγκέφαλο, υπήρξε στατιστικά σημαντική επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA της τροφής (Γράφημα 17), στη συγκέντρωση NA ($F(1, 63)=5.934, p<0.05$). Επίσης, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του λόγου SFA/MUFA (Γράφημα 18) στη συγκέντρωση DA ($F(1, 62)=4.321, p<0.05$).

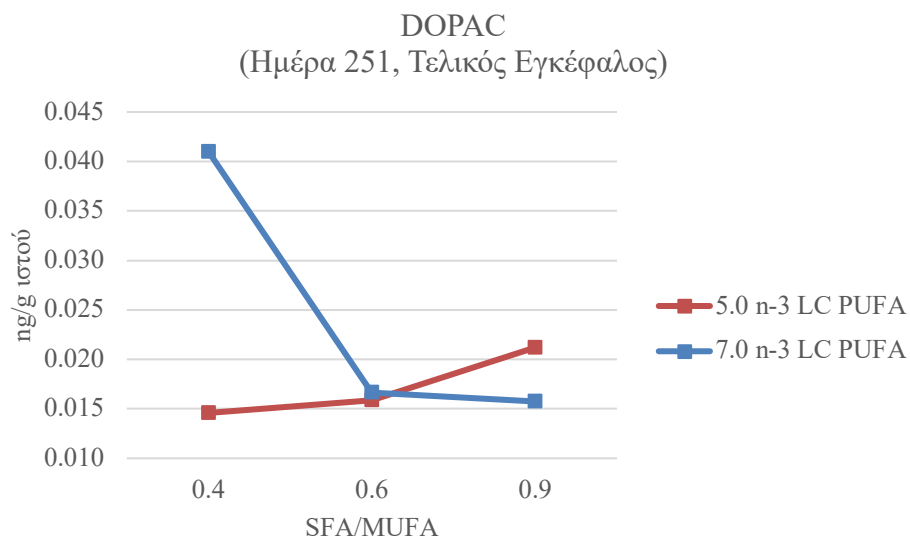


Γράφημα 17: Επίδραση επιπέδου n-3 LC PUFA στη συγκέντρωση NA του ρομβοειδούς εγκεφάλου λαβρακιών (ημέρα 131).



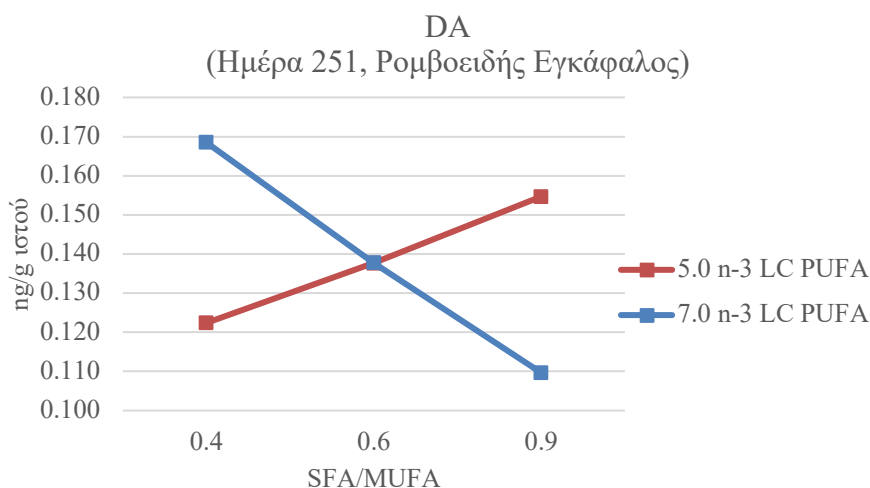
Γράφημα 18: Επίδραση του λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση DA του ρομβοειδούς εγκεφάλου λαβρακιών (ημέρα 131).

Την ημέρα 251 (Πίνακας 9), παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ του λόγου SFA/MUFA και του επιπέδου n-3 LC PUFA, στη συγκέντρωση DOPAC του τελικού εγκεφάλου ($F(2, 31)=4.439, p<0.05$). Συγκεκριμένα, στο υψηλότερο επίπεδο n-3 LC PUFA (7), η επέμβαση M0.4 (SFA/MUFA 0.4), εμφάνισε σημαντικά χαμηλότερη συγκέντρωση DOPAC από τις υπόλοιπες επεμβάσεις (Γράφημα 19).



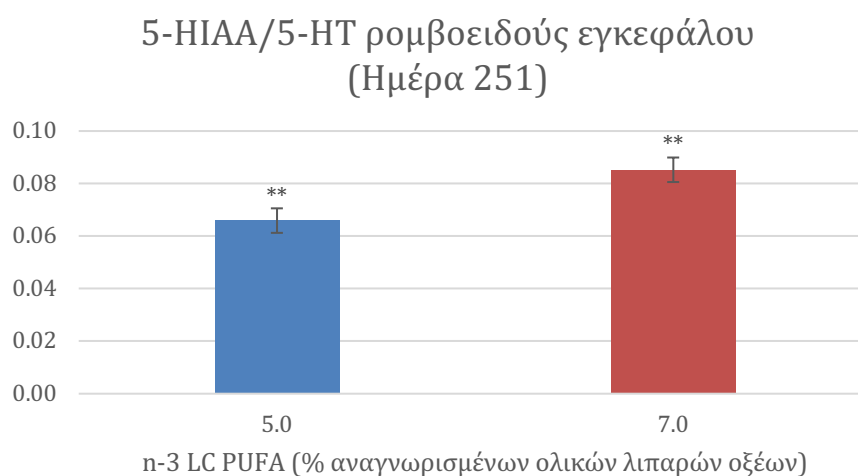
Γράφημα 19: Αλληλεπίδραση επιπέδου n-3 LC PUFA και λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση DOPAC, στον τελικό εγκέφαλο (ημέρα 251)

Στο μέσο εγκέφαλο δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στο ρομβοειδή εγκέφαλο, υπήρξε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA, στη συγκέντρωση DA ($F(2, 60)=7.070, p<0.01$). Στο χαμηλό επίπεδο n-3 LC PUFA (5), οι διαφορές εντοπίστηκαν μεταξύ των επεμβάσεων X0.4 (SFA/MUFA 0.4) και X0.9 (SFA/MUFA 0.9). Παρομοίως, στο υψηλό επίπεδο n-3 LC PUFA (7), οι διαφορές εντοπίστηκαν μεταξύ των M0.4 και M0.9 (Γράφημα 20).



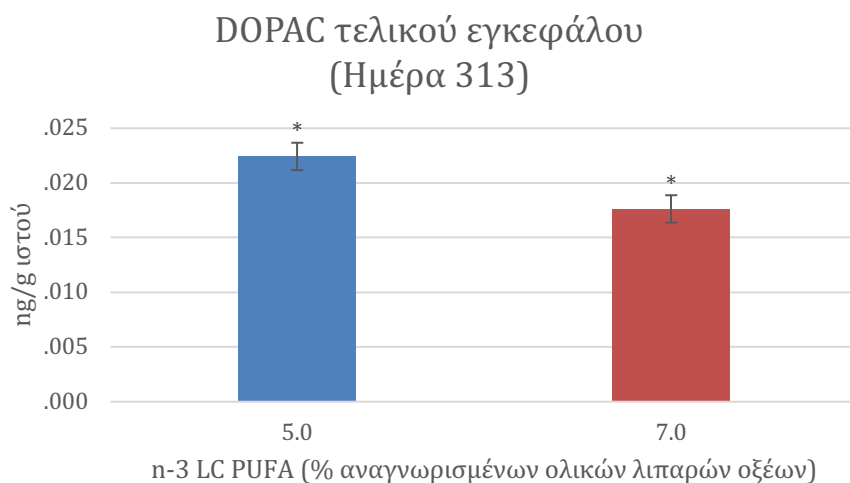
Γράφημα 20: Αλληλεπίδραση επιπέδου n-3 LC PUFA και λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση DA, στο ρομβοειδή εγκέφαλο (ημέρα 251).

Επιπλέον, στο ρομβοειδή εγκέφαλο παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA στη σεροτονινεργική δραστηριότητα (Γράφημα 21).



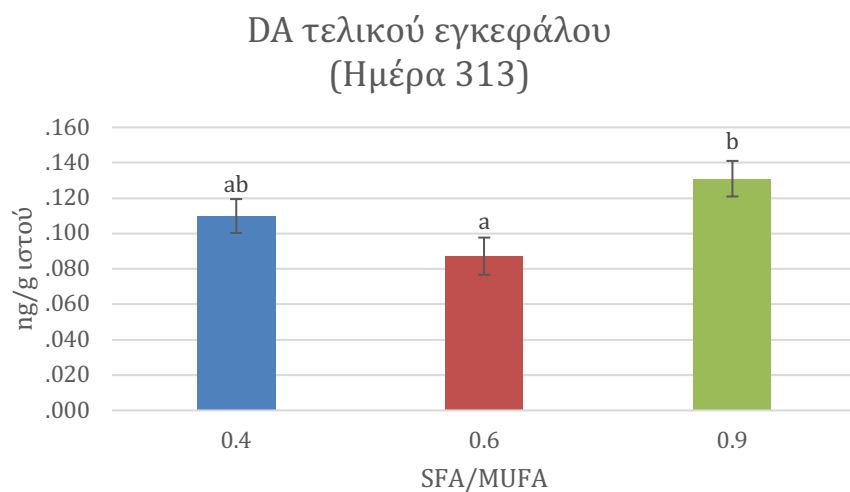
Γράφημα 21: Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA στη σεροτονινεργική δραστηριότητα του ρομβοειδούς εγκεφάλου λαβρακίων (ημέρα 251).

Την ημέρα 313 (Πίνακας 10), υπήρξε στατιστικά σημαντική επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA (Γράφημα 22), στη συγκέντρωση του DOPAC του τελικού εγκεφάλου ($F(1, 24)=6.840, p<0.05$).



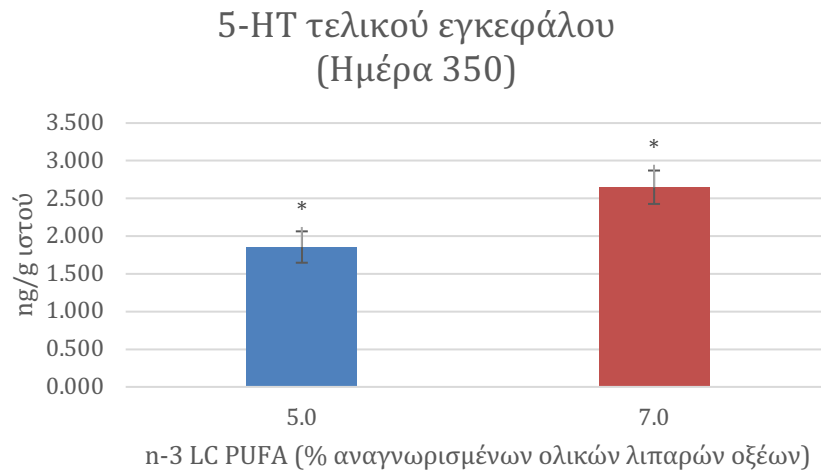
Γράφημα 22: Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA στη συγκέντρωση DOPAC του τελικού εγκεφάλου λαβρακίων (ημέρα 313).

Παρατηρήθηκε επίσης, στατιστικά σημαντική επίδραση του λόγου SFA/MUFA (Γράφημα 23), στη συγκέντρωση της DA ($F(2, 27)=4.536, p<0.05$). Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές επιδράσεις στις συγκεντρώσεις των νευροδιαβιβαστών του μέσου και του ρομβοειδούς εγκεφάλου.



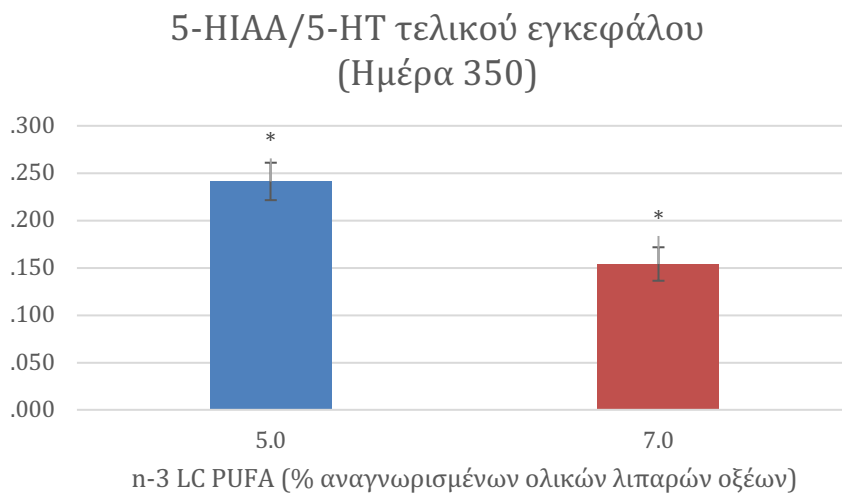
Γράφημα 23: Επίδραση του λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση DA του τελικού εγκεφάλου λαβρακίων (ημέρα 313).

Την ημέρα 350 (Πίνακας 11), παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA (Γράφημα 24), στη συγκέντρωση 5-HT του τελικού εγκεφάλου ($F(1, 28)=6.814, p<0.05$).

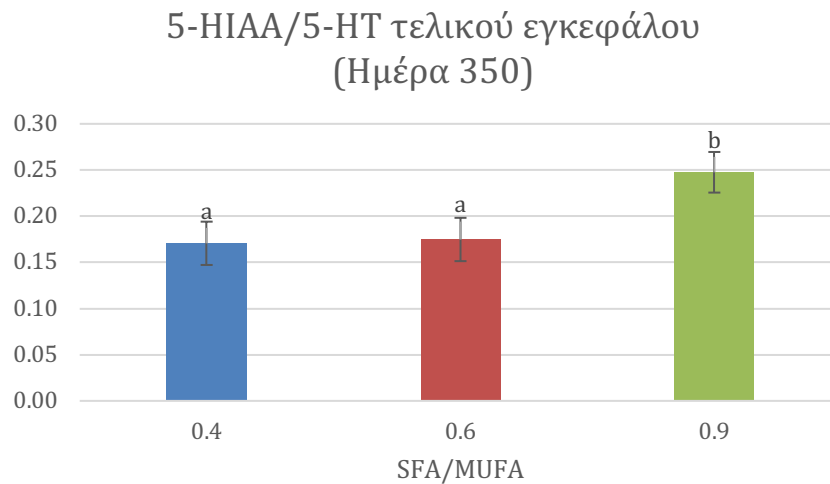


Γράφημα 24: Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA στη συγκέντρωση 5-HT του τελικού εγκεφάλου λαβρακίων (ημέρα 350).

Παρατηρήθηκε επίσης στατιστικά σημαντική επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA (Γράφημα 25) ($F(1, 25)=10.812, p<0.01$), καθώς και του λόγου SFA/MUFA (Γράφημα 26) ($F(2, 25)=3.699, p<0.05$) στη σεροτονινεργική δραστηριότητα.

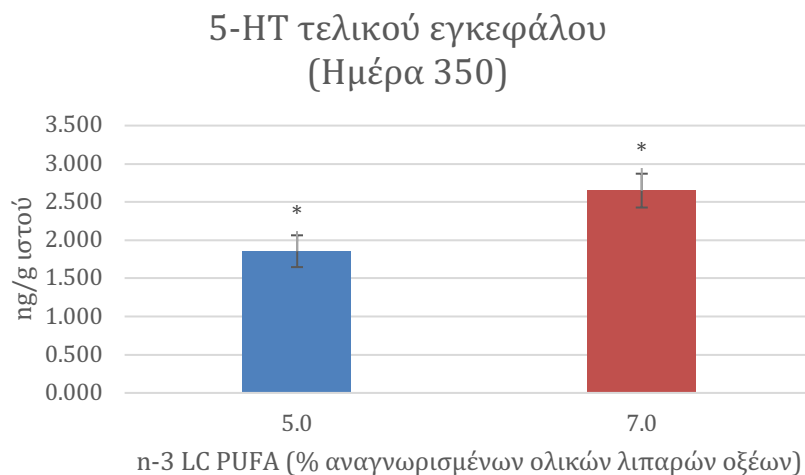


Γράφημα 25: Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA στη σεροτονινεργική δραστηριότητα του τελικού εγκεφάλου λαβρακίων (ημέρα 350).



Γράφημα 26: Επίδραση του λόγου SFA/MUFA στη σεροτονινεργική δραστηριότητα του τελικού εγκεφάλου λαβρακιών (ημέρα 350).

Τέλος, στο ρομβοειδή εγκέφαλο παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA (Γράφημα 27), στη συγκέντρωση 5-HT ($F(1, 24)=4.340, p<0.05$).



Γράφημα 27: Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA στη συγκέντρωση 5-HT του ρομβοειδούς εγκεφάλου λαβρακιών (ημέρα 350).

3.2.3 Συσχετίσεις παραμέτρων ανάπτυξης με τη συγκέντρωση νευροδιαβιβαστών

Την ημέρα 131, ενώ ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης και η αύξηση βάρους δεν επηρεάστηκαν από τους χειρισμούς, υπήρξαν ισχυρές αρνητικές συσχετίσεις με τη συγκέντρωση της ντοπαμίνης στο ρομβοειδή εγκέφαλο ($p < 0.001, r = -0.489$ και $p < 0.001, r = -0.485$ αντίστοιχα).

Την ημέρα 251 η συγκέντρωση ΝΑ παρουσίασε ισχυρές θετικές συσχετίσεις με την Ημερήσια Αύξηση Βάρους ($p<0.001$, $r=0.936$), την Ανάπτυξη ($p<0.001$, $r=0.917$), τον Ειδικό Ρυθμό Ανάπτυξης ($p<0.001$, $r=0.927$), το Συντελεστή Θερμικής Ανάπτυξης ($p<0.001$, $r=0.936$), την ποσοστιαία αύξηση βάρους ($p<0.001$, $r=0.926$) και ισχυρή αρνητική συσχέτιση με τον Συντελεστή Εκμετάλλευσης της Τροφής ($p<0.001$, $r=-0.959$).

Την ημέρα 350 η Αποτελεσματικότητα της τροφής (FE) συσχετίστηκε ισχυρά με τη συγκέντρωση της 5-HT στο ρομβοειδή εγκέφαλο ($p<0.05$, $r=0.605$)

3.2.4 Πολλαπλή παλινδρόμηση

Τα παρακάτω μοντέλα περιγράφουν την επίδραση των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA (X) και SFA/n-3 LC PUFA (Z) στο λίπος του φιλέτου, στους νευροδιαβιβαστές του τελικού, μέσου και ρομβοειδούς εγκεφάλου την 251^η ημέρα εκτροφής.

$$DA_{\text{τελικού εγκεφάλου}} = 1.4329 - 0.2084X + 0.0091X^2 - 0.0266Z - 0.0224Z^2 + 0.0596XZ \text{ (Γράφημα 28)}$$

$$5\text{-HIAA}/5\text{-HT}_{\text{τελικού εγκεφάλου}} = 1.1358 + 0.0620X - 0.0194X^2 - 0.1419Z + 0.0209Z^2 + 0.0209XZ \text{ (Γράφημα 29)}$$

$$5\text{-HT}_{\text{μέσου εγκεφάλου}} = 0.2250 + 0.6699X + 0.2348X^2 + 1.0497Z + 0.1644Z^2 - 0.8343XZ \text{ (Γράφημα 30)}$$

$$DOPAC/DA_{\text{μέσου εγκεφάλου}} = 1.3184 - 0.4102X + 0.0368X^2 + 0.1908Z - 0.0652Z^2 + 0.0752XZ \text{ (Γράφημα 31)}$$

$$5\text{-HIAA}_{\text{ρομβοειδούς εγκεφάλου}} = 1.3277 + 0.0806X - 0.0336X^2 - 0.2804Z + 0.0275Z^2 + 0.0653XZ \text{ (Γράφημα 32)}$$

$$DOPAC/DA_{\text{ρομβοειδούς εγκεφάλου}} = 1.2430 + 0.0929X - 0.0456X^2 - 0.2764Z + 0.0291Z^2 + 0.0678XZ \text{ (Γράφημα 33)}$$

$$5\text{-HIAA}/5\text{-HT}_{\text{ρομβοειδούς εγκεφάλου}} = 1.1705 - 0.2526X + 0.0179X^2 + 0.1932Z - 0.0591Z^2 + 0.0545XZ \text{ (Γράφημα 34)}$$

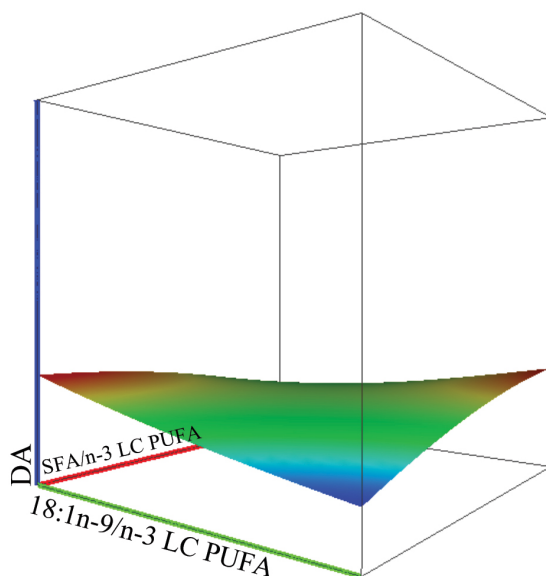
Την ημέρα 351 δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές επιδράσεις των λόγων. Το σύνολο των αποτελεσμάτων της ανάλυσης πολλαπλής παλινδρόμησης, παρουσιάζεται στον Πίνακα 12.

Πίνακας 12: Ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης $Y=a+b_1X+b_2X^2+b_3Z+b_4Z^2+b_5XZ$, όπου Y: DA, DOPAC, 5-HT, 5-HIAA, DOPAC/DA, 5-HIAA/5-HT στο τμήμα του εγκεφάλου στις 251 και τις 350 ημέρες; X: 18:1n-9/n-3 LC PUFA, Z: SFA/n-3 LC PUFA, SE: τυπικό σφάλμα, SEE: τυπικό σφάλμα εκτίμησης

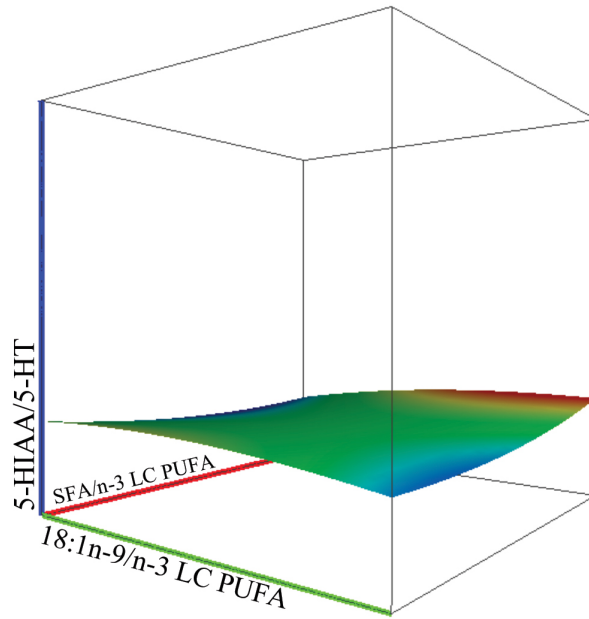
	<i>a</i>	<i>b</i> ₁	<i>b</i> ₂	<i>b</i> ₃	<i>b</i> ₄	<i>b</i> ₅	R ²	ANOVA
	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SEE	F
Ημέρα 251	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>		<i>p</i>
DA	1.4329	-0.2084	0.0091	-0.0266	-0.0224	0.0596	84.73	
Τελικός	0.10088	0.12157	0.02137	0.16421	0.02964	0.01638	0.01445	9.88
Εγκέφαλος	***	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	*		*
5-HIAA/5-HT	1.1358	0.0620	-0.0194	-0.1419	0.0209	0.0209	71.87	
Τελικός	0.04086	0.02447	0.00436	0.03082	0.00529	0.00644	0.00609	7.13
Εγκέφαλος	***	ΜΣ	**	**	*	ΜΣ		*
5-HT	0.2250	0.6699	0.2348	1.0497	0.1644	-0.8343	90.77	
	0.39392	0.21825	0.05492	0.19038	0.07519	0.16848	0.03816	18.7

Μέσος	ΜΣ	*	*	**	ΜΣ	**		**
DOPAC/DA	1.3184	-0.4102	0.0368	0.1908	-0.0652	0.0752	90.85	
Μέσος	0.07288	0.05600	0.01113	0.05663	0.00883	0.01810	0.01132	16.89
Εγκέφαλος	***	**	*	*	**	*		*
5-ΗΙΑΑ	1.3277	0.0806	-0.0336	-0.2804	0.0275	0.0653	93.38	
Ρομβοειδής	0.05344	0.04477	0.00812	0.06124	0.01074	0.00875	0.00787	29.22
εγκέφαλος	***	ΜΣ	**	**	ΜΣ	***		**
DOPAC/DA	1.2430	0.0929	-0.0456	-0.2764	0.0291	0.0678	94.57	
Ρομβοειδής	0.04836	0.07802	0.01291	0.10050	0.01881	0.00697	0.00614	28.89
εγκέφαλος	***	ΜΣ	*	ΜΣ	ΜΣ	**		**
5-ΗΙΑΑ/5-ΗΤ	1.1705	-0.2526	0.0179	0.1932	-0.0591	0.0546	97.07	
Ρομβοειδής	0.02813	0.02919	0.00473	0.03805	0.00721	0.00446	0.00411	47.37
εγκέφαλος	***	*	ΜΣ	*	*	**		*
Ημέρα 351								
DOPAC	0.8893	-0.1152	-0.0655	0.2661	-0.1746	0.2041		
Ρομβοειδής	0.25798	0.18298	0.06072	0.47697	0.23141	0.18865	78.84	*
εγκέφαλος	*	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	0.00339	7.71
5-ΗΤ	74.0892	20.3069	-0.084	-105.2730	35.8769	-11.2736		
Τελικός	34.3799	21.3756	6.00132	61.0848	30.4818	24.9376	79.78	**
Εγκέφαλος	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	0.60707	10.47
5-ΗΤ	9.7644	2.823	-1.807	-13.0195	4.7837	0.1869		
Μέσος	4.65586	5.05904	1.11847	8.16315	4.75391	5.12128	84.59	*
Εγκέφαλος	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	0.12836	10.88
DOPAC/DA	0.5448	1.4626	0.6619	-0.6268	1.2451	-2.0785		
Μέσος	1.11428	1.09167	0.3415	2.14581	1.28155	1.32064	80.92	**
Εγκέφαλος	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	0.0325	10.33
DOPAC/DA	-0.7747	-0.0285	0.1038	2.5978	-0.7791	-0.1873		
Ρομβοειδής	0.54243	0.56434	0.15984	1.06421	0.62645	0.65133	61.7	*
εγκέφαλος	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	*	ΜΣ	ΜΣ	0.01713	5.51

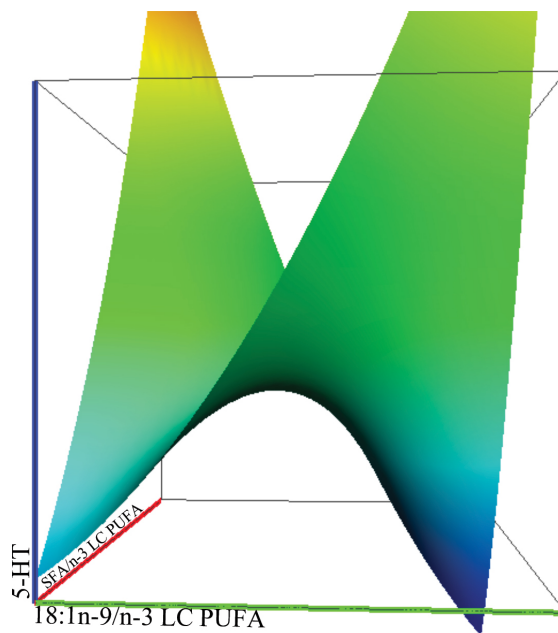
*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, ΜΣ: μη σημαντικό ($p > 0.05$)



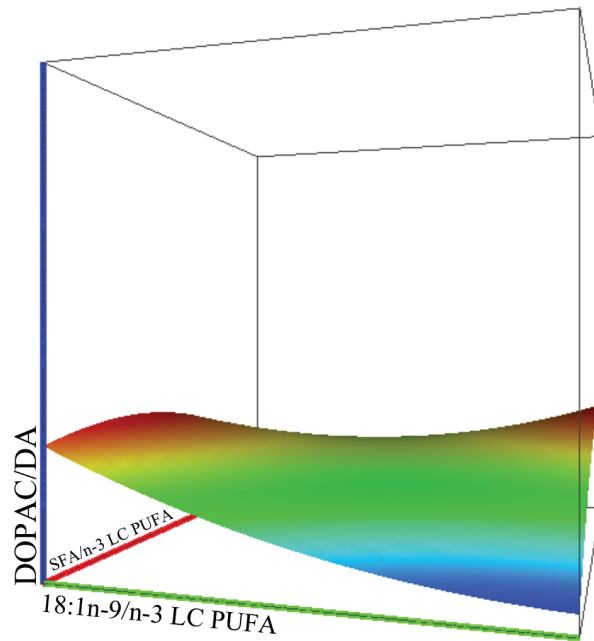
Γράφημα 28: Μοντέλο πρόβλεψης της συγκέντρωσης DA του τελικού εγκεφάλου βάσει των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA στο λίπος του φιλέτου



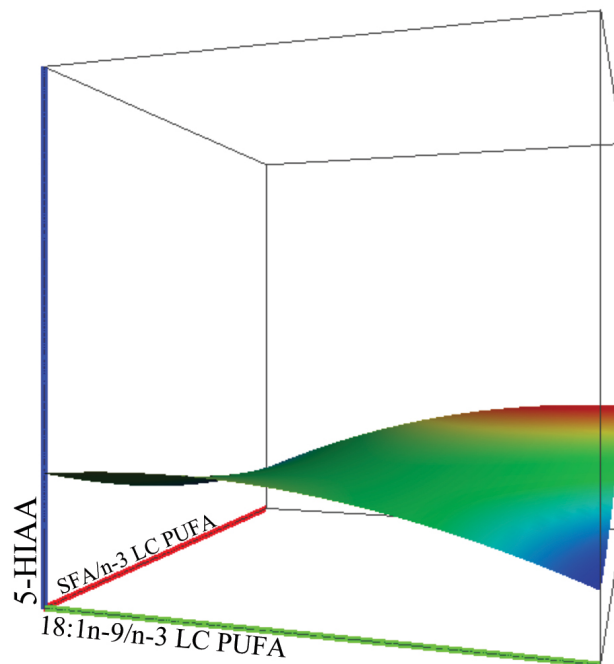
Γράφημα 29: Μοντέλο πρόβλεψης της σεροτονινεργικής δραστηριότητας του τελικού εγκεφάλου βάσει των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA στο λίπος του φιλέτου



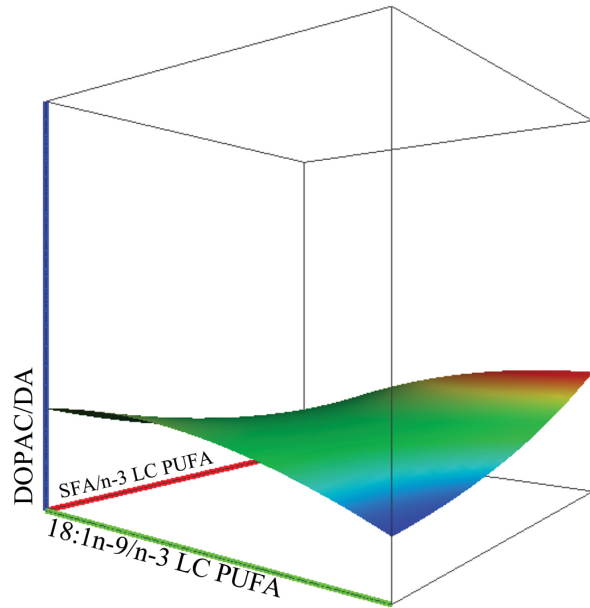
Γράφημα 30: : Μοντέλο πρόβλεψης της συγκέντρωσης 5-HT του μέσου εγκεφάλου βάσει των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA στο λίπος του φιλέτου



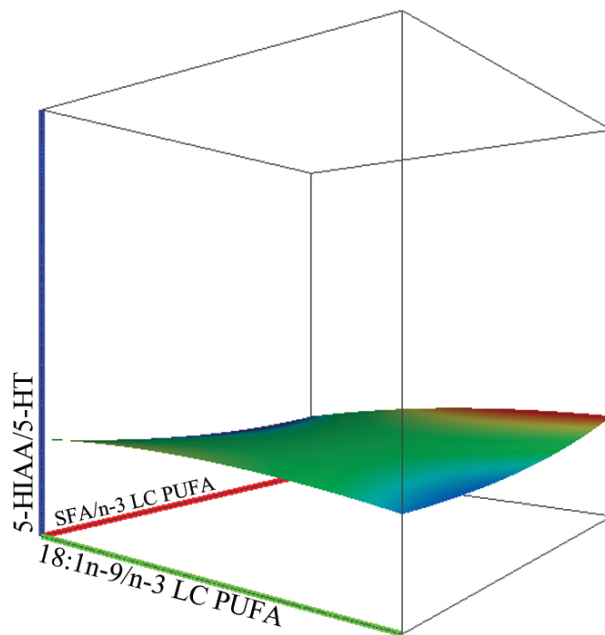
Γράφημα 31: Μοντέλο πρόβλεψης της ντοπαμινεργικής δραστηριότητας του μέσου εγκεφάλου βάσει των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA στο λίπος του φιλέτου



Γράφημα 32: Μοντέλο πρόβλεψης της συγκέντρωσης 5-HIAA του ρομβοειδούς εγκεφάλου βάσει των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA στο λίπος του φιλέτου



Γράφημα 33: Μοντέλο πρόβλεψης της ντοπαμινεργικής δραστηριότητας του ρομβοειδούς εγκεφάλου βάσει των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA στο λίπος του φιλέτου



Γράφημα 34: Μοντέλο πρόβλεψης της σεροτονινεργικής δραστηριότητας του ρομβοειδούς εγκεφάλου βάσει των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA στο λίπος του φιλέτου

3.3 Σύσταση του φιλέτου

3.3.1 Επίδραση των σιτηρεσίων στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε πρωτεΐνη

Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (Πίνακας 13) στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε πρωτεΐνη (% νωπού βάρους) μεταξύ των επεμβάσεων, σε όλες τις περιόδους εκτροφής.

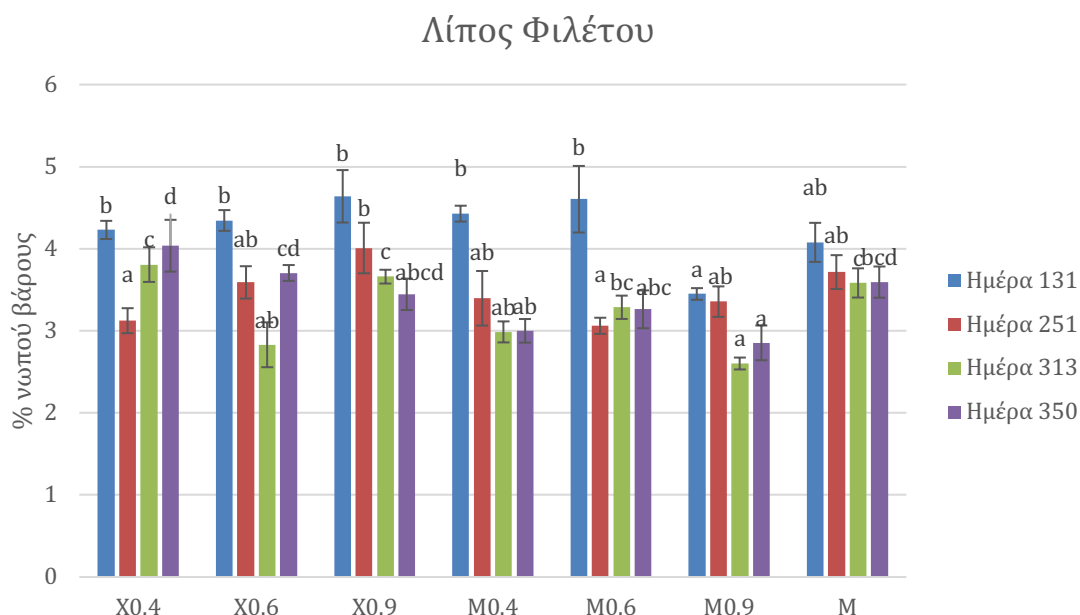
3.3.2 Επίδραση των σιτηρεσίων στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε λίπος

Μετά από 131 ημέρες εκτροφής (Πίνακας 13) η επέμβαση M0.9 διέφερε σημαντικά ($p<0.05$) με τις υπόλοιπες, με εξαίρεση το Μάρτυρα (Γράφημα 35).

Την ημέρα 251 (Πίνακας 13), οι X0.4 και M0.6 διέφεραν με την X0.9 ($p<0.05$) (Γράφημα 35).

Την ημέρα 313 (Πίνακας 13), οι X0.4, X0.9 και M διέφεραν σημαντικά με την M0.9 ($p<0.001$) (Γράφημα 35).

Στο τέλος της εκτροφής (ημέρα 350), η M0.9 διέφερε με τις X0.4, X0.6 και M (Πίνακας 13). Επιπλέον η X0.6 διέφερε με την M0.4 ($p<0.01$) (Γράφημα 35).



Γράφημα 35: Περιεκτικότητα φιλέτου λαβρακίων σε λίπος

3.3.3 Επίδραση των σιτηρεσίων στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε υγρασία

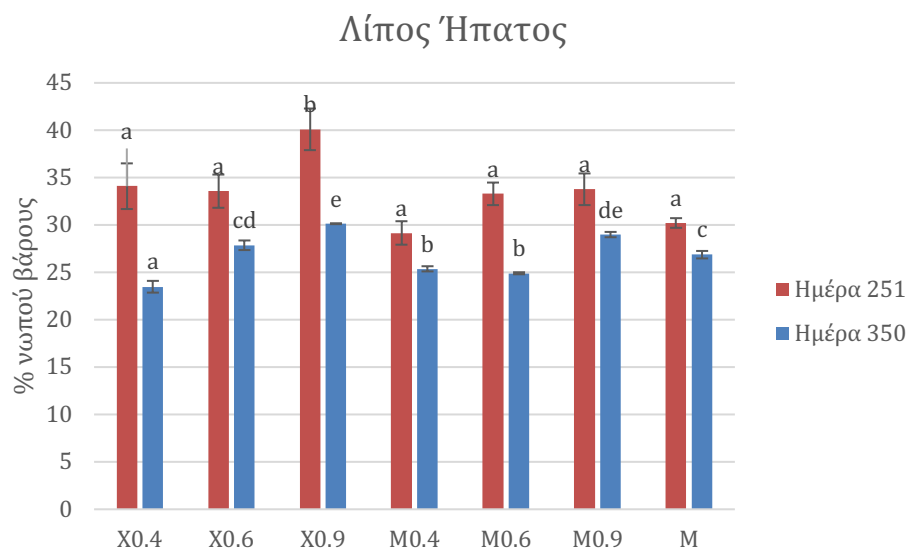
Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε υγρασία (Πίνακας 13).

3.3.4 Επίδραση των σιτηρεσίων στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε τέφρα

Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε τέφρα (Πίνακας 13).

3.3.5 Επίδραση των σιτηρεσίων στην περιεκτικότητα του ήπατος σε λίπος

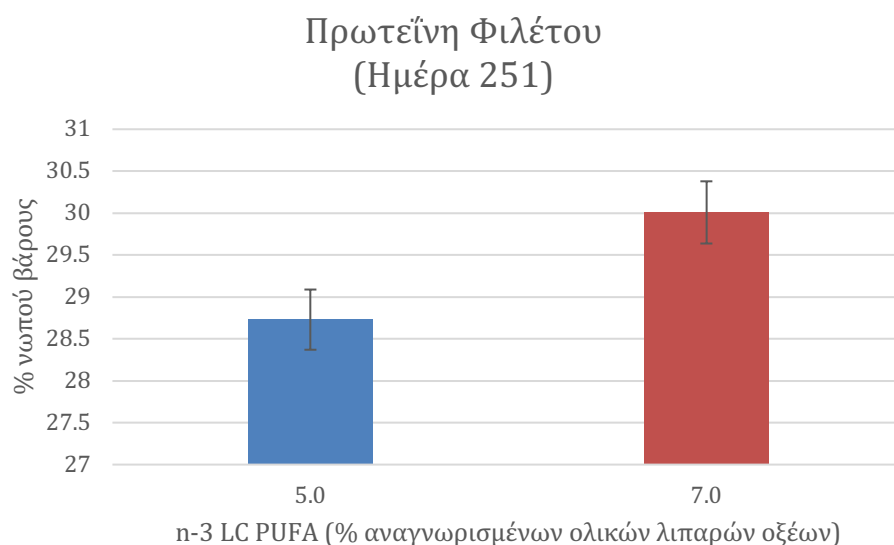
Την ημέρα 251 (Πίνακας 13) η Χ0.9 παρουσίασε στατιστικά σημαντική υψηλότερη περιεκτικότητα λίπους στο ήπαρ από όλες τις υπόλοιπες επεμβάσεις ($p < 0.01$). Επιπλέον, την ημέρα 350 διέφερε σημαντικά από όλες τις επεμβάσεις, εκτός της Μ0.9. Η Χ0.4 παρουσίασε στην ίδια περίοδο τη χαμηλότερη λιποπεριεκτικότητα στο ήπαρ, ενώ οι Μ0.4 και Μ0.6 διέφεραν από τις υπόλοιπες επεμβάσεις και παρουσίασαν τη δεύτερη χαμηλότερη λιποπεριεκτικότητα μετά την Χ0.4 ($p < 0.001$) (Γράφημα 36).



Γράφημα 36: Περιεκτικότητα ήπατος λαβρακίων σε λίπος

3.3.6 Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε πρωτεΐνη

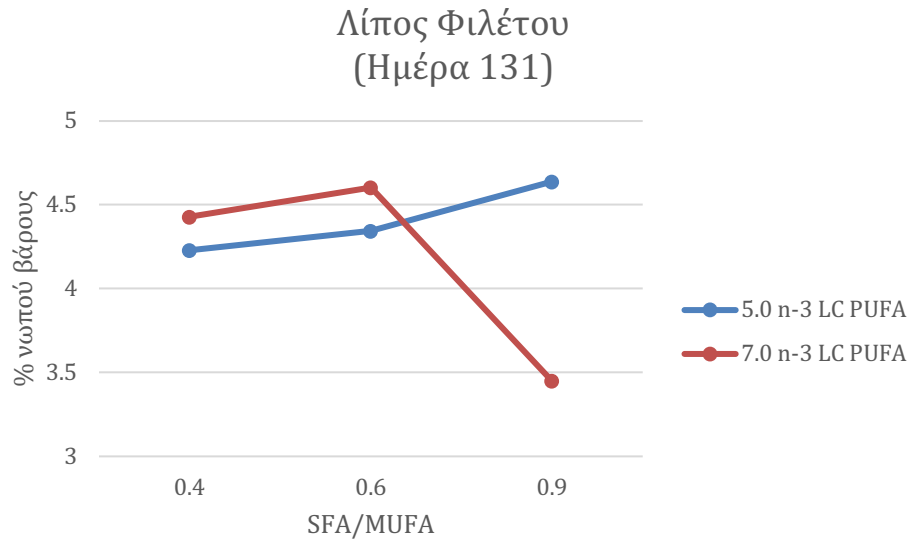
Την ημέρα 251 παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA (Γράφημα 37)



Γράφημα 37: Επίδραση του Επιπέδου n-3 LC PUFA στην περιεκτικότητα πρωτεΐνης του φιλέτου λαβρακιών (ημέρα 251)

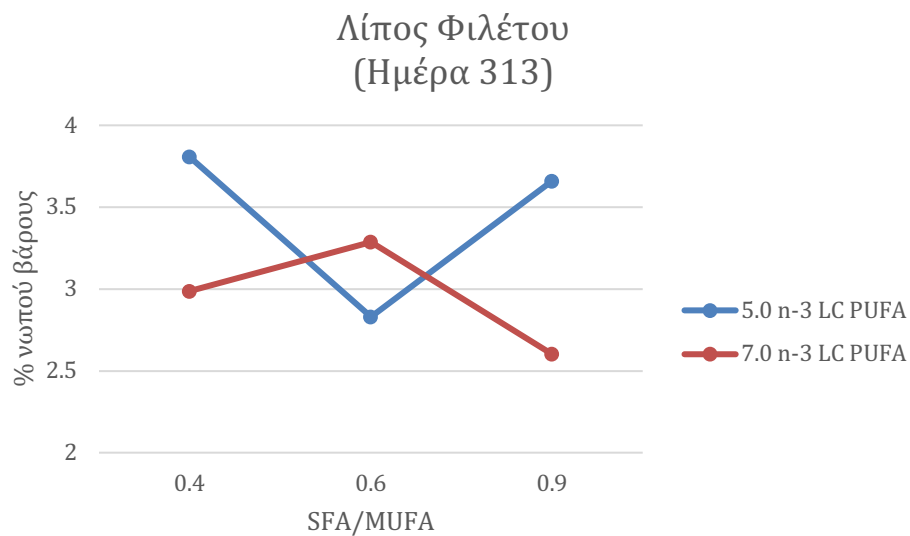
3.3.7 Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε λίπος

Την 131^η ημέρα εκτροφής παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε λίπος ($F(2,57)=5.491, p<0.01$) (Γράφημα 38). Στο μέσο επίπεδο n-3 LC PUFA (7), οι επεμβάσεις M0.4 και M0.6 παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερη περιεκτικότητα λίπους στο φιλέτο από την M0.9.



Γράφημα 38: Αλληλεπίδραση επιπέδου n-3 LC PUFA και λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα του φιλέτου λαβρακιού σε λίπος (ημέρα 131)

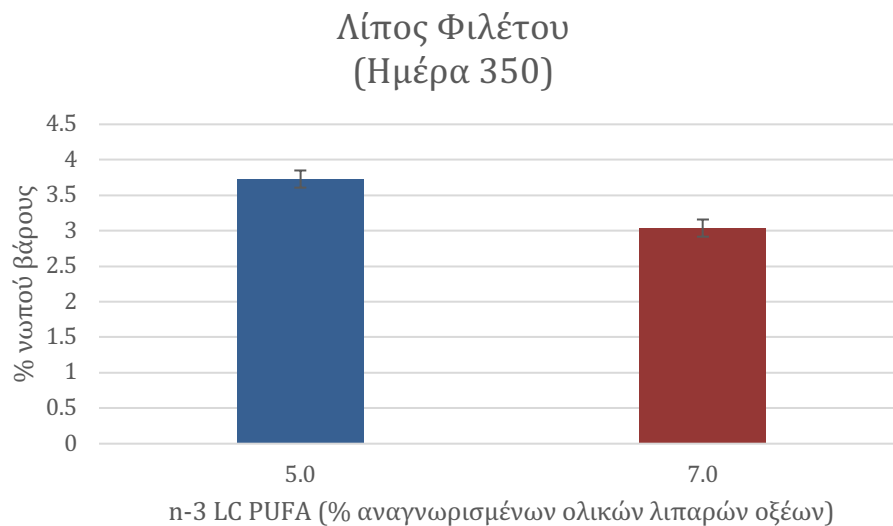
Την ημέρα 313 παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε λίπος ($F(2,30)=11.832$, $p<0.001$) (Γράφημα 39). Στο χαμηλό επίπεδο n-3 LC PUFA (5), οι επεμβάσεις X0.4 και X0.9 παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερη περιεκτικότητα λίπους στο φιλέτο από την X0.6. Στο μέσο επίπεδο n-3 LC PUFA (7), η επέμβαση M0.6 παρουσίασε σημαντικά υψηλότερη περιεκτικότητα λίπους στο φιλέτο από την M0.9.



Γράφημα 39: Αλληλεπίδραση επιπέδου n-3 LC PUFA και λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα του φιλέτου λαβρακιού σε λίπος (ημέρα 313)

Ταυτόχρονα παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA Λιπαρών Οξέων, με το χαμηλό επίπεδο να καταγράφει υψηλότερη περιεκτικότητα λίπους στο φιλέτο.

Την ημέρα 350 παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA Λιπαρών Οξέων (Γράφημα 40)



Γράφημα 40: Επίδραση του Επιπέδου n-3 LC PUFA στην περιεκτικότητα λίπους του φιλέτου λαβρακιών (ημέρα 350)

3.3.8 Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα φιλέτου σε υγρασία

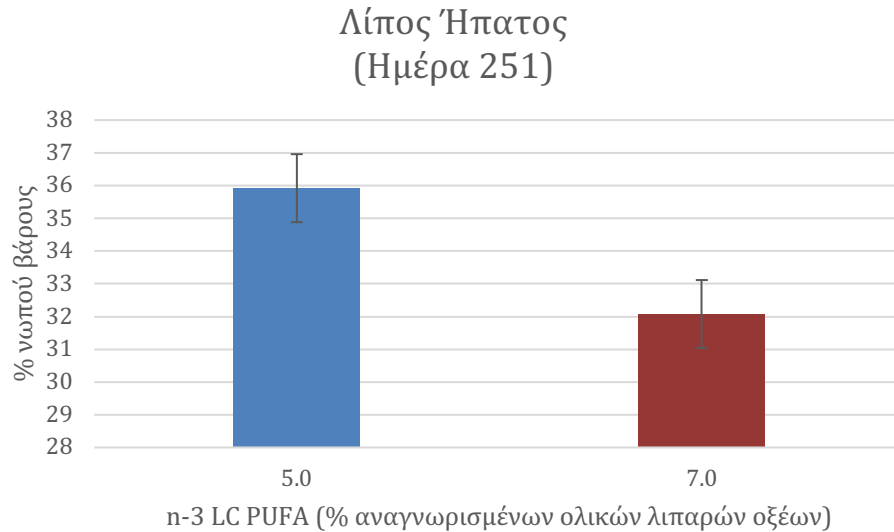
Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές επιδράσεις στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε υγρασία (Πίνακας 13).

3.3.9 Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε τέφρα

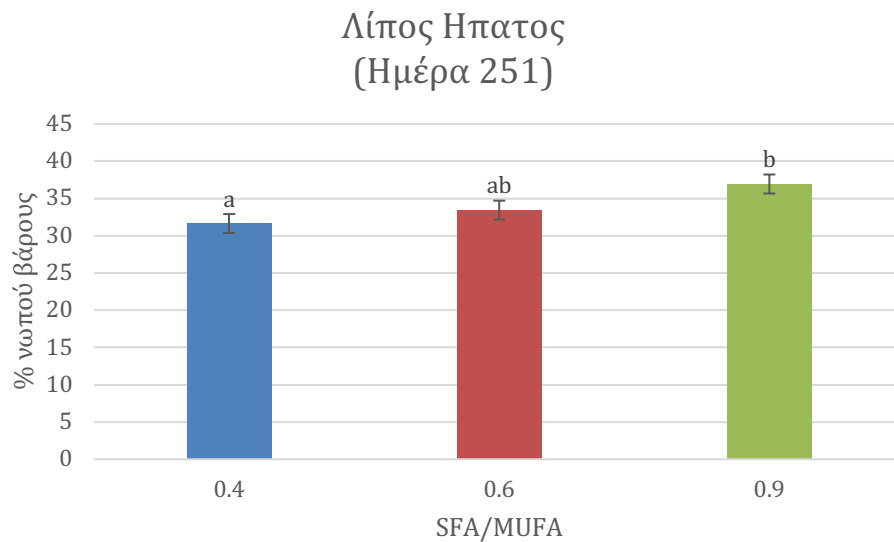
Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές επιδράσεις στην περιεκτικότητα του φιλέτου σε τέφρα (Πίνακας 13).

3.3.10 Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα του ήπατος σε λίπος

Την ημέρα 251, οι επιδράσεις του επιπέδου των n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων (Γράφημα 41) και του λόγου SFA/MUFA (Γράφημα 42) ήταν στατιστικά σημαντικές.



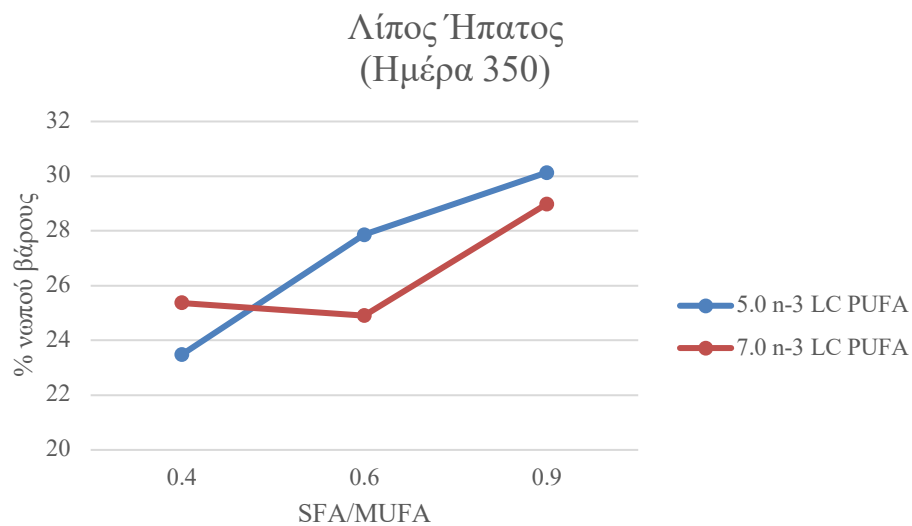
Γράφημα 41: Επίδραση του Επιπέδου n-3 LC PUFA στην περιεκτικότητα λίπους του ήπατος λαβρακιών (ημέρα 251)



Γράφημα 42: Επίδραση του λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα λίπους του ήπατος λαβρακιών στο τέλος της 2^{ης} περιόδου εκτροφής

Επιπλέον, την ημέρα 350 ήταν στατιστικά σημαντική η επίδραση του λόγου SFA/MUFA. Επίσης παρατηρήθηκε και σημαντική αλληλεπίδρασή του

($F(2,23)=19.948$, $p<0.001$) με το επίπεδο των n-3 LC PUFA (Γράφημα 43). Συγκεκριμένα, στο επίπεδο 5, η περιεκτικότητα του ήπατος σε λίπος ήταν σημαντικά διαφορετική μεταξύ και των τριών λόγων SFA/MUFA, με την X0.4 να παρουσιάζει τη χαμηλότερη τιμή και την X0.9 την υψηλότερη. Στο επίπεδο 7, η M0.9 παρουσίασε την υψηλότερη τιμή, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις.



Γράφημα 43: Αλληλεπίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στην περιεκτικότητα λίπους του ήπατος των λαβρακίων (ημέρα 350)

Πίνακας 13: Σύσταση φιλέτου λαβρακίων στις διαφορετικές περιόδους εκτροφής. Ε: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA.

		<i>One Way Anova</i>								<i>Two Way Anova</i>		
		X0.4	X0.6	X0.9	M0.4	M0.6	M0.9	M	P	E	Λ	E×Λ
Πρωτεΐνη	Ημέρα 131	28.8±0.44	28.8±0.08	28.7±0.98	28.6±0.42	30.1±1.09	29.6±0.61	28.5±0.80	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	Ημέρα 251	29.5±0.21	28.5±1.19	28.2±0.61	29.6±0.62	30.1±0.55	30.4±0.26	29.4±0.56	ΜΣ	*	ΜΣ	ΜΣ
	Ημέρα 313	28.8±0.89	30.0±0.86	29.4±0.29	30.0±0.53	30.4±0.32	30.2±0.66	30.3±0.74	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	Ημέρα 350	28.9±0.56	29.1±0.07	30.1±0.23	30.0±0.66	30.1±0.26	30.1±0.43	30.0±0.06	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Λίπος	Ημέρα 131	4.2±0.11 ^b	4.3±0.13 ^b	4.6±0.32 ^b	4.4±0.10 ^b	4.6±0.41 ^b	3.4±0.07 ^a	4.1±0.24 ^{ab}	*	ΜΣ	ΜΣ	**
	Ημέρα 251	3.1±0.15 ^a	3.6±0.20 ^{ab}	4.0±0.31 ^b	3.4±0.33 ^{ab}	3.1±0.10 ^a	3.4±0.19 ^{ab}	3.7±0.21 ^{ab}	*	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	Ημέρα 313	3.8±0.21 ^c	2.8±0.27 ^{ab}	3.7±0.08 ^c	3.0±0.13 ^{ab}	3.3±0.14 ^{bc}	2.6±0.07 ^a	3.6±0.18 ^c	***	**	ΜΣ	***
	Ημέρα 350	4.0±0.32 ^d	3.7±0.10 ^{cd}	3.4±0.19 ^{abcd}	3.0±0.14 ^{ab}	3.3±0.23 ^{abc}	2.9±0.21 ^a	3.6±0.19 ^{bcd}	**	***	ΜΣ	ΜΣ
Υγρασία	Ημέρα 131	66.6±0.22	66.3±0.24	66.0±0.20	66.5±0.19	66.1±0.21	66.1±0.27	66.5±0.22	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	Ημέρα 251	65.9±0.27	66.5±0.24	66.0±0.28	66.2±0.25	65.6±0.26	65.6±0.26	66.0±0.10	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	Ημέρα 313	65.7±0.47	65.9±0.40	66.6±0.34	66.2±0.46	65.8±0.37	66.0±0.39	65.5±0.39	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	Ημέρα 350	66.8±0.16	66.6±0.23	66.4±0.37	66.7±0.25	66.1±0.29	66.7±0.26	66.0±0.23	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Τέφρα	Ημέρα 131	1.9±0.02	1.9±0.02	1.9±0.03	1.9±0.02	1.9±0.03	1.9±0.01	1.9±0.03	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	Ημέρα 251	2.0±0.02	2.0±0.03	1.9±0.03	2.0±0.03	2.0±0.02	2.0±0.00	1.9±0.02	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	Ημέρα 313	1.7±0.08	1.8±0.06	1.8±0.04	1.8±0.04	1.8±0.05	1.8±0.03	1.8±0.07	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	Ημέρα 350	1.9±0.05	1.8±0.02	2.0±0.03	1.9±0.05	2.0±0.07	1.9±0.05	1.8±0.04	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Λίπος Ήπατος	Ημέρα 251	34.1±2.41 ^a	33.6±1.75 ^a	40.1±2.20 ^b	29.2±1.24 ^a	33.3±1.19 ^a	33.8±1.67 ^a	30.2±0.51 ^a	**	*	*	ΜΣ
	Ημέρα 350	23.5±0.62 ^a	27.9±0.51 ^{cd}	30.1±0.05 ^c	25.4±0.27 ^b	24.9±0.11 ^b	29.0±0.28 ^{dc}	26.9±0.39 ^c	***	ΜΣ	***	***

Οι διαφορετικοί εκθέτες στις τιμές μίας σειράς υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (n=4, ***: P< 0.001, **: P<0.01, *: P<0.05, ΜΣ: P>0.05)

3.4 Σύσταση του λίπους του φιλέτου σε λιπαρά οξέα

Στους Πίνακες 14 και 15 παρουσιάζεται η σύσταση των λιπαρών οξέων του λίπους (% αναγνωρισμένων ολικών λιπαρών οξέων), ενώ στους Πίνακες 16 και 17 παρουσιάζεται η σύσταση των λιπαρών οξέων του λίπους (g/100g ιστού) του φιλέτου των λαβρακιών στο στις ημέρες 251 και 350 αντίστοιχα, για κάθε διατροφική επέμβαση.

Την ημέρα 251, το επίπεδο SFA του φιλέτου ήταν εξισορροπημένο μεταξύ των επεμβάσεων, παρά τα διαφορετικά επίπεδα που παρείχαν οι πειραματικές τροφές. Το περιεχόμενο σε MUFA μειώθηκε σε σύγκριση με τα αντίστοιχα επίπεδα των τροφών, αλλά ακολούθησε μια τάση, ανάλογη του πειραματικού σχεδιασμού. Με εξαίρεση τις επεμβάσεις που εκτράφηκαν στο χαμηλό λόγο SFA/MUFA (X0.4 και M0.4), ο αντίστοιχος λόγος στο φιλέτο ήταν ίδιος με εκείνον του σιτηρεσίου. Στις συγκεκριμένες επεμβάσεις η περιεκτικότητα σε SFA ήταν σημαντικά χαμηλότερη σε σύγκριση με τις υπόλοιπες. Στις επεμβάσεις που εκτράφηκαν στο μέσο (X0.6 και M0.6) και στον υψηλό λόγο SFA/MUFA (X0.9 και M0.9), τα SFA του φιλέτου ήταν αντίστοιχα παρόμοια και υψηλότερα από το Μάρτυρα.

Το άθροισμα των n-6 λιπαρών οξέων του λίπους του φιλέτου ήταν επίσης εξισορροπημένο, όπως επίσης και το AA (20:4n-6), το οποίο βρέθηκε αυξημένο σε σύγκριση με το επίπεδο των πειραματικών τροφών. Τα αθροίσματα των n-3 και των n-3 LC PUFA βρέθηκαν αυξημένα στο φιλέτο, όπως επίσης και ο λόγος n-3/n-6. Παρότι οι τροφές παρείχαν δύο διαφορετικές τιμές του συγκεκριμένου λόγου, οι αντίστοιχες τιμές στο φιλέτο ήταν παρόμοιες, με εξαίρεση τους χειρισμούς X0.4 και Ψ0.6, όπου παρατηρήθηκε η χαμηλότερη τιμή. Η επέμβαση του μάρτυρα παρουσίασε ελαφρώς αυξημένο λόγο στο φιλέτο, σε σύγκριση με τον αντίστοιχο της τροφής και ήταν σε όλα τα χρονικά σημεία δειγματοληψίας σημαντικά υψηλότερος σε σύγκριση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις.

Οι 99 ημέρες της περιόδου τελικής διατροφής, όπου όλες οι πειραματικές επεμβάσεις εκτρέφονταν με την τροφή του Μάρτυρα, φάνηκε πως συνέβαλαν στην ανάκαμψη των χαμηλών επιπέδων n-3 LC PUFA των φιλέτων, που καταγράφηκαν την ημέρα 251. Το άθροισμα των n-3 λιπαρών οξέων ήταν υψηλότερο στις επεμβάσεις που είχαν διατραφεί το προηγούμενο χρονικό διάστημα, στο μέσο επίπεδο n-3 LC PUFA. Επιπλέον και οι τρεις χειρισμοί αυτής της επέμβασης παρουσίασαν παρόμοια περιεκτικότητα n-3 LC PUFA. Τέλος, ο λόγος n-3/n-6 βρέθηκε μεγαλύτερος του 1 για όλες τις επεμβάσεις.

Πίνακας 14: Σύσταση Λιπαρών Οξέων (% αναγνωρισμένων ολικών λιπαρών οξέων) του φιλέτου λαβρακιών (ημέρα 251). Ε: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA

One Way ANOVA									Two Way ANOVA		
Ημέρα 251	X0.4	X0.6	X0.9	M0.4	M0.6	M0.9	M	p	E	Λ	E×Λ
14:0	1.44±0.032 ^a	1.53±0.030 ^a	1.39±0.049 ^a	1.67±0.057 ^b	1.89±0.038 ^c	2.01±0.039 ^c	3.18±0.092 ^d	***	***	**	***
iso 15:0	0.05±0.003 ^a	0.06±0.003 ^{ab}	0.06±0.003 ^{abc}	0.07±0.004 ^{cd}	0.07±0.004 ^{bcd}	0.08±0.001 ^d	0.14±0.004 ^e	***	***	*	ΜΣ
15:0	0.19±0.002 ^b	0.2±0.008 ^{bc}	0.17±0.003 ^a	0.22±0.003 ^d	0.2±0.003 ^c	0.23±0.004 ^d	0.34±0.003 ^e	***	***	ΜΣ	***
iso 16:0	0.03±0.005 ^a	0.05±0.003 ^a	0.08±0.004 ^b	0.09±0.008 ^b	0.04±0.007 ^a	0.05±0.003 ^a	0.09±0.010 ^b	***	*	**	***
16:0	17.08±0.302 ^b	20.03±0.408 ^c	21.04±0.017 ^d	15.54±0.363 ^a	19.81±0.196 ^c	22.69±0.433 ^e	17.07±0.092 ^b	***	ΜΣ	***	**
16:1n-7	1.88±0.023 ^a	1.95±0.052 ^a	2.1±0.088 ^{ab}	2.21±0.045 ^{bc}	2.24±0.015 ^{bc}	2.41±0.106 ^c	3.87±0.096 ^d	***	***	*	ΜΣ
16:1n-5	0.12±0.003 ^a	0.14±0.006 ^{ab}	0.11±0.005 ^a	0.13±0.016 ^{ab}	0.13±0.012 ^{ab}	0.15±0.005 ^b	0.25±0.003 ^c	**	*	ΜΣ	*
16:2n-6	0.06±0.002 ^a	0.06±0.001 ^a	0.05±0.005 ^a	0.11±0.017 ^b	0.11±0.016 ^b	0.08±0.006 ^{ab}	0.07±0.002 ^a	***	***	ΜΣ	ΜΣ
16:2n-4	0.09±0.008 ^a	0.09±0.011 ^a	0.13±0.003 ^b	0.16±0.005 ^c	0.13±0.002 ^b	0.1±0.012 ^a	0.29±0.006 ^d	***	***	ΜΣ	***
17:0	0.22±0.008 ^d	0.09±0.002 ^a	0.13±0.003 ^b	0.16±0.003 ^c	0.22±0.003 ^d	0.11±0.002 ^a	0.23±0.010 ^d	***	***	***	***
16:3n-4	0.14±0.005 ^a	0.25±0.008 ^{bc}	0.22±0.005 ^b	0.25±0.025 ^{bc}	0.16±0.002 ^a	0.27±0.004 ^c	0.36±0.010 ^d	***	*	**	***
16:3n-3	0.06±0.003 ^a	0.1±0.013 ^{bc}	0.16±0.009 ^{de}	0.17±0.004 ^e	0.07±0.001 ^{ab}	0.13±0.023 ^{cd}	0.28±0.010 ^f	***	ΜΣ	**	***
16:4n-3	0.14±0.003	0.12±0.014	0.09±0.013	MA	0.09±0.023	0.11±0.016	0.12±0.022	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
18:0	4.38±0.322 ^a	4.64±0.121 ^{ab}	5.35±0.120 ^c	5.04±0.113 ^{bc}	4.66±0.112 ^{ab}	5.3±0.118 ^c	4.91±0.067 ^{bc}	***	ΜΣ	**	ΜΣ
18:1n-9	34.59±0.618 ^c	32.81±0.428 ^d	27.79±0.401 ^b	28.84±0.417 ^{bc}	30.2±0.479 ^c	28.94±0.545 ^b	18.34±0.365 ^a	***	***	***	***
18:1n-7	3.22±0.056 ^f	2.77±0.090 ^d	1.76±0.030 ^a	2.34±0.040 ^{bc}	2.95±0.074 ^e	2.46±0.059 ^c	2.22±0.014 ^b	***	ΜΣ	***	***
18:1n-5	0.71±0.098 ^d	0.34±0.018 ^{bc}	0.13±0.005 ^a	0.18±0.010 ^a	0.59±0.053 ^d	0.46±0.023 ^c	0.25±0.005 ^{ab}	***	ΜΣ	**	***
18:2n-7 (5c, 11c)	0.35±0.007 ^c	0.37±0.013 ^c	0.35±0.009 ^c	0.27±0.014 ^b	0.3±0.003 ^b	0.28±0.010 ^b	0.22±0.009 ^a	***	***	ΜΣ	ΜΣ
18:2n-7 (8c, 11c)	0.4±0.081	0.42±0.068	MA	MA	0.47±0.018	0.6±0.054	0.36±0.046	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
18:2n-6	13.99±0.268 ^d	11.81±0.437 ^c	13.78±0.118 ^d	14.06±0.265 ^d	12.08±0.227 ^c	9.28±0.657 ^b	7.5±0.132 ^a	***	***	***	***
18:2n-4	0.15±0.015 ^b	0.09±0.006 ^a	0.08±0.003 ^a	0.09±0.046 ^a	0.14±0.010 ^b	0.13±0.006 ^b	0.16±0.004 ^b	***	ΜΣ	ΜΣ	**
18:3n-6	0.21±0.012 ^a	0.19±0.008 ^{cd}	0.24±0.003 ^d	0.2±0.007 ^c	0.17±0.009 ^a	0.13±0.010 ^b	0.15±0.005 ^c	***	***	ΜΣ	***
18:3n-4	0.17±0.022	0.22±0.032	0.09±0.005	MA	0.25±0.006	0.23±0.018	0.17±0.026	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
19:1	0.11±0.008	0.13±0.013	MA	MA	0.11±0.020	0.11±0.004	0.14±0.010	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
18:3n-3	0.2±0.011 ^a	1.87±0.131 ^{cd}	1.97±0.029 ^d	3.11±0.082 ^c	0.3±0.008 ^a	0.74±0.097 ^b	1.65±0.040 ^c	***	ΜΣ	***	***

18:4n-3	0.1±0.004 ^a	0.27±0.012 ^{bc}	0.35±0.017 ^{cd}	0.42±0.078 ^d	0.11±0.004 ^a	0.19±0.022 ^{ab}	1.04±0.026 ^e	***	ΜΣ	ΜΣ	***
20:0	0.17±0.008 ^b	0.31±0.019 ^e	0.24±0.006 ^c	0.27±0.006 ^d	0.12±0.007 ^a	0.24±0.006 ^c	0.22±0.005 ^c	***	**	*	***
20:1n-11	0.44±0.011 ^c	0.44±0.044 ^c	0.2±0.013 ^a	0.28±0.005 ^b	0.48±0.012 ^c	0.56±0.031 ^d	0.49±0.014 ^{cd}	***	***	**	***
20:1n-9	2.76±0.042 ^b	2.63±0.061 ^b	1.81±0.038 ^a	2.81±0.155 ^b	3.03±0.067 ^c	3.07±0.032 ^c	3.47±0.065 ^d	***	***	***	***
20:1n-7	0.17±0.022	MA	0.08±0.005	MA	MA	MA	0.18±0.013	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
20:2n-6	0.29±0.007 ^a	1.51±0.183 ^{bc}	0.1±0.007 ^a	0.17±0.033 ^a	0.25±0.013 ^a	1.81±0.117 ^c	1.18±0.139 ^b	***	ΜΣ	***	***
20:3n-6	0.96±0.066 ^d	0.68±0.022 ^b	0.57±0.003 ^a	0.81±0.029 ^c	0.81±0.026 ^c	0.71±0.013 ^b	0.62±0.014 ^{ab}	***	ΜΣ	***	***
20:4n-6	0.76±0.025 ^c	0.46±0.020 ^a	0.71±0.023 ^{bc}	0.8±0.031 ^c	0.67±0.027 ^b	0.64±0.029 ^b	0.99±0.036 ^d	***	**	***	***
20:3n-3	0.12±0.002 ^a	0.13±0.012 ^a	0.15±0.005 ^b	0.19±0.010 ^c	0.13±0.001 ^a	0.13±0.004 ^a	0.17±0.005 ^c	***	**	**	***
20:4n-3	0.46±0.006 ^c	0.28±0.003 ^a	0.3±0.009 ^a	0.37±0.015 ^b	0.57±0.015 ^d	0.44±0.044 ^c	0.52±0.011 ^d	***	***	*	***
20:5n-3	1.95±0.049 ^a	1.81±0.101 ^a	3.46±0.038 ^c	3.28±0.110 ^c	2.63±0.125 ^b	2.35±0.155 ^b	6.81±0.054 ^d	***	***	***	***
22:1n-11	1.06±0.025 ^b	1.05±0.033 ^b	0.89±0.030 ^a	1.35±0.076 ^c	1.53±0.042 ^d	1.57±0.022 ^d	2.94±0.060 ^e	***	***		***
22:1n-9	0.51±0.014 ^d	0.48±0.014 ^c	0.3±0.009 ^a	0.46±0.009 ^c	0.44±0.018 ^{bc}	0.42±0.014 ^b	0.42±0.009 ^b	***	ΜΣ	***	***
21:5n-3	0.17±0.036 ^a	0.27±0.024 ^a	0.41±0.027 ^b	0.42±0.013 ^b	0.28±0.063 ^a	0.26±0.031 ^a	0.56±0.036 ^c	***	ΜΣ	ΜΣ	***
22:5n-3	0.94±0.047 ^a	1.54±0.096 ^c	1.1±0.012 ^{ab}	1.17±0.011 ^b	1.08±0.028 ^{ab}	1.48±0.089 ^c	1.44±0.032 ^c	***	ΜΣ	**	***
24:0	0.54±0.062	0.74±0.064	0.38±0.152	0.7±0.000	0.97±0.122	0.68±0.118	0.67±0.075	ΜΣ	ΜΣ	*	ΜΣ
22:6n-3	7.93±0.519 ^{ab}	6.49±0.110 ^a	10.69±0.328 ^c	10.3±0.256 ^c	8.75±0.263 ^b	7.72±0.236 ^{ab}	14.89±0.859 ^d	***	*	***	***
24:1n-9	0.69±0.060 ^{ab}	0.57±0.044 ^a	1.02±0.123 ^{cd}	1.28±0.099 ^e	0.81±0.042 ^{bc}	0.65±0.020 ^{ab}	1.06±0.082 ^{de}	***	*	**	***
SFA	23.72±0.551 ^a	27.65±0.519 ^{bc}	28.37±0.264 ^c	23.14±0.471 ^a	27.45±0.163 ^{bc}	30.51±0.856 ^d	26.15±0.133 ^b	***	ΜΣ	***	ΜΣ
MUFA	46.02±0.753 ^d	44.75±0.848 ^d	35.91±0.547 ^b	40.3±0.775 ^c	41.82±0.312 ^c	40.77±0.638 ^c	33.02±0.362 ^a	***	ΜΣ	***	***
n-3	12.62±0.385 ^a	12.45±0.514 ^a	18.82±0.392 ^c	18.95±0.943 ^c	14.48±0.226 ^b	13.27±0.442 ^{ab}	28.96±0.420 ^d	***	*	***	***
n-3 LC PUFA	11.39±0.588 ^b	10.12±0.397 ^a	16.16±0.408 ^d	16.27±0.515 ^d	13.49±0.303 ^c	12.16±0.436 ^b	25.93±0.465 ^e	***	***	***	***
n-6	16.59±0.191 ^e	14.66±0.257 ^c	15.26±0.178 ^d	16.01±0.165 ^{de}	14.36±0.057 ^c	12.2±0.467 ^b	9.56±0.111 ^a	***	***	***	***
EPA+DHA	9.88±0.562 ^b	8.09±0.312 ^a	14.33±0.321 ^d	14.13±0.505 ^d	11.38±0.379 ^c	10.06±0.377 ^b	23.43±0.452 ^e	***	**	***	***
SFA/MUFA	0.53±0.020 ^a	0.64±0.020 ^{bc}	0.83±0.028 ^d	0.58±0.015 ^b	0.66±0.010 ^c	0.83±0.016 ^d	0.78±0.011 ^d	***	ΜΣ	***	ΜΣ
n-3/n-6	0.78±0.027 ^a	0.9±0.013 ^b	1.24±0.020 ^e	1.2±0.057 ^{de}	1.07±0.026 ^c	1.12±0.038 ^{cd}	3.09±0.057 ^f	***	***	***	***
18:1n-9/n-3 LC HUFA	3.17±0.188 ^d	3.22±0.087 ^d	1.75±0.068 ^b	1.82±0.078 ^b	2.29±0.060 ^c	2.45±0.080 ^c	0.7±0.021 ^a	***	***	***	***
SFA/n-3 HUFA	2.16±0.090 ^{bc}	2.87±0.176 ^c	1.78±0.043 ^{ab}	1.46±0.059 ^{ab}	2.05±0.047 ^{bc}	2.62±0.165 ^c	1.19±0.097 ^a	***	***	ΜΣ	***

Οι διαφορετικοί εκθέτες στις τιμές μίας σειράς υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (n=4, ***: P<0.001, **: P<0.01, *: P<0.05, ΜΣ: P>0.05, MA: Μη Ανιχνεύσιμο)

Πίνακας 15: Σύσταση Λιπαρών Οξέων (% αναγνωρισμένων ολικών λιπαρών οξέων) του φιλέτου λαβρακίων (ημέρα 350). Ε: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA

<i>One Way ANOVA</i>									<i>Two Way ANOVA</i>		
Ημέρα 350	X0.4	X0.6	X0.9	M0.4	M0.6	M0.9	M	p	E	Λ	E×Λ
14:0	2.19±0.028 ^a	2.88±0.012 ^{de}	2.63±0.085 ^{bcd}	2.39±0.065 ^{ab}	2.53±0.017 ^{bc}	2.73±0.141 ^{cd}	3.09±0.094 ^e	***	ΜΣ	***	**
iso 15:0	0.11±0.008 ^a	0.12±0.001 ^{bc}	0.11±0.003 ^{bc}	0.11±0.004 ^a	0.11±0.003 ^a	0.13±0.007 ^{bc}	0.14±0.008 ^c	**	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
15:0	0.26±0.004 ^a	0.30±0.006 ^b	0.31±0.005 ^{bc}	0.29±0.003 ^b	0.30±0.003 ^b	0.32±0.010 ^c	0.34±0.009 ^d	***	**	***	*
iso 16:0	0.07±0.008 ^a	0.07±0.005 ^a	0.08±0.011 ^a	0.08±0.007 ^a	0.07±0.004 ^a	0.09±0.001 ^a	0.12±0.002 ^b	**	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
16:0	16.72±0.203 ^a	18.79±0.122 ^c	19.93±0.201 ^d	17.07±0.180 ^a	19.01±0.055 ^c	20.18±0.242 ^d	17.25±0.142 ^b	***	ΜΣ	***	ΜΣ
16:1n-7	2.65±0.023 ^a	3.41±0.031 ^c	3.05±0.110 ^b	2.72±0.075 ^a	2.87±0.018 ^{ab}	3.04±0.115 ^b	3.90±0.090 ^d	***	*	***	**
16:1n-5	0.20±0.008 ^a	0.22±0.005 ^{ab}	0.24±0.014 ^{bcd}	0.24±0.005 ^{bc}	0.23±0.001 ^b	0.25±0.001 ^{cd}	0.27±0.004 ^d	**	*	**	ΜΣ
16:2n-6	0.08±0.002 ^c	0.05±0.003 ^a	0.06±0.003 ^b	0.07±0.001 ^b	0.06±0.002 ^b	0.05±0.003 ^a	0.06±0.002 ^b	***	*	***	***
16:2n-4	0.14±0.004 ^a	0.21±0.003 ^c	0.21±0.006 ^c	0.18±0.002 ^b	0.19±0.006 ^b	0.19±0.005 ^b	0.30±0.005 ^d	***	ΜΣ	***	***
17:0	0.14±0.003	0.16±0.003	0.20±0.016	0.18±0.002	0.19±0.003	0.20±0.002	0.23±0.041	ΜΣ	**	**	ΜΣ
16:3n-4	0.21±0.044 ^a	0.30±0.007 ^b	0.35±0.036 ^b	0.35±0.004 ^b	0.33±0.009 ^b	0.36±0.009 ^b	0.37±0.018 ^b	**	*	*	*
16:3n-3	0.20±0.005 ^a	0.19±0.001 ^a	0.22±0.015 ^a	0.21±0.005 ^a	0.20±0.008 ^a	0.21±0.010 ^a	0.30±0.021 ^b	***	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
16:4n-3	0.05±0.004	0.06±0.012	0.09±0.021	0.08±0.005	0.07±0.004	0.08±0.004	0.08±0.01	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
18:0	4.71±0.142 ^b	4.24±0.072 ^a	4.76±0.217 ^{bc}	4.90±0.085 ^{bc}	4.76±0.023 ^b	5.26±0.259 ^c	5.16±0.084 ^{bc}	*	*	*	ΜΣ
18:1n-9	29.78±0.298 ^c	27.07±0.282 ^d	25.13±0.982 ^c	25.39±0.467 ^c	24.89±0.159 ^c	22.87±0.423 ^b	17.75±0.275 ^a	***	***	***	ΜΣ
18:1n-7	2.90±0.051 ^d	2.47±0.010 ^{bc}	2.37±0.023 ^{ab}	2.61±0.069 ^c	2.45±0.018 ^b	2.45±0.089 ^b	2.26±0.033 ^a	***	ΜΣ	***	*
18:1n-5	0.35±0.029	0.27±0.002	0.31±0.045	0.30±0.023	0.28±0.011	0.33±0.015	0.27±0.009	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
18:2n-7 (5c, 11c)	0.36±0.010 ^c	0.28±0.005 ^c	0.31±0.011 ^d	0.22±0.001 ^{ab}	0.23±0.003 ^b	0.24±0.004 ^b	0.20±0.002 ^a	***	***	**	***
18:2n-7 (8c, 11c)	0.22±0.017 ^a	0.11±0.002 ^b	0.12±0.023 ^b	0.13±0.008 ^b	0.12±0.004 ^b	0.13±0.006 ^b	MA	**	ΜΣ	**	**
18:2n-6	11.85±0.180 ^d	10.12±0.113 ^c	9.84±0.347 ^c	10.17±0.152 ^c	9.79±0.061 ^c	8.27±0.089 ^b	7.35±0.154 ^a	***	***	***	**
18:2n-4	0.11±0.003	0.11±0.003	0.13±0.009	0.11±0.005	0.12±0.001	0.11±0.016	0.15±0.005	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
18:3n-6	0.20±0.003 ^c	0.16±0.003 ^d	0.18±0.008 ^c	0.14±0.006 ^{ab}	0.14±0.001 ^{bc}	0.13±0.004 ^a	0.16±0.006 ^{cd}	***	***	*	**
18:3n-4	0.13±0.009	0.11±0.002	0.14±0.025	0.14±0.007	0.12±0.004	0.13±0.007	MA	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
19:1	0.07±0.005	0.06±0.001	0.06±0.009	0.07±0.002	0.06±0.001	0.07±0.002	MA	ΜΣ	ΜΣ	*	ΜΣ
18:3n-3	2.40±0.053 ^c	1.95±0.033 ^d	1.55±0.063 ^b	2.07±0.055 ^d	1.75±0.026 ^c	1.39±0.033 ^a	1.62±0.040 ^{bc}	***	***	***	ΜΣ

18:4n-3	0.52±0.012 ^a	0.75±0.012 ^d	0.66±0.022 ^c	0.60±0.017 ^b	0.62±0.011 ^{bc}	0.67±0.025 ^c	1.05±0.015 ^e	***	ΜΣ	***	***
20:0	0.28±0.006 ^c	0.27±0.003 ^{bc}	0.25±0.003 ^{ab}	0.27±0.008 ^{bc}	0.26±0.006 ^{ab}	0.25±0.003 ^{ab}	0.24±0.013 ^a	**	ΜΣ	**	ΜΣ
20:1n-11	0.42±0.001 ^a	0.40±0.029 ^a	0.40±0.030 ^a	0.43±0.015 ^a	0.41±0.020 ^a	0.50±0.015 ^b	0.49±0.022 ^b	*	*	ΜΣ	ΜΣ
20:1n-9	3.11±0.047 ^a	3.32±0.039 ^{ab}	3.12±0.065 ^a	3.30±0.061 ^{ab}	3.18±0.015 ^a	3.28±0.126 ^a	3.51±0.102 ^b	***	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
20:1n-7	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	ΜΣ			
20:2n-6	0.90±0.101	0.42±0.011	0.41±0.025	0.50±0.031	0.47±0.038	0.54±0.036	MA	ΜΣ	ΜΣ	***	***
20:3n-6	0.64±0.011 ^d	0.51±0.002 ^a	0.54±0.005 ^b	0.63±0.007 ^{cd}	0.56±0.007 ^b	0.56±0.001 ^b	0.61±0.006 ^c	***	*	***	**
20:4n-6	0.64±0.023	0.66±0.015	0.84±0.068	0.87±0.043	0.65±0.239	0.93±0.062	1.07±0.025	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
20:3n-3	0.14±0.005 ^{bc}	0.12±0.005 ^{ab}	0.13±0.006 ^{abc}	0.15±0.005 ^c	0.11±0.021 ^a	0.15±0.003 ^{cd}	0.18±0.001 ^d	**	ΜΣ	*	ΜΣ
20:4n-3	0.34±0.003 ^a	0.36±0.004 ^{ab}	0.36±0.007 ^{bc}	0.37±0.006 ^{bc}	0.39±0.007 ^c	0.38±0.005 ^c	0.49±0.009 ^d	***	***	ΜΣ	ΜΣ
20:5n-3	3.53±0.042 ^a	4.73±0.063 ^b	4.98±0.171 ^b	4.71±0.129 ^b	5.10±0.077 ^b	5.48±0.155 ^c	7.03±0.036 ^d	**	***	***	*
22:1n-11	1.81±0.010 ^a	2.74±0.032 ^c	2.32±0.053 ^b	2.31±0.057 ^b	2.30±0.024 ^b	2.68±0.125 ^c	2.99±0.096 ^d	***	*	***	***
22:1n-9	0.44±0.009 ^{cd}	0.46±0.005 ^d	0.38±0.009 ^a	0.45±0.009 ^{cd}	0.42±0.005 ^{bc}	0.40±0.018 ^{ab}	0.42±0.016 ^{bc}	**	ΜΣ	***	*
21:5n-3	0.31±0.020 ^{ab}	0.28±0.018 ^a	0.36±0.036 ^{bc}	0.31±0.021 ^{ab}	0.35±0.004 ^{bc}	0.39±0.029 ^c	0.53±0.011 ^d	***	ΜΣ	*	ΜΣ
22:5n-3	1.00±0.007 ^b	0.93±0.001 ^a	1.09±0.033 ^c	1.10±0.021 ^c	1.12±0.014 ^c	1.14±0.021 ^c	1.36±0.005 ^d	***	***	**	*
24:0	0.30±0.078 ^b	0.25±0.047 ^b	0.08±0.015 ^a	0.03±0.028 ^a	0.05±0.025 ^a	0.09±0.008 ^a		**	**	ΜΣ	*
22:6n-3	8.92±0.226 ^a	9.34±0.223 ^a	10.90±0.703 ^b	12.71±0.572 ^c	12.08±0.297 ^{bc}	12.48±0.681 ^{bc}	17.19±0.375 ^d	***	***	ΜΣ	ΜΣ
24:1n-9	0.61±0.005 ^a	0.74±0.040 ^b	0.79±0.037 ^{bc}	1.03±0.046 ^d	1.02±0.005 ^d	0.88±0.021 ^c	1.44±0.061 ^e	***	***	ΜΣ	**
SFA	24.77±0.379 ^a	27.08±0.131 ^b	28.34±0.354 ^c	25.33±0.217 ^a	27.30±0.007 ^b	29.25±0.345 ^d	26.57±0.160 ^b	***	*	***	ΜΣ
MUFA	42.33±0.282 ^c	41.18±0.298 ^c	38.18±1.141 ^b	38.83±0.684 ^b	38.13±0.233 ^b	36.74±0.880 ^b	33.29±0.504 ^a	***	***	**	ΜΣ
n-3	17.42±0.289 ^a	18.70±0.252 ^{ab}	20.35±0.889 ^{bc}	22.30±0.682 ^d	21.79±0.382 ^{cd}	22.38±0.811 ^d	29.83±0.369 ^e	***	***	ΜΣ	ΜΣ
n-3 LC PUFA	13.80±0.276 ^a	15.35±0.271 ^a	17.34±0.898 ^b	18.88±0.701 ^{bc}	18.68±0.365 ^{bc}	19.49±0.851 ^c	26.79±0.397 ^d	***	***	*	ΜΣ
n-6	14.30±0.051 ^e	11.93±0.091 ^c	11.88±0.241 ^c	12.38±0.110 ^d	11.68±0.227 ^c	10.48±0.057 ^b	9.25±0.135 ^a	***	***	***	*
EPA+DHA	12.45±0.268 ^a	14.07±0.275 ^a	15.88±0.873 ^b	17.42±0.680 ^{bc}	17.17±0.359 ^{bc}	17.96±0.836 ^c	24.22±0.408 ^d	***	***	*	ΜΣ
SFA/MUFA	0.61±0.013 ^a	0.68±0.008 ^{bc}	0.76±0.033 ^{de}	0.67±0.014 ^b	0.74±0.005 ^{cd}	0.82±0.029 ^e	0.82±0.017 ^e	***	**	***	ΜΣ
n-3/n-6	1.25±0.022 ^a	1.62±0.034 ^b	1.77±0.115 ^{bc}	1.85±0.072 ^c	1.93±0.004 ^c	2.20±0.088 ^d	3.31±0.090 ^e	***	***	***	ΜΣ
18:1n-9/n-3 LC HUFA	2.22±0.063 ^c	1.82±0.051 ^d	1.50±0.129 ^c	1.39±0.080 ^{bc}	1.37±0.036 ^{bc}	1.21±0.079 ^b	0.68±0.020 ^a	***	***	**	*
SFA/n-3 HUFA	1.84±0.020 ^e	1.82±0.024 ^d	1.68±0.063 ^c	1.38±0.054 ^{bc}	1.51±0.030 ^{bc}	1.54±0.052 ^b	1.02±0.009 ^a	***	***	ΜΣ	*

Οι διαφορετικοί εκθέτες στις τιμές μίας σειράς υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (n=4, ***: P<0.001, **: P<0.01, *: P<0.05, ΜΣ: P>0.05, MA: Μη Ανιχνεύσιμο)

Πίνακας 16: Σύσταση Λιπαρών Οξέων (g/100g ιστού) του φιλέτου λαβρακίων (ημέρα 251). Ε: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA

Ημέρα 251	One Way ANOVA								Two Way ANOVA		
	X0.4	X0.6	X0.9	M0.4	M0.6	M0.9	M	p	E	A	E×A
14:0	0.048±0.0037 ^a	0.058±0.0037 ^a	0.060±0.0065 ^a	0.061±0.0064 ^a	0.065±0.0029 ^a	0.073±0.0059 ^{ab}	0.128±0.0086 ^b	***	ΜΣ	***	***
iso 15:0	0.002±0.0001 ^a	0.002±0.0002 ^a	0.003±0.0003 ^a	0.003±0.0003 ^a	0.002±0.0002 ^a	0.003±0.0002 ^{ab}	0.006±0.0004 ^b	***	ΜΣ	***	***
15:0	0.006±0.0004 ^a	0.008±0.0004 ^a	0.007±0.0006 ^a	0.008±0.0007 ^a	0.007±0.0004 ^a	0.008±0.0004 ^a	0.014±0.0008 ^b	***	ΜΣ	***	***
iso 16:0	0.001±0.0002 ^a	0.002±0.0001 ^a	0.003±0.0002 ^b	0.004±0.0003 ^b	0.001±0.0003 ^{ab}	0.002±0.0001 ^a	0.003±0.0003 ^b	***	ΜΣ	**	***
16:0	0.541±0.0302 ^a	0.739±0.0346 ^{bc}	0.865±0.0671 ^c	0.541±0.0406 ^{ab}	0.660±0.0185 ^{abc}	0.792±0.0402 ^c	0.687±0.0417 ^{abc}	***	ΜΣ	***	ΜΣ
16:1n-7	0.058±0.0049 ^a	0.072±0.0052 ^a	0.089±0.0101 ^{ab}	0.078±0.0089 ^a	0.078±0.0038 ^a	0.086±0.0089 ^a	0.151±0.0106 ^b	***	ΜΣ	*	ΜΣ
16:1n-5	0.006±0.0012	0.005±0.0004	0.007±0.0018	0.005±0.0006	0.006±0.0006	0.005±0.0004	0.007±0.0011	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
16:2n-6	0.004±0.0004	0.003±0.0005	0.003±0.0003	0.003±0.0002	0.006±0.0014	0.003±0.0003	0.003±0.0002	*	**	ΜΣ	ΜΣ
16:2n-4	0.003±0.0002 ^a	0.004±0.0005 ^{ab}	0.005±0.0005 ^{ab}	0.006±0.0007 ^{bc}	0.004±0.0002 ^{ab}	0.004±0.0007 ^{ab}	0.010±0.0010 ^c	***	ΜΣ	ΜΣ	***
17:0	0.005±0.0005 ^{ab}	0.003±0.0002 ^a	0.005±0.0004 ^{abc}	0.007±0.0007 ^{bc}	0.006±0.0006 ^{abc}	0.005±0.0009 ^{ab}	0.009±0.0006 ^c	***	**	ΜΣ	ΜΣ
16:3n-4	0.006±0.0008 ^a	0.009±0.0005 ^{ab}	0.009±0.0008 ^{ab}	0.009±0.0013 ^{ab}	0.007±0.0007 ^a	0.008±0.0002 ^a	0.014±0.0006 ^b	***	ΜΣ	ΜΣ	**
16:3n-3	0.007±0.0010	0.006±0.0007	0.008±0.0028	0.005±0.0013	0.005±0.0012	0.005±0.0011	0.008±0.0017	ΜΣ	ΜΣ	*	***
16:4n-3	0.005±0.0002	0.004±0.0005	0.003±0.0003	MA	0.003±0.0008	0.003±0.0004	0.004±0.0008	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
18:0	0.133±0.0082 ^a	0.167±0.0066 ^{ab}	0.217±0.0142 ^c	0.173±0.0135 ^{ab}	0.145±0.0070 ^{ab}	0.155±0.0063 ^{ab}	0.185±0.0107 ^{bc}	***	ΜΣ	**	***
18:1n-9	1.081±0.0816 ^b	1.191±0.0738 ^b	1.139±0.1023 ^b	0.999±0.1032 ^{ab}	0.982±0.0347 ^{ab}	1.001±0.0828 ^{ab}	0.719±0.0499 ^a	**	*	ΜΣ	ΜΣ
18:1n-7	0.100±0.0067	0.100±0.0059	0.072±0.0067	0.088±0.0073	0.096±0.0044	0.085±0.0065	0.093±0.0067	ΜΣ	ΜΣ	**	ΜΣ
18:1n-5	0.021±0.0030 ^c	0.012±0.0006 ^{abc}	0.005±0.0003 ^a	0.008±0.0015 ^a	0.019±0.0019 ^{bc}	0.016±0.0020 ^{bc}	0.013±0.0016 ^{abc}	***	ΜΣ	*	***
18:2n-7 (5c, 11c)	0.013±0.0004 ^{ab}	0.013±0.0008 ^b	0.014±0.0011 ^b	0.012±0.0012 ^{ab}	0.010±0.0002 ^{ab}	0.009±0.0002 ^a	0.009±0.0007 ^a	***	**	ΜΣ	ΜΣ
18:2n-7 (8c, 11c)	0.014±0.0030	0.014±0.0021	MA	MA	0.015±0.0006	0.018±0.0020	0.014±0.0027	ΜΣ	***	ΜΣ	ΜΣ
18:2n-6	0.431±0.0287 ^b	0.429±0.0354 ^b	0.555±0.0400 ^c	0.489±0.0570 ^b	0.367±0.0143 ^{ab}	0.325±0.0431 ^a	0.285±0.0178 ^a	***	*	ΜΣ	**
18:2n-4	0.005±0.0004 ^{ab}	0.003±0.0002 ^a	0.002±0.0002 ^a	0.004±0.0002 ^{ab}	0.004±0.0004 ^{ab}	0.005±0.0004 ^{ab}	0.006±0.0004 ^b	***	ΜΣ	ΜΣ	*
18:3n-6	0.007±0.0006	0.007±0.0006	0.007±0.0003	0.005±0.0002	0.006±0.0003	0.005±0.0006	0.006±0.0004	ΜΣ	**	ΜΣ	ΜΣ
18:3n-4	0.004±0.0003	0.005±0.0004	MA	MA	0.004±0.0006	0.003±0.0002	0.005±0.0005	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
19:1	0.006±0.0008	0.008±0.0010	0.003±0.0000	MA	0.008±0.0002	0.007±0.0006	0.006±0.0010	ΜΣ	ΜΣ	*	ΜΣ
18:3n-3	0.035±0.0147 ^b	0.068±0.0076 ^c	0.080±0.0072 ^c	0.093±0.0218 ^c	0.023±0.0066 ^a	0.023±0.0023 ^{ab}	0.059±0.0049 ^c	***	ΜΣ	ΜΣ	***

18:4n-3	0.005±0.0012 ^a	0.010±0.0009 ^{bc}	0.014±0.0017 ^c	0.015±0.0028 ^c	0.005±0.0010 ^{ab}	0.006±0.0005 ^{ab}	0.035±0.0037 ^d	***	ΜΣ	ΜΣ	***
20:0	0.007±0.0010 ^{ab}	0.011±0.0007 ^b	0.010±0.0008 ^{ab}	0.009±0.0014 ^{ab}	0.006±0.0009 ^a	0.006±0.0006 ^a	0.008±0.0004 ^{ab}	**	**	ΜΣ	**
20:1n-11	0.013±0.0009 ^{abc}	0.015±0.0013 ^{abc}	0.008±0.0009 ^a	0.012±0.0012 ^{ab}	0.015±0.0006 ^{bc}	0.019±0.0009 ^c	0.020±0.0014 ^c	***	***	*	***
20:1n-9	0.087±0.0067 ^{ab}	0.094±0.0048 ^{ab}	0.073±0.0070 ^a	0.094±0.0090 ^{ab}	0.097±0.0041 ^b	0.104±0.0072 ^b	0.137±0.0085 ^c	***	*	ΜΣ	ΜΣ
20:1n-7	0.005±0.0006	MA	0.002±0.0002	MA	MA	MA	0.007±0.0005	ΜΣ			
20:2n-6	0.024±0.0081 ^{bc}	0.051±0.0053 ^c	0.004±0.0003 ^a	0.005±0.0006 ^a	0.022±0.0070 ^{bc}	0.041±0.0075 ^c	0.044±0.0083 ^c	***	ΜΣ	**	***
20:3n-6	0.034±0.0017	0.029±0.0015	0.027±0.0020	0.033±0.0032	0.031±0.0018	0.029±0.0024	0.028±0.0015	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
20:4n-6	0.019±0.0015 ^{ab}	0.016±0.0004 ^a	0.028±0.0016 ^{bc}	0.026±0.0017 ^{bc}	0.020±0.0012 ^b	0.022±0.0023 ^b	0.034±0.0023 ^c	***	ΜΣ	**	***
20:3n-3	0.004±0.0002 ^a	0.005±0.0005 ^{ab}	0.006±0.0004 ^{bc}	0.007±0.0007 ^c	0.004±0.0001 ^a	0.004±0.0003 ^a	0.006±0.0004 ^c	***	ΜΣ	ΜΣ	***
20:4n-3	0.014±0.0005	0.011±0.0006	0.012±0.0012	0.015±0.0014	0.017±0.0012	0.017±0.0031	0.019±0.0012	ΜΣ	**	ΜΣ	ΜΣ
20:5n-3	0.058±0.0030 ^a	0.064±0.0062 ^{ab}	0.135±0.0099 ^{cd}	0.110±0.0123 ^{bcd}	0.082±0.0037 ^{abc}	0.079±0.0098 ^{abc}	0.224±0.0196 ^d	***	ΜΣ	***	***
22:1n-11	0.032±0.0026 ^a	0.037±0.0023 ^a	0.036±0.0038 ^a	0.045±0.0044 ^a	0.049±0.0022 ^{ab}	0.053±0.0040 ^{ab}	0.115±0.0075 ^b	***	***	ΜΣ	ΜΣ
22:1n-9	0.016±0.0014	0.017±0.0008	0.012±0.0011	0.016±0.0014	0.014±0.0007	0.014±0.0007	0.017±0.0012	ΜΣ	ΜΣ	*	ΜΣ
21:5n-3	0.006±0.0014 ^a	0.009±0.0011 ^{abc}	0.015±0.0007 ^{cd}	0.015±0.0013 ^{bcd}	0.008±0.0020 ^{abc}	0.008±0.0007 ^{ab}	0.020±0.0018 ^d	***	ΜΣ	ΜΣ	***
22:5n-3	0.028±0.0029 ^a	0.053±0.0037 ^b	0.044±0.0025 ^{ab}	0.039±0.0033 ^{ab}	0.043±0.0048 ^{ab}	0.047±0.0017 ^b	0.052±0.0033 ^b	***	ΜΣ	***	**
24:0	0.073±0.0542	0.025±0.0018	0.013±0.0044	MA	0.030±0.0036	0.021±0.0038	0.025±0.0038	ΜΣ	ΜΣ	*	ΜΣ
22:6n-3	0.225±0.0066 ^a	0.215±0.0147 ^a	0.404±0.0213 ^{bc}	0.353±0.0337 ^{abc}	0.268±0.0102 ^{ab}	0.252±0.0214 ^a	0.531±0.0351 ^c	***	ΜΣ	***	***
24:1n-9	0.020±0.0020 ^a	0.020±0.0013 ^a	0.039±0.0052 ^b	0.042±0.0049 ^b	0.026±0.0019 ^{ab}	0.022±0.0020 ^a	0.038±0.0028 ^b	***	ΜΣ	*	***
SFA	0.067±0.0067 ^a	0.099±0.0053 ^{ab}	0.086±0.0075 ^a	0.083±0.0073 ^a	0.091±0.0065 ^a	0.104±0.0059 ^{ab}	0.165±0.0111 ^b	***	ΜΣ	**	ΜΣ
MUFA	1.431±0.1049	1.562±0.0907	1.475±0.1327	1.381±0.1364	1.377±0.0501	1.401±0.1128	1.310±0.0843	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
n-3	0.369±0.0214 ^a	0.433±0.0343 ^a	0.715±0.0440 ^b	0.633±0.0769 ^b	0.446±0.0088 ^a	0.434±0.0332 ^a	0.958±0.0656 ^c	***	ΜΣ	**	***
n-3 LC PUFA	0.327±0.0103 ^a	0.348±0.0257 ^a	0.614±0.0351 ^b	0.532±0.0524 ^b	0.415±0.0113 ^a	0.398±0.0347 ^a	0.851±0.0580 ^c	***	ΜΣ	**	***
n-6	0.515±0.0340 ^{bcd}	0.532±0.0352 ^{bcd}	0.615±0.0427 ^d	0.556±0.0605 ^{cd}	0.447±0.0132 ^{abc}	0.424±0.0421 ^{ab}	0.365±0.0209 ^a	***	*	ΜΣ	*
EPA+DHA	0.282±0.0085 ^a	0.278±0.0208 ^a	0.537±0.0309 ^b	0.462±0.0456 ^b	0.349±0.0135 ^a	0.330±0.0309 ^a	0.753±0.0533 ^c	***	ΜΣ	***	***
SFA/MUFA	0.046±0.0019 ^a	0.063±0.0023 ^b	0.059±0.0029 ^b	0.061±0.0022 ^b	0.066±0.0048 ^b	0.076±0.0034 ^c	0.125±0.0021 ^d	***	***	***	ΜΣ
n-3/n-6	0.725±0.0251 ^a	0.812±0.0259 ^{ab}	1.168±0.0170 ^c	1.129±0.0557 ^c	1.002±0.0256 ^{bc}	1.044±0.0367 ^c	2.654±0.1478 ^d	***	***	***	***
18:1n-9/n-3 LC HUFA	3.279±0.1977 ^d	3.476±0.2073 ^d	1.824±0.0711 ^b	1.886±0.0821 ^b	2.364±0.0627 ^c	2.529±0.0842 ^c	0.882±0.0875 ^d	***	***	***	***
SFA/n-3 HUFA	0.204±0.0186 ^{bc}	0.289±0.0169 ^d	0.139±0.0078 ^a	0.159±0.0073 ^{ab}	0.222±0.0187 ^c	0.271±0.0194 ^d	0.204±0.0208 ^{bc}	***	ΜΣ	***	***

Οι διαφορετικοί εκθέτες στις τιμές μίας σειράς υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (n=4, ***: P< 0.001, **: P<0.01, *: P<0.05, ΜΣ: P>0.05, MA: Μη Ανιχνεύσιμο)

Πίνακας 17: Σύσταση Λιπαρών Οξέων (g/100g ιστού) του φιλέτου λαβρακιών (ημέρα 350). Ε: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Λ: Λόγος SFA/MUFA

Ημέρα 350	One Way ANOVA								Two Way ANOVA		
	X0.4	X0.6	X0.9	M0.4	M0.6	M0.9	M	p	E	Λ	E×Λ
14:0	0.09±0.001 ^{ab}	0.13±0.001 ^{ab}	0.16±0.011 ^{ab}	0.12±0.002 ^{ab}	0.18±0.006 ^{ab}	0.08±0.003 ^a	0.21±0.013 ^b	**	ΜΣ	***	***
iso 15:0	0.00±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^b	0.00±0.000 ^a	0.00±0.001 ^{ab}	**	ΜΣ	***	***
15:0	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.02±0.001 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.02±0.001 ^b	0.01±0.000 ^{ab}	0.00±0.000 ^a	**	*	***	***
iso 16:0	0.00±0.000	0.00±0.000	0.00±0.001	0.00±0.000	0.01±0.000	0.00±0.000	0.00±0.000	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	***
16:0	0.67±0.006 ^{ab}	0.84±0.011 ^{ab}	1.16±0.045 ^{ab}	0.80±0.012 ^{ab}	1.31±0.029 ^b	0.61±0.043 ^a	0.97±0.050 ^{ab}	**	ΜΣ	***	***
16:1n-7	0.11±0.001 ^{ab}	0.15±0.002 ^{ab}	0.18±0.013 ^{ab}	0.13±0.003 ^{ab}	0.20±0.006 ^{ab}	0.09±0.003 ^a	0.21±0.014 ^b	**	ΜΣ	***	***
16:1n-5	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.001 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.02±0.000 ^b	0.01±0.000 ^{ab}	0.00±0.001 ^a	**	*	***	***
16:2n-6	0.00±0.000 ^{ab}	0.00±0.000 ^{ab}	0.00±0.000 ^{ab}	0.00±0.000 ^{ab}	0.00±0.000 ^{ab}	0.00±0.000 ^a	0.01±0.000 ^b	**	ΜΣ	**	***
16:2n-4	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^b	0.01±0.000 ^a	0.01±0.001 ^{ab}	**	ΜΣ	***	***
17:0	0.01±0.000 ^a	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.001 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^a	0.02±0.001 ^b	**	**	***	***
16:3n-4	0.01±0.002 ^a	0.01±0.000 ^{ab}	0.02±0.002 ^{ab}	0.02±0.000 ^{ab}	0.02±0.001 ^b	0.01±0.001 ^{ab}	0.01±0.001 ^{ab}	**	*	**	***
16:3n-3	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.001 ^b	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^b	0.01±0.000 ^{ab}	0.00±0.001 ^a	**	ΜΣ	***	***
16:4n-3	0.00±0.000	0.00±0.001	0.00±0.001	0.00±0.000	0.00±0.000	0.00±0.000	0.00±0.000	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	**
18:0	0.19±0.005 ^{ab}	0.19±0.003 ^{ab}	0.27±0.009 ^{ab}	0.23±0.005 ^{ab}	0.32±0.007 ^b	0.16±0.016 ^a	0.19±0.030 ^{ab}	*	*	***	***
18:1n-9	1.17±0.016 ^{ab}	1.18±0.017 ^{ab}	1.43±0.106 ^{ab}	1.16±0.012 ^{ab}	1.68±0.051 ^b	0.68±0.031 ^a	0.97±0.049 ^{ab}	**	ΜΣ	***	***
18:1n-7	0.11±0.002 ^{ab}	0.11±0.001 ^{ab}	0.13±0.005 ^{ab}	0.12±0.002 ^{ab}	0.17±0.005 ^b	0.07±0.004 ^a	0.15±0.012 ^{ab}	**	ΜΣ	***	***
18:1n-5	0.01±0.001 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.02±0.002 ^{ab}	0.01±0.001 ^{ab}	0.02±0.001 ^{ab}	0.01±0.000 ^a	0.06±0.001 ^b	**	ΜΣ	ΜΣ	***
18:2n-7 (5c, 11c)	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.02±0.000 ^b	0.01±0.000 ^{ab}	0.02±0.001 ^{ab}	0.01±0.000 ^a	MA	**	***	**	***
18:2n-7 (8c, 11c)	0.01±0.001	0.00±0.000	0.01±0.001	0.01±0.000	0.01±0.000	0.00±0.000	MA	ΜΣ	ΜΣ	*	***
18:2n-6	0.46±0.009 ^{ab}	0.44±0.005 ^{ab}	0.55±0.039 ^{ab}	0.46±0.004 ^{ab}	0.65±0.017 ^b	0.24±0.012 ^a	0.26±0.030 ^a	**	ΜΣ	***	***
18:2n-4	0.00±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.00±0.001 ^a	0.01±0.001 ^b	**	ΜΣ	***	***
18:3n-6	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.00±0.000 ^a	0.05±0.007 ^b	**	***	***	***
18:3n-4	0.00±0.000	0.00±0.000	0.00±0.000	0.00±0.000	0.00±0.000	0.00±0.000	MA	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	***
19:1	0.01±0.000 ^{ab}	0.00±0.000 ^{ab}	0.01±0.001 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^b	0.00±0.000 ^a	MA	*	ΜΣ	ΜΣ	***
18:3n-3	0.09±0.002 ^{ab}	0.08±0.002 ^{ab}	0.09±0.007 ^{ab}	0.09±0.002 ^{ab}	0.12±0.004 ^b	0.04±0.002 ^a	0.04±0.009 ^a	**	ΜΣ	***	***

18:4n-3	0.02±0.001 ^{ab}	0.03±0.000 ^{ab}	0.04±0.003 ^{ab}	0.03±0.001 ^{ab}	0.04±0.002 ^b	0.02±0.001 ^{ab}	0.01±0.001 ^a	**	ΜΣ	***	***
20:0	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.01±0.001 ^{ab}	0.01±0.000 ^{ab}	0.02±0.001 ^b	0.01±0.000 ^a	0.01±0.000 ^a	**	ΜΣ	***	***
20:1n-11	0.02±0.000	0.02±0.001	0.02±0.002	0.02±0.001	0.03±0.002	0.01±0.000	0.02±0.008	ΜΣ	ΜΣ	**	***
20:1n-9	0.12±0.002 ^{ab}	0.14±0.002 ^{ab}	0.17±0.011 ^{ab}	0.15±0.002 ^{ab}	0.21±0.006 ^{ab}	0.10±0.005 ^a	0.28±0.020 ^b	**	ΜΣ	***	***
20:1n-7	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	ΜΣ			
20:2n-6	0.03±0.004 ^b	0.02±0.001 ^{ab}	0.02±0.001 ^{ab}	0.02±0.001 ^{ab}	0.03±0.003 ^{ab}	0.02±0.001 ^a	0.02±0.000 ^{ab}	*	ΜΣ	**	***
20:3n-6	0.03±0.000 ^{ab}	0.03±0.000 ^{ab}	0.04±0.001 ^{ab}	0.03±0.000 ^{ab}	0.04±0.001 ^{ab}	0.02±0.001 ^a	0.07±0.001 ^b	**	*	***	***
20:4n-6	0.02±0.001	0.03±0.001	0.05±0.003	0.04±0.002	0.04±0.015	0.03±0.003	0.03±0.002	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	*
20:3n-3	0.01±0.000	0.01±0.000	0.01±0.000	0.01±0.000	0.01±0.001	0.00±0.000	0.01±0.000	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	**
20:4n-3	0.01±0.000 ^{ab}	0.02±0.000 ^{ab}	0.02±0.001 ^{ab}	0.02±0.000 ^{ab}	0.03±0.001 ^{ab}	0.01±0.001 ^a	0.03±0.002 ^b	**	*	***	***
20:5n-3	0.13±0.001 ^a	0.20±0.003 ^{ab}	0.27±0.009 ^{ab}	0.21±0.007 ^{ab}	0.33±0.004 ^b	0.16±0.013 ^{ab}	0.18±0.020 ^{ab}	**	***	***	***
22:1n-11	0.07±0.000 ^a	0.12±0.000 ^{ab}	0.13±0.008 ^{ab}	0.10±0.002 ^{ab}	0.15±0.005 ^{ab}	0.08±0.004 ^{ab}	0.23±0.015 ^b	**	ΜΣ	***	***
22:1n-9	0.02±0.000 ^{ab}	0.02±0.000 ^{ab}	0.02±0.001 ^{ab}	0.02±0.000 ^{ab}	0.03±0.001 ^b	0.01±0.000 ^a	0.02±0.001 ^b	**	ΜΣ	***	***
21:5n-3	0.01±0.001	0.01±0.001	0.02±0.001	0.01±0.001	0.02±0.000	0.01±0.002	0.01±0.001	ΜΣ	ΜΣ	**	***
22:5n-3	0.04±0.000 ^{ab}	0.04±0.000 ^{ab}	0.06±0.001 ^{ab}	0.05±0.001 ^{ab}	0.07±0.001 ^b	0.03±0.002 ^a	0.05±0.004 ^{ab}	**	***	***	***
24:0	0.01±0.003	0.01±0.002	0.00±0.001	0.00±0.000	0.01±0.000	0.00±0.000	0.01±0.000	ΜΣ	*	ΜΣ	ΜΣ
22:6n-3	0.33±0.008 ^a	0.38±0.011 ^{ab}	0.58±0.028 ^{ab}	0.55±0.030 ^{ab}	0.77±0.003 ^b	0.35±0.037 ^{ab}	0.45±0.036 ^{ab}	**	***	***	***
24:1n-9	0.02±0.000 ^a	0.03±0.002 ^{ab}	0.04±0.001 ^{ab}	0.05±0.002 ^{ab}	0.07±0.002 ^b	0.03±0.002 ^a	0.05±0.002 ^{ab}	**	***	***	***
SFA	0.13±0.002 ^{ab}	0.17±0.003 ^{ab}	0.20±0.011 ^{ab}	0.15±0.002 ^{ab}	0.23±0.008 ^b	0.11±0.004 ^a	0.24±0.013 ^b	**	ΜΣ	***	***
MUFA	1.66±0.017 ^{ab}	1.79±0.020 ^{ab}	2.16±0.142 ^{ab}	1.77±0.016 ^{ab}	2.56±0.077 ^b	1.08±0.048 ^a	1.99±0.107 ^{ab}	**	ΜΣ	***	***
n-3	0.66±0.010 ^a	0.78±0.015 ^b	1.10±0.039 ^d	0.98±0.039 ^c	1.40±0.008 ^c	0.64±0.057 ^a	0.78±0.061 ^b	**	***	***	***
n-3 LC PUFA	0.53±0.011 ^a	0.65±0.015 ^{ab}	0.96±0.038 ^d	0.84±0.040 ^{cd}	1.23±0.003 ^c	0.57±0.055 ^a	0.73±0.066 ^{bc}	**	***	***	***
n-6	0.56±0.004 ^{ab}	0.52±0.005 ^{ab}	0.67±0.039 ^{ab}	0.57±0.001 ^{ab}	0.79±0.004 ^b	0.31±0.017 ^a	0.40±0.050 ^a	**	ΜΣ	***	***
EPA+DHA	0.46±0.009 ^a	0.58±0.014 ^{ab}	0.85±0.036 ^{ab}	0.76±0.037 ^{ab}	1.10±0.002 ^b	0.51±0.051 ^{ab}	0.63±0.056 ^{ab}	**	***	***	***
SFA/MUFA	0.08±0.002 ^a	0.10±0.001 ^{ab}	0.09±0.001 ^{ab}	0.08±0.001 ^{ab}	0.09±0.001 ^{ab}	0.10±0.002 ^{ab}	0.12±0.001 ^b	**	*	***	***
n-3/n-6	1.167±0.0209 ^a	1.501±0.0324 ^{ab}	1.642±0.1090 ^{ab}	1.722±0.0685 ^{ab}	1.784±0.0032 ^{ab}	2.041±0.0837 ^b	1.966±0.1243 ^{ab}	*	***	***	ΜΣ
18:1n-9/n-3 LC HUFA	2.20±0.066 ^d	1.81±0.053 ^c	1.50±0.133 ^b	1.39±0.082 ^{ab}	1.37±0.038 ^{ab}	1.21±0.080 ^a	1.34±0.060 ^{ab}	***	***	**	*
SFA/n-3 HUFA	0.24±0.002 ^{bc}	0.26±0.009 ^c	0.21±0.014 ^{ab}	0.18±0.011 ^a	0.19±0.006 ^a	0.20±0.019 ^a	0.33±0.013 ^d	***	***	ΜΣ	ΜΣ

Οι διαφορετικοί εκθέτες στις τιμές μίας σειράς υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (n=4, ***: P<0.001, **: P<0.01, *: P<0.05, ΜΣ: P>0.05, MA: Μη Ανυχνεύσιμο)

3.5 Αιματολογικές Παράμετροι

3.5.1 Επίδραση σιτηρεσίου

Την ημέρα 131 και την ημέρα 251 παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις λόγω της επίδρασης των σιτηρεσίων στις συγκεντρώσεις της γλυκόζης και της κορτιζόλης (Πίνακας 18 και Πίνακας 19). Η συγκέντρωση γλυκόζης ήταν σημαντικά χαμηλότερη στο Μάρτυρα και στα δύο χρονικά σημεία. Την ημέρα 131, η κορτιζόλη παρουσίασε τη χαμηλότερη τιμή στην επέμβαση X0.4 και την υψηλότερη τιμή στην M0.6. Την ημέρα 251, η χαμηλότερη συγκέντρωση κορτιζόλης εντοπίστηκε στην επέμβαση M0.4 και οι υψηλότερες στις X0.9, M0.9 και στο Μάρτυρα. Οι υπόλοιπες αιματολογικές παράμετροι δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 18: Αιματολογικές Παράμετροι την ημέρα 131. E: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, A: Λόγος SFA/MUFA

Ημέρα 131	One Way ANOVA								Two Way ANOVA		
	X0.4	X0.6	X0.9	M0.4	M0.6	M0.9	M	p	E	A	E×A
Αλκαλική Φωσφατάση (IU/L)	85.9±3.08	91.0±1.34	96.2±0.15	86.3±2.51	88.0±3.41	86.2±2.13	91.8±1.66	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
GOT (IU/L)	217.8±4.85	216.2±6.70	209.0±4.32	214.8±3.08	219.5±4.03	217.2±5.11	217.2±1.88	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
GPT (IU/L)	28.5±0.12	25.5±1.84	25.1±1.64	24.3±1.47	27.1±0.38	23.2±1.99	26.4±1.57	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Γαλακτική Αφυδρογονάση (IU/L)	399.1±34.22	446.4±19.19	357.1±18.28	405.3±42.72	320.0±37.66	321.7±34.29	423.0±42.60	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ωσμομοριακότητα (osmol/Kg)	0.43±0.023	0.42±0.021	0.39±0.013	0.44±0.023	0.42±0.027	0.38±0.014	0.41±0.023	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Γλυκόζη (mg/100ml)	128.8±9.93 ^b	130.1±5.07 ^b	144.1±10.40 ^b	137.0±5.49 ^b	126.1±7.30 ^b	129.3±8.43 ^b	79.9±8.56 ^a	***	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Χοληστερόλη (mg/100ml)	71.2±5.49	71.7±5.89	74.1±4.67	78.0±5.01	74.4±4.96	73.1±4.88	69.7±5.42	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Τριγλυκερίδια (mg/100ml)	341.3±52.32	385.6±49.40	396.5±50.94	411.1±51.71	411.6±51.67	399.6±52.00	425.5±59.64	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Αιματοκρίτης (%)	34.2±1.50	33.3±1.90	33.5±2.03	32.0±1.36	33.9±1.34	29.7±1.02	34.0±1.00	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Κορτιζόλη (mg/100ml)	14.2±2.88 ^a	24.3±4.44 ^{ab}	27.4±2.85 ^{ab}	30.0±4.49 ^{abc}	63.3±6.97 ^d	35.3±6.74 ^{bc}	49.2±9.45 ^{cd}	***	***	**	*
Αλβουμίνη (g/100ml)	2.34±0.022	2.37±0.023	2.41±0.051	2.41±0.022	2.59±0.077	2.65±0.048	2.22±0.057	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ

Οι διαφορετικοί εκθέτες στις τιμές μίας σειράς υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (n=4, ***: P< 0.001, **: P<0.01, *: P<0.05, ΜΣ: P>0.05, ΜΑ: Μη Ανιχνεύσιμο)

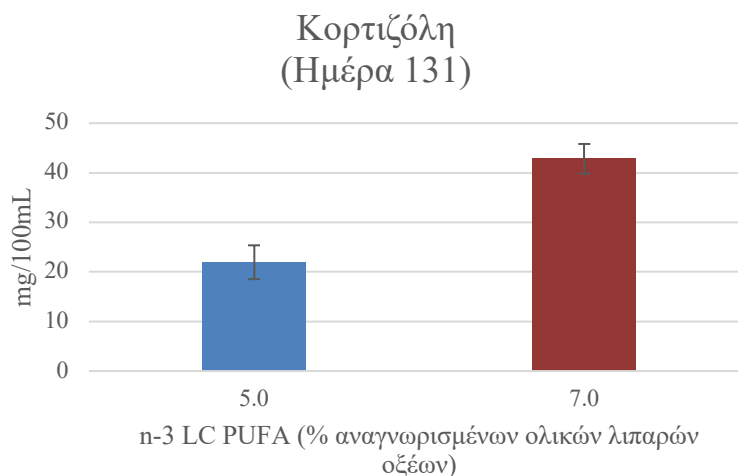
Πίνακας 19: Αιματολογικές Παράμετροι την ημέρα 251. Ε: Επίπεδο n-3 LC PUFA λιπαρών οξέων, Α: Λόγος SFA/MUFA

Ημέρα 251	One Way ANOVA								Two Way ANOVA		
	X0.4	X0.6	X0.9	M0.4	M0.6	M0.9	M	p	E	A	E×A
Αλκαλική Φωσφατάση (IU/L)	92.2±2.88	91.3±3.38	93.2±3.86	86.4±1.74	92.0±1.57	88.2±3.25	91.0±2.59	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
GOT (IU/L)	218.2±4.21	218.6±3.78	220.2±4.37	218.2±4.49	221.4±4.98	205.7±2.71	212.4±4.21	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
GPT (IU/L)	24.7±1.55	23.6±1.56	25.6±2.11	24.0±2.19	21.4±0.36	26.0±1.54	25.7±1.42	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Γαλακτική Αφυδρογονάση (IU/L)	364.2±51.70	391.6±42.96	379.6±44.81	368.3±57.42	383.1±37.86	343.8±41.49	377.0±43.87	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ωσμωμοριακότητα (osmol/Kg)	0.42±0.026	0.41±0.015	0.41±0.032	0.42±0.034	0.42±0.033	0.46±0.013	0.41±0.002	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Γλυκόζη (mg/100ml)	117.0±7.06 ^b	117.6±7.52 ^b	131.1±10.74 ^b	148.6±16.19 ^b	131.0±11.50 ^b	125.0±8.44 ^b	73.9±3.40 ^a	**	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Χοληστερόλη (mg/100ml)	69.6±3.05	72.4±4.20	73.1±3.58	68.7±2.72	71.6±3.52	72.1±3.74	74.0±4.03	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Τριγλυκερίδια (mg/100ml)	279.3±29.23	276.3±32.23	291.4±29.19	272.4±29.19	304.3±28.74	289.1±25.77	283.6±19.97	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Αιματοκρίτης (%)	26.2±0.93	33.0±1.38	27.0±1.32	27.5±0.86	32.6±1.80	29.4±1.19	30.3±1.70	ΜΣ	ΜΣ	***	ΜΣ
Κορτιζόλη (mg/100ml)	21.1±2.39 ^{ab}	19.9±2.65 ^{ab}	29.3±3.70 ^b	14.5±2.76 ^a	25.3±4.96 ^{ab}	30.1±6.01 ^b	32.3±4.76 ^b	*	ΜΣ	*	ΜΣ
Αλβουμίνη (g/100ml)	2.34±0.022	2.37±0.023	2.41±0.051	2.41±0.022	2.59±0.077	2.65±0.048	2.22±0.057	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ

Οι διαφορετικοί εκθέτες στις τιμές μίας σειράς υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (n=4, ***: P< 0.001, **: P<0.01, *: P<0.05, ΜΣ: P>0.05, ΜΑ: Μη Ανιχνεύσιμο)

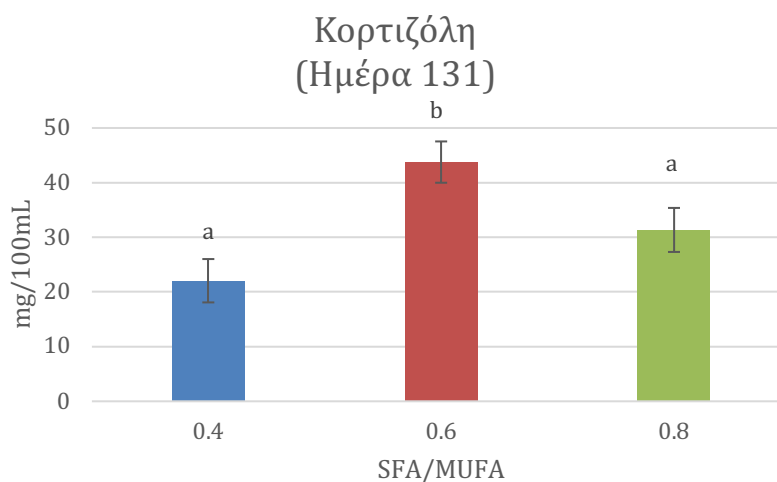
3.5.2 Επίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA

Την ημέρα 131, οι επεμβάσεις του μέσου επιπέδου n-3 LC PUFA παρουσίασαν υψηλότερες συγκεντρώσεις κορτιζόλης στο πλάσμα του αίματος από εκείνες του χαμηλού επιπέδου (Γράφημα 44).



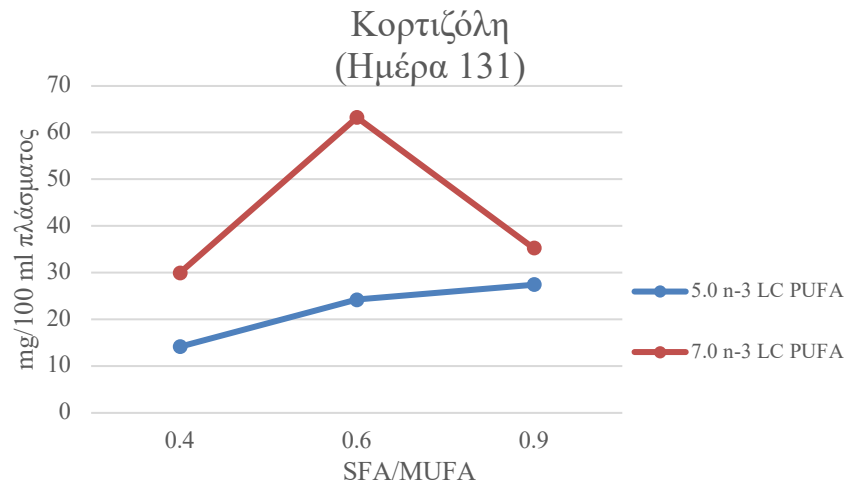
Γράφημα 44: Επίδραση του Επιπέδου n-3 LC PUFA στη συγκέντρωση κορτιζόλης του πλάσματος του αίματος (ημέρα 131)

Στο ίδιο χρονικό σημείο ο λόγος SFA/MUFA επίσης επηρέασε τη συγκέντρωση κορτιζόλης, με τις επεμβάσεις του λόγου 0.6, να παρουσιάζουν σημαντικά αυξημένη συγκέντρωση (Γράφημα 45).



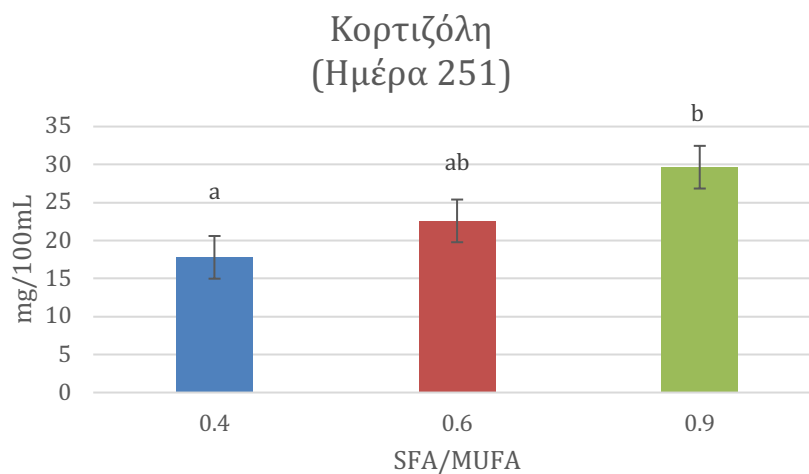
Γράφημα 45: Επίδραση του λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση κορτιζόλης του πλάσματος του αίματος (ημέρα 131)

Την ημέρα 131 παρατηρήθηκε επίσης στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση της κορτιζόλης στο πλάσμα του αίματος ($F(2, 56)=4.376, p<0.05$) (Γράφημα 46). Στο επίπεδο 7 n-3 LC PUFA, η επέμβαση M0.6 παρουσίασε σημαντικά υψηλότερη συγκέντρωση κορτιζόλης σε σύγκριση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις.



Γράφημα 46: Αλληλεπίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση κορτιζόλης του πλάσματος του αίματος (ημέρα 131)

Την ημέρα 251 οι επεμβάσεις του λόγου 0.9 SFA/MUFA παρουσίασαν υψηλότερη συγκέντρωση κορτιζόλης από τις επεμβάσεις του λόγου 0.4 (Γράφημα 47).



Γράφημα 47: Επίδραση του λόγου SFA/MUFA στη συγκέντρωση κορτιζόλης του πλάσματος του αίματος (ημέρα 251)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ

4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Παράμετροι ανάπτυξης

Η σχετικά χαμηλή αντικατάσταση ιχθυέλαιου (25-50%) από σογιέλαιο, σε τροφές για νεαρά άτομα λαβρακιού, που εκτράφηκαν από τα 16.5 ως τα 38g έχει δειχθεί ότι δεν έχει επίδραση στην ανάπτυξη (Alves Martins et al., 2006). Οι Richard et al. (2006) αναφέρουν ότι σε νεαρά άτομα λαβρακιού, η αντικατάσταση κατά 60% του ιχθυέλαιου της τροφής με δύο μείγματα ελαίου ελαιοκράμβης, λινέλαιου και φοινικέλαιου δεν είχε σημαντική επίπτωση στην απόδοση της ανάπτυξης, μετά από εκτροφή 64 εβδομάδων (μέσο τελικό βάρος 160g). Στην περίπτωση νεαρών ατόμων τσιπούρας (*Sparus aurata*), η αντικατάσταση 60% του ιχθυέλαιου από φυτικά έλαια (σογιέλαιο, έλαιο ελαιοκράμβης και λιναρόσπορου) επίσης δεν προκάλεσε διαφορές στην ανάπτυξη, μετά από εκτροφή 89 ημερών και ανάπτυξη από τα 8g στα 30g σωματικού βάρους (Izquierdo et al., 2003). Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και σε επόμενη μελέτη στην τσιπούρα, με 60% αντικατάσταση ιχθυέλαιου από σογιέλαιο ή λινέλαιο (Izquierdo et al., 2005). Για το λαβράκι, όμοια αποτελέσματα αναφέρουν και οι Mourente et al. (2005), για το ίδιο στάδιο ανάπτυξης και επίπεδο αντικατάστασης, με έλαιο ελαιοκράμβης, φοινικέλαιο και έλαιο λιναρόσπορου. Η αύξηση του αντικατάστασης του επιπέδου αντικατάστασης του ιχθυέλαιου στο 97% για νεαρά άτομα λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax* L.), τα οποία αναπτύχθηκαν από τα 9 στα 55g σωματικού βάρους δεν παρεμπόδισε την απόδοση ανάπτυξής τους (Torrecillas et al., 2017b). Ωστόσο, η ολική αντικατάσταση ιχθυέλαιου σε τροφές για νεαρά άτομα λαβρακιού προκάλεσε σημαντικό έλλειμα ανάπτυξης (Erolodoğan et al., 2018; Yilmaz et al., 2016). Η περιοδική εναλλαγή χορήγησης τροφών με και χωρίς ιχθυέλαιο, όπως επίσης με συνδυασμούς αυτών, αποτέλεσε ένα χειρισμό που εξισορρόπησε την ανάπτυξη και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις.

Από τα παραπάνω τεκμηριώνεται ότι το επίπεδο αντικατάστασης του ιχθυέλαιου σχετίζεται άμεσα με τη διάρκεια εκτροφής καθώς και το στάδιο ανάπτυξης (αρχικό βάρος) του είδους που εξετάζεται. Οι Montero et al. (2005) επίσης αναφέρουν ότι η αντικατάσταση του ιχθυέλαιου σε ποσοστό 60% από σογιέλαιο και έλαιο ελαιοκράμβης, δεν είχε καμία επίδραση στην ανάπτυξη νεαρών ατόμων λαβρακιού μετά από εκτροφή 8

μηνών και ακόλουθη περίοδο τελικής διατροφής 150 ημερών. Προηγούμενος πειραματισμός (Parroura and Alexis, 2001) σε ολική αντικατάσταση ιχθυέλαιου από ελαιόλαδο και σογιέλαιο, όπως επίσης και μείγματά τους με ιχθυέλαιο σε αναλογία 1:1, έδειξε ότι δεν υπήρξε επίδραση στην ανάπτυξη σε μεγαλύτερης ηλικίας άτομα (94g αρχικό σωματικό βάρος), για διάρκεια εκτροφής 166 ημέρες. Στην παρούσα μελέτη, η αντικατάσταση του ιχθυέλαιου σε ποσοστό 97% δεν επηρέασε την απόδοση της ανάπτυξης ατόμων λαβρακιού, που εκτράφηκαν για 131 ημέρες σε 24°C και αύξησαν το βάρος τους από τα 155g στα 265g. Η έλλειψη επίδρασης παρέμεινε για 21 ημέρες ακόμη (20°C), αλλά στο ζύγισμα της 188^{ης} ημέρας ο χειρισμός-μάρτυρας παρουσίασε αυξημένη ανάπτυξη. Στην εργασία των Richard et al. (2006), αν και δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στην ανάπτυξη, οι πειραματικοί χειρισμοί παρουσίασαν 9 και 19% μικρότερο μέσο βάρος από το μάρτυρα, γεγονός που παρατηρείται μέχρι και την 152^η ημέρα της παρούσας μελέτης.

Το λαβράκι έχει ανάγκη για 1% του ξηρού βάρους της τροφής σε EPA και DHA (Coutteau et al., 1996; Kaushik, 2002; NRC, 2011) και το αντίστοιχο περιεχόμενο στις επεμβάσεις του χαμηλού επιπέδου n-3 LC PUFA (X0.4, X0.6, X0.9) ήταν 0.93%, ενώ για εκείνες του υψηλότερου επιπέδου (M0.4, M0.6, M0.9) ήταν 1.29%. Οι Parroura and Alexis (2001) αναφέρουν ότι 0.88% μπορεί να είναι αρκετό για την ανάπτυξη, αλλά 1.35% είναι το βέλτιστο για επίπεδο για την αποφυγή εκφυλισμού του ηπατικού ιστού. Στην παρούσα μελέτη και τα δύο επίπεδα n-3 LC PUFA που εξετάστηκαν δεν επηρέασαν σημαντικά την ανάπτυξη για 188 ημέρες, αλλά ακολούθως εκδηλώθηκαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με το μάρτυρα, οι οποίες δεν μεταβλήθηκαν από τη τελική διατροφή.

Ο συνδυασμός χαμηλού επιπέδου n-3 LC PUFA και υψηλού λόγου SFA/MUFA (X0.9), που επιτεύχθηκε μέσω της αντικατάστασης 85% του ιχθυέλαιου από φυτικά έλαια, αλλά και ο συνδυασμός μέσου επιπέδου n-3 LC PUFA και χαμηλού λόγου SFA/MUFA (M0.4) που επιτεύχθηκε μέσω της αντικατάστασης 63% του ιχθυέλαιου από φυτικά έλαια, δε συνιστώνται για χρήση σε τροφές με εναλλακτικές πηγές λίπους. Οι παραπάνω συνδυασμοί εμφάνισαν χαμηλή απόδοση της ανάπτυξης και σημεία χρόνιου διατροφικού stress.

4.2 Νευροδιαβιβαστές

Ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων των νευροδιαβιβαστών του εγκεφάλου έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για τον εντοπισμό χρόνιου stress, που είναι πιθανό να υπάρχει στις συνθήκες εκτροφής της υδατοκαλλιέργειας (Batzina et al., 2014; Papoutsoglou, 2012; Papoutsoglou et al., 2008). Μολονότι η έλλειψη πολυακόρεστων λιπαρών οξέων έχει συνδεθεί με τη νευροδιαβίβαση σε σπονδυλωτά (Austead et al., 2000; Chalon et al., 1998; Chalon et al., 2001; De la Presa Owens and Innis, 1999; Kostas et al., 2004; Zimmer et al., 2000), οι εργασίες για τα Μεσογειακά εκτρεφόμενα είδη είναι σπάνιες. Με δεδομένο το γεγονός ότι η διαθεσιμότητα του πλούσιου σε n-3 LC PUFA ιχθυέλαιου μειώνεται (FAO, 2018) και την ταυτόχρονη μείωση των διατροφικών επιπέδων τους φαίνεται να έχει δυσμενή επίδραση στην απόδοση της ανάπτυξης (Lazzarotto et al., 2018; Mu et al., 2020; Torstensen et al., 2008; Yilmaz et al., 2016), είναι αναγκαίο να διερευνηθούν οι επιδράσεις του προφίλ των λιπαρών οξέων των εναλλακτικών πηγών λίπους στη δραστηριότητα του κεντρικού νευρικού συστήματος.

Η αυξημένη χορήγηση κορεσμένων λιπαρών οξέων έχει αναφερθεί ότι αυξάνει το μεταβολισμό της σεροτονίνης και προκαλεί αγχώδη συμπεριφορά σε ποντίκια (Moon et al., 2014) και αρουραίους (Nakajima et al., 2020). Στην παρούσα μελέτη, το παλμιτικό οξύ (16:0) είχε τη υψηλότερη συμμετοχή στο λίπος των τροφών, η οποία αυξήθηκε σε αναλογία με την αύξηση του λόγου SFA/MUFA. Από τη σύγκριση των πειραματικών ομάδων του χαμηλού επιπέδου n-3 LC PUFA, παρατηρήθηκε ότι η επέμβαση X0.9 (υψηλός λόγος SFA/MUFA) παρουσίασε την υψηλότερη σεροτονινεργική δραστηριότητα στο μεσεγκέφαλο τη μέρα 131. Ταυτόχρονα, η χαμηλότερη δραστηριότητα παρουσιάστηκε στην επέμβαση X0.4 (χαμηλός λόγος SFA/MUFA). Η κατανάλωση τροφών με υψηλή περιεκτικότητα κορεσμένων λιπαρών οξέων έχει συνδεθεί με αρνητικές επιδράσεις στην υγεία των ανθρώπων, όπως παχυσαρκία και τις σχετικές με αυτή ανεπιθύμητες επιδράσεις, καθώς και ψυχικές διαταραχές (Decarie-Spain et al., 2018; Dutheil et al., 2016; Page and Anday, 2020). Σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της διερεύνησης των παραμέτρων ανάπτυξης, τα άτομα που τους χορηγήθηκε η τροφή X0.9 παρουσίασαν την υψηλότερη περιεκτικότητα ήπατος σε λίπος και τη χαμηλότερη ποσοστιαία αύξηση του μέσου σωματικού βάρους (%). Σε προηγούμενες έρευνες σε ψάρια, έχει διαπιστωθεί αυξημένη εναπόθεση λίπους στο ήπαρ (Mu et al., 2020) και λιπώδης εκφύλισή του (Fountoulaki et al., 2009; Montero et al., 2005), μετά από εκτροφή σε χαμηλά επίπεδα n-3 LC PUFA και υψηλά επίπεδα SFA.

Συνεπώς, ο συγκεκριμένος συνδυασμός φαίνεται να προκαλεί μια απόκριση σε χρόνιο διατροφικό stress.

Στην ημέρα 131 παρουσιάζεται μία τάση αύξησης της περιεκτικότητας του ρομβοειδούς εγκεφάλου σε DA όλες τις επεμβάσεις, η οποία φαίνεται να είναι αντιστρόφως ανάλογη του λόγου SFA/MUFA της τροφής. Ανάλογη απόκριση έχει παρατηρηθεί και στα ποντίκια (Barnes et al., 2020; Moon et al., 2014; Small, 2017), όπου η αυξημένη περιεκτικότητα διατροφικών SFA παρεμπόδισε την έκκριση DA. Συνεπώς, τα επίπεδα DA στο ρομβοειδή εγκεφαλο ήταν υψηλότερα στην περίπτωση του μέσου επιπέδου n-3 LC PUFA και ειδικότερα στο χαμηλότερο λόγο SFA/MUFA (επέμβαση M0.4), αφού χαρακτηριζόταν από το χαμηλότερο επίπεδο SFA της τροφής. Επιπρόσθετα, η σημαντικά χαμηλότερη συγκέντρωση 5-HT που παρατηρήθηκε στο μεσεγκέφαλο της ίδιας επέμβασης, σε σύγκριση με τον αντίστοιχο λόγο στο χαμηλό επίπεδο n-3 LC PUFA (X0.4), υποδηλώνει μία πιθανώς υψηλότερη απόκριση στο stress στην τροφή με τη χαμηλότερη συμμετοχή του ελαίου ελαιοκράμβης στο μείγμα ελαίωσης. Η απόκριση της M0.4 στο stress παρατηρήθηκε και την ημέρα 251, μέσω της αύξησης της συγκέντρωσης DOPAC στον τελικό εγκέφαλο. Η απόκριση αυτή επηρεάστηκε από την αλληλεπίδραση του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA. Ταυτόχρονα, η συγκεκριμένη επέμβαση παρουσίασε σχετικά χαμηλό σωματικό βάρος και τη χαμηλότερη λιποπεριεκτικότητα στο ήπαρ. Η εντονότερη απόκριση στο stress που προκλήθηκε από το χαμηλό επίπεδο n-3 LC PUFA συμπληρώνεται από την αυξημένη συγκέντρωση NA που καταγράφηκε στο ρομβοειδή εγκέφαλο, χωρίς ωστόσο να είναι στατιστικά σημαντική. Επίσης, στο ρομβοειδή εγκέφαλο, η συγκέντρωση της DA για την επέμβαση M0.4 ήταν υψηλή, λόγω της αλληλεπίδρασης του επιπέδου n-3 LC PUFA και του λόγου SFA/MUFA. Το ίδιο παρατηρήθηκε και στην περίπτωση της επέμβασης X0.9. Κατά τη χρονική περίοδο μεταξύ των ημερών 131 και 251, οι M0.4 και X0.9 παρουσίασαν τις χαμηλότερες τιμές FE, καθεμία στο αντίστοιχο επίπεδο n-3 LC PUFA (M και X). Συνεπώς, η χρησιμοποίηση της τροφής κατευθύνθηκε προς την κάλυψη ενεργειακών αναγκών που προκλήθηκαν από το stress, παρά προς την ανάπτυξη.

Τα MUFA και σε λιγότερο βαθμό τα SFA, προκαλούν την εμφάνιση του φαινομένου φειδωλής χρησιμοποίησης (sparing effect) των n-3 LC PUFA. Κατά το φαινόμενο αυτό, η αφθονία των MUFA και των SFA στην τροφή, μπορεί να μειώσει τον καταβολισμό των n-3 LC PUFA, με αποτέλεσμα τη συσσώρευση των τελευταίων στο φιλέτο των ψαριών (Turchini et al., 2011). Στην παρούσα μελέτη, τα λαβράκια που

εκτράφηκαν με τις τροφές X0.9 και M0.4 παρουσίασαν με το υψηλότερο περιεχόμενο n-3 LC PUFA στους συγκεκριμένους ιστούς, αφού χρησιμοποίησαν τα αντίστοιχα τα SFA και τα MUFA της τροφής, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους. Επίσης, παρατηρήθηκε ίδιος λόγος 18:1n-9/n-3 LC PUFA και στις δύο επεμβάσεις, καθώς και χαμηλότερες συγκεντρώσεις 5-HIAA και οι υψηλότερες συγκεντρώσεις DA στο ρομβοειδή εγκέφαλο. Επιπλέον, τόσο ο λόγος 18:1n-9/n-3 LC PUFA, όσο και ο λόγος SFA/n-3 LC PUFA βρέθηκαν να είναι σημαντικοί παράγοντες πρόβλεψης της συγκέντρωσης 5-HIAA, όπως επίσης της σεροτονινεργικής και ντοπαμινεργικής δραστηριότητας στο ρομβοειδή εγκέφαλο. Φαίνεται ότι οι λόγοι αυτοί εμπλέκονται στο μεταβολισμό της σεροτονίνης, της ντοπαμίνης και της απόδοσης της ανάπτυξης. Στην επέμβαση M0.4 παρατηρήθηκαν χαμηλές συγκεντρώσεις SFA στα φιλέτα, σε παρόμοια επίπεδα με εκείνες που παρατηρήθηκαν στην επέμβαση X0.4. Ωστόσο, στην πρώτη καταγράφηκε μειωμένος ρυθμός ανάπτυξης και χαμηλότερη περιεκτικότητα του ήπατος σε λίπος. Τα αποτελέσματα είναι σε συμφωνία με προηγούμενη έρευνα που αποδίδει πιθανώς την αυξημένη συσσώρευση λίπους στο ήπαρ του σολομού που εκτράφηκε με υψηλές ποσότητες ελαίου ελαιοκράμβης, στην υψηλή συγκέντρωση 18:1n-9, στις χαμηλές συγκεντρώσεις EPA ή/και DHA και SFA ή σε συνδυασμό των παραπάνω (Sissener et al., 2017a).

Στην ημέρα 251, παρατηρήθηκε υψηλότερο περιεχόμενο SFA στους ιστούς των ψαριών της επέμβασης M0.9, σε σύγκριση με εκείνο της X0.9. Αυτό συνδέθηκε με μειωμένη συγκέντρωση 5-HT και αυξημένες συγκεντρώσεις 5-HIAA και DA, με αποτέλεσμα την αυξημένη σεροτονινεργική δραστηριότητα στο ρομβοειδή εγκέφαλο. Η μακροχρόνια εκτροφή με εναλλακτικές πηγές λίπους, φάνηκε να επηρεάζει περισσότερο δυσμενώς το μέσο επίπεδο n-3 LC PUFA, καθώς παρατηρήθηκαν αυξημένες σεροτονινεργικές δραστηριότητες στο ρομβοειδή εγκέφαλο σε όλες τις επεμβάσεις και ιδιαίτερα στη M0.9. Στη συγκεκριμένη επέμβαση πραγματοποιήθηκε χαμηλότερη αντικατάσταση του ιχθυέλαιου από φοινικέλαιο (πλούσιο σε SFA), γεγονός που μπορεί να εξηγεί την καθυστερημένη απόκριση στο stress. Ωστόσο, η αυξημένη σεροτονινεργική δραστηριότητα στη M0.6, σε σύγκριση με την X0.6, φαίνεται να σχετίζεται στο χαμηλότερους λόγους 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA, αφού παρατηρήθηκαν υψηλότερα επίπεδα 5-HT και 5-HIAA στο ρομβοειδή εγκέφαλο. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το μοντέλο πρόβλεψης, με το οποίο υπολογίστηκε η σεροτονινεργική δραστηριότητα στο ρομβοειδή εγκέφαλο, βάσει των παραπάνω λόγων

που καταγράφηκαν στο φιλέτο. Η αυξημένη απόκριση στο stress είναι σε συμφωνία με προηγούμενη έρευνα που αναφέρει παρόμοιες αποκρίσεις σε άτομα λαβρακιού που εκτράφηκαν σε μέσο επίπεδο n-3 LC PUFA, αλλά με διαφορετικά επίπεδα MUFA (Tsoprelakos et al., 2015) και θέτει βάσεις για περαιτέρω διερεύνηση.

Στην ημέρα 350, τα λαβράκια που πριν την περίοδο τελικής διατροφής είχαν εκτραφεί στο μέσο επίπεδο n-3 LC PUFA, παρουσίασαν σημαντικά αυξημένα επίπεδα 5-HT στον τελικό και το ρομβοειδή εγκέφαλο. Ωστόσο, εκείνα που είχαν εκτραφεί προηγουμένως στο χαμηλό λόγο SFA/MUFA (0.4), ανεξάρτητα από το επίπεδο n-3 LC PUFA, παρουσίασαν αυξημένο επίπεδο 5-HT στο ρομβοειδή εγκέφαλο, σε σχέση με το μάρτυρα. Φαίνεται ότι τελική τροφή κάλυψε τις απαιτήσεις των ψαριών σε SFA. Συνεπώς, η απόκριση της 5-HT στην αύξηση των διατροφικών επιπέδων n-3 LC PUFA κατά την περίοδο τελικής διατροφής δεν παρεμποδίζεται, καθώς τα επίπεδα SFA της συγκεκριμένης τροφής δεν ξεπέρασαν αυτό το κατώφλι. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον τερατισμό του φαινομένου φειδωλής χρησιμοποίησης των n-3 LC PUFA που παρατηρήθηκε στην προηγούμενη περίοδο (ημέρα 251). Η αύξηση του επιπέδου n-3 LC PUFA που χορηγήθηκε με την τροφή έχει παρατηρηθεί ότι ενεργοποιεί την έκκριση 5-HT στην ιριδίζουσα πέστροφα (Roy et al., 2020). Αντίστροφα, τα ψάρια που είχαν προηγουμένως εκτραφεί στο υψηλό επίπεδο SFA/MUFA (0.9) και στα δύο επίπεδα n-3 LC PUFA, παρουσίασαν αυξημένες σεροτονινεργικές δραστηριότητες στον τελικό και ρομβοειδή εγκέφαλο, αν και μη σημαντικές για το τελευταίο τμήμα. Αυτό μπορεί να είναι ενδεικτικό μιας δυσκολίας στην προσαρμογή από τροφές με υψηλή περιεκτικότητα σε SFA (πειραματικές τροφές), σε τροφές με χαμηλότερα SFA και αυξημένα n-3 LC PUFA (τελικό σιτηρέσιο).

Αντίθετα, η επέμβαση M0.6 παρουσίασε την υψηλότερη συγκέντρωση 5-HT στον τελικό και το ρομβοειδή εγκέφαλο, όπως επίσης οι υψηλότερες τιμές FE και αύξησης του μέσου βάρους (%), σε σύγκριση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις και το μάρτυρα. Σε προηγούμενη έρευνα παρατηρήθηκε ενεργοποίηση ενός μηχανισμού αντισταθμιστικής ανάπτυξης από τις τελικές τροφές (Turchini et al., 2007a). Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης υποδηλώνουν έναν διττό ρόλο της 5-HT στην αντιστάθμιση της ανάπτυξης των ψαριών που είχαν προηγουμένως εκτραφεί σε οριακά υποβέλτιστο επίπεδο n-3 LC PUFA και μέσο λόγο SFA/MUFA, αφού προηγούμενες έρευνες έχουν τεκμηριώσει την ανορεκτική της δράση (Conde-Sieira et al., 2018; He et al., 2018; Kulczykowska and Sánchez Vázquez, 2010; Perez-Maceira et al., 2016). Ωστόσο έχει

παρατηρηθεί ότι η 5-HT μπορεί να αυξηθεί λόγω ερεθισμάτων που σχετίζονται με τη διάθεση της τροφής (Schwartz et al., 1990). Η αύξηση της 5-HT στην παρούσα μελέτη μπορεί να αποδοθεί στην αλλαγή της τροφής και σηματοδοτεί μία ανάκαμψη από προηγούμενη στρεσογόνο κατάσταση, που παρά μία ρύθμιση της διατροφικής συμπεριφοράς όπως έχει παρατηρηθεί προηγουμένως (Leibowitz and Alexander, 1998; Rubio et al., 2006). Το χρονικό διάστημα των 99 ημερών δε φάνηκε αρκετό, για να εκδηλωθεί η προσαρμογή της επέμβασης M0.4 στο τελικό σιτηρέσιο και φαίνεται ότι βρίσκεται ακόμη σε μία στρεσογόνο κατάσταση. Ταυτόχρονα, η επέμβαση X0.4 παρουσίασε παρόμοιες τιμές FE με εκείνες της M0.4, όπως επίσης και παρόμοια σεροτονινεργική και ντοπαμινεργική δραστηριότητα. Αυτό είναι πιθανό να οφείλεται στην επίδραση του υψηλότερων επιπέδων SFA και n-3 LC PUFA του τελικού σιτηρεσίου.

Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος παρατηρήθηκαν αξιοσημείωτες διαφορές στις συγκεντρώσεις των νευροδιαβιβαστών στα διάφορα τμήματα του εγκεφάλου που μελετήθηκαν. Καθώς η προσαρμογή στο χρόνιο stress είναι δύσκολη (Ketchesin et al., 2017), οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στις παραμέτρους ανάπτυξης, αλλά και σε άλλες περιπτώσεις, αποκάλυψαν συσχετίσεις που θα μπορούσαν να αποτελέσουν δυνητικούς παράγοντες πρόβλεψης. Στην παρούσα μελέτη διατυπώνεται η υπόθεση ότι ο ρομβοειδής εγκέφαλος λειτουργεί ως «καταγραφέας» της πρώτης εμφάνισης του χρόνιου διατροφικού stress, ενώ ο τελικός εγκέφαλος την «αρχαιοθετεί»: σε μία δεδομένη χρονική στιγμή τα επίπεδα των νευροδιαβιβαστών στο ρομβοειδή εγκέφαλο θα παρουσιάσουν την παρούσα απόκριση στο χρόνιο stress, ενώ στον τελικό εγκέφαλο μία παρελθούσα απόκριση.

Αναλυτικότερα, την ημέρα 131 ο ρομβοειδής εγκέφαλος παρουσίασε αρνητική συσχέτιση της DA με τη LER και MBWG (%). Επίσης, ανιχνεύθηκαν χαμηλότερες συγκεντρώσεις DA στις επεμβάσεις που παρουσίασαν σημαντικό έλλειμμα ανάπτυξης στην ημέρα 251. Στο ίδιο χρονικό σημείο (ημέρα 251) οι συγκεντρώσεις των νευροδιαβιβαστών στον τελικό εγκέφαλο αντανάκλουν την προηγούμενη στρεσογόνο κατάσταση, ενώ αντίστοιχα στο ρομβοειδή εγκέφαλο παρουσίαζαν μία κατάσταση εξισορρόπησης και προσαρμογής. Η αλλαγή με τη χορήγηση της τελικής τροφής, στο χρονικό διάστημα μεταξύ των ημερών 251 και 350, ήταν περισσότερο έκδηλη στο ρομβοειδή εγκέφαλο, όπου τα ψάρια που είχαν προηγουμένως διατραφεί σε υψηλό επίπεδο MUFA και μέσο επίπεδο n-3 LC PUFA (επέμβαση M0.4), παρουσίασαν

αυξημένες συγκεντρώσεις 5-HT και το χαμηλότερο MBWG (%). Ταυτόχρονα, ο τελικός εγκέφαλος παρουσίασε τη χαμηλότερη τιμή 5-HT στην επέμβαση X0.9, η οποία και αποτέλεσε και την επέμβαση με τις περισσότερες δυσμενείς επιπτώσεις. Οι συγκεντρώσεις των νευροδιαβιβαστών στο μέσο εγκέφαλο ήταν σχετικά σταθερές σε όλα τα χρονικά σημεία των δειγματοληψιών. Η παρούσα υπόθεση απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση, με πειραματικούς σχεδιασμούς που να περιλαμβάνουν συχνότερες δειγματοληψίες.

Οι αρνητικές συσχετίσεις της DA με το MBWG (%) και το LER που παρατηρήθηκαν στην ημέρα 131, μπορεί να αποδοθούν στην τεκμηριωμένη ανορεκτική επίδραση της DA τόσο σε θηλαστικά, όσο και σε ψάρια (Conde-Sieira et al., 2018; He et al., 2018; Leal et al., 2013; Lin et al., 2000; Meguid et al., 2000; Wang et al., 2001). Ακολούθως, η θετική συσχέτιση της NA με ανάπτυξη, SGR, DGI, TGC και FCR είναι σύμφωνη με προηγούμενα δεδομένα για το χρυσόψαρο (*Carassius auratus*), που υποδείχνουν την εμπλοκή της στη διέγερση της πρόσληψης τροφής, μέσω των α_2 -αδρενεργικών υποδοχέων (De Pedro et al., 1995; De Pedro et al., 2001). Επιπλέον, η 5-HT επίσης εμπλέκεται στη διατροφική συμπεριφορά, με ανορεκτική δράση (Conde-Sieira et al., 2018; He et al., 2018; Kulczykowska and Sánchez Vázquez, 2010; Perez-Maceira et al., 2016), αλλά και ως ρυθμιστής της χρησιμοποίησης των μακροθρεπτικών συστατικών (Rubio et al., 2006). Συνεπώς, η αρνητική συσχέτιση της 5-HT στον μεσεγκέφαλο με τη LER (ημέρα 250), όπως επίσης και η θετική της συσχέτιση με τη FE (ημέρα 350) μπορεί να είναι αποτέλεσμα της συγκεκριμένης επίδρασης.

Όσον αφορά στα μοντέλα πρόβλεψης των συγκεντρώσεων των νευροδιαβιβαστών βάσει των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA, η συγκέντρωση της 5-HT παρουσιάζει μία ζώνη συγκράτησης. Μέσα σε αυτή τη ζώνη και καθώς αυξάνονται ταυτόχρονα οι τιμές των παραπάνω λόγων, οι τιμές της 5-HT παρουσιάζουν αρχικά αύξηση, ενώ μετά μείωση, κατά την εικόνα μιας κυκλοειδούς καμπύλης. Έξω από τη ζώνη συγκράτησης και όσο ένας από τους δύο λόγους αυξάνεται, ενώ ο άλλος παραμένει ελάχιστος, οι τιμές της συγκέντρωσης της 5-HT παρουσιάζουν εκθετική αύξηση. Για τα υπόλοιπα μοντέλα, παρατηρήθηκε παρόμοια εικόνα, όπου οι συγκεντρώσεις των νευροδιαβιβαστών παρουσίασαν τις μέγιστες τιμές τους στις ακραίες τιμές των λόγων SFA/n-3 LC PUFA και 18:1n-9/n-3 LC PUFA. Επίσης οι χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν όταν ήταν ελάχιστη η τιμή του λόγου SFA/n-3 LC PUFA και μέγιστη του 18:1n-9/n-3 LC PUFA και αντίστροφα. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η

συσσώρευση των ομάδων των λιπαρών οξέων (SFA, MUFA και n-3 LC PUFA) στο φιλέτο των ψαριών συμμετέχει στη ρύθμιση της λειτουργίας των νευροδιαβιβαστών. Γενικά η ισορροπία των λόγων των λιπαρών οξέων φαίνεται να συμβάλει σε εξισορρόπηση των συγκεντρώσεων των νευροδιαβιβαστών.

Στις ιχθυοτροφές με εναλλακτικές πηγές λίπους, η έλλειψη απαραίτητων πολυακόρεστων λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας, η σύσταση και η ποιότητα των πηγών λίπους που χρησιμοποιήθηκαν για την αντικατάσταση, αλλά και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος εκτροφής φαίνεται να προκαλούν απόκριση στο stress. Συμπερασματικά, οι νευροδιαβιβαστές του εγκεφάλου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες διατροφικού stress, ακόμη και σε αρχικό στάδιο της μεταβολικής διαταραχής.

4.3 Αιματολογικές Παράμετροι

Η συνολική προαγωγή της ανάπτυξης που παρατηρήθηκε στο χειρισμό μάρτυρα, έναντι των υπόλοιπων πειραματικών χειρισμών, ήταν εμφανής και στη συγκέντρωση γλυκόζης, όπου παρατηρήθηκαν οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε όλα τα χρονικά σημεία δειγματοληψίας. Με δεδομένο ότι η αντικατάσταση του ιχθυέλαιου μπορεί να αποτελέσει παράγοντα χρόνιου διατροφικού stress (Tsopelakos et al., 2018), το αυξημένο επίπεδο γλυκόζης στο πλάσμα του αίματος των ψαριών είναι ενδεικτικό μιας συνεχιζόμενης απόκρισης στο stress (Miliou et al., 2011; Papoutsoglou et al., 2008; Papoutsoglou et al., 2007; Papoutsoglou et al., 1999), η οποία παρεμποδίζει την ανάπτυξη των ψαριών.

Τα φυτικά έλαια που χρησιμοποιήθηκαν για την αντικατάσταση του ιχθυέλαιου, έχειδειχθεί ότι μειώνουν το επίπεδο της διατροφικής χοληστερόλης (Kortner et al., 2014; Sitjà-Bobadilla et al., 2005; Tocher et al., 2008). Επίσης, έχει αναφερθεί αυξημένη βιοσύνθεση χοληστερόλης προκειμένου να διατηρηθεί η συνολική ομοιοστασία χοληστερόλης (Leaver et al., 2008; Norambuena et al., 2013). Ωστόσο, στη μελέτη των Leaver et al. (2008) το περιεχόμενο χοληστερόλης του ήπατος και της σάρκας δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές μεταξύ των χειρισμών που διατράφηκαν με φυτικά έλαια και εκείνων που διατράφηκαν με ιχθυέλαιο. Αυτό το γεγονός είναι ενδεικτικό της πλήρους χρησιμοποίησης του χαμηλότερου επιπέδου διατροφικής χοληστερόλης των παραπάνω σιτηρεσιών. Στην παρούσα μελέτη δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές στη χοληστερόλη του πλάσματος τόσο μεταξύ των πειραματικών χειρισμών, όσο και με

το μάρτυρα, γεγονός που μπορεί να χαρακτηρίζει μια ισορροπία μεταξύ της χοληστερόλης που λήφθηκε με την τροφή και εκείνης που βιοσυντέθηκε. Επιπλέον, η *de-novo* παραγωγή χοληστερόλης είναι μία ενεργειακά απαιτητική διεργασία (Norambuena et al., 2013), γεγονός που μπορεί να έχει δυσμενή επίπτωση στην ενεργειακή κατάσταση και τελικά στην ανάπτυξη των ψαριών. Η παραπάνω κατάσταση εκδηλώθηκε στους πειραματικούς πληθυσμούς, στους οποίους χορηγήθηκαν τροφές με αντικατάσταση του ιχθυέλαιου από φυτικά έλαια, οι οποίοι παρουσίασαν αυξημένα επίπεδα γλυκόζης στο πλάσμα του αίματος και μειωμένη ανάπτυξη μετά από 131 και 188 ημέρες εκτροφής αντίστοιχα.

Η χοληστερόλη αποτελεί πρόδρομη ουσία της κορτιζόλης και η χαμηλή της περιεκτικότητα σε σιτηρέσια για τσιπούρα με αντικατάσταση του ιχθυελαίου από φυτικά έλαια, έχει συνδεθεί με χαμηλές τιμές κορτιζόλης (Schrama et al., 2017). Κατά αντιστοιχία, στην παρούσα μελέτη, οι τιμές της κορτιζόλης ήταν σημαντικά υψηλότερες στο μέσο επίπεδο n-3 LC PUFA. Επιπροσθέτως, η διαπιστωμένη σε θηλαστικά μείωση της κορτιζόλης από τα SFA (Nemeth et al., 2021), μπορεί να εξηγήσει τη δυναμική μείωση που παρατηρήθηκε στην M0.9 σε σχέση με την M0.6. Φαίνεται πως υπάρχει μία ισορροπία μεταξύ των n-3 LC PUFA, των MUFA και των SFA, που ρυθμίζει την συγκέντρωση της κορτιζόλης και χρίζει περαιτέρω διερεύνησης.

4.4 Σύσταση Φιλέτου και Λιπαρών Οξέων

Στην παρούσα μελέτη, όλες οι πειραματικές τροφές περιέχουν πρωτεΐνη φυτικής προέλευσης και συγκεκριμένα αυτές με την υψηλή ενσωμάτωση φυτικών ελαίων, παρουσίασαν αυξημένα επίπεδα λίπους στο ήπαρ, την ημέρα 251, κατά την οποία μειώθηκε η θερμοκρασία εκτροφής. Η θερμοκρασία φαίνεται να αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει σημαντικά τη συσσώρευση λίπους στο ήπαρ σολομού του Ατλαντικού (*Salmo salar*), όπου είχε χορηγηθεί χαμηλό διατροφικό επίπεδο n-3 LC PUFA, αλλά υπήρξε επίσης αλληλεπίδραση με άλλα συστατικά του σιτηρεσίου (Ruyter et al., 2006; Sissener et al., 2017b). Η συσσώρευση λίπους έχει παρατηρηθεί σε αρκετές διατροφικές δοκιμές με ψάρια, στα οποία χορηγήθηκαν υψηλά επίπεδα φυτικών ελαίων και ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιήθηκε έλαιο ελαιοκράμβης (Bell et al., 2001; Liland et al., 2013; Menoyo et al., 2005; Miller et al., 2008; Ruyter et al., 2006; Sanden et al., 2016; Sissener et al., 2017b; Torstensen et al., 2011).

Το λιπιδικό περιεχόμενο που καταγράφηκε στο ήπαρ των ψαριών την ημέρα 251, δεν ήταν αυξημένο στον ίδιο βαθμό μεταξύ των πειραματικών χειρισμών. Τόσο το διατροφικό επίπεδο των n-3 LC PUFA, όσο και ο λόγος SFA/MUFA φάνηκε να επηρεάζουν σημαντικά τη συγκέντρωση λίπους στο ήπαρ. Η αντικατάσταση του ιχθυέλαιου με βαθμιαία αυξανόμενα επίπεδα φοινικέλαιου, σε σιτηρέσια για σολομό δεν είχε σημαντική επίδραση στο περιεχόμενο λίπους του ήπατος (Bell et al., 2002), ενώ παρόμοια αντικατάσταση με έλαιο ελαιοκράμβης φάνηκε να το αυξάνει (Bell et al., 2001). Οι Sissener et al. (2017a) προτείνουν ότι η συσσώρευση λίπους στο ήπαρ των σολομών που διατράφηκαν με τροφές με υψηλά επίπεδα ελαίου ελαιοκράμβης, είναι πιθανό να οφείλεται στην υψηλή συγκέντρωση του ολεϊκού οξέος (18:1n-9), τη χαμηλή συγκέντρωση EPA (20:5n-3) ή/και DHA (22:6n-3), τη χαμηλή συγκέντρωση κορεσμένων λιπαρών οξέων ή από συνδυασμό όλων των παραπάνω. Στο λαβράκι, η συγκέντρωση λίπους στο ήπαρ αυξήθηκε ελαφρώς κάτω από αυτές τις συνθήκες, αλλά παρουσίασε σημαντική αύξηση στο συνδυασμό υψηλής συγκέντρωσης κορεσμένων (κυρίως 16:0) και χαμηλού επιπέδου n-3 LC PUFA. Η χορήγηση σιτηρεσίων με υψηλή λιποπεριεκτικότητα (πλούσιων σε 16:0) σε ποντίκια, φάνηκε να αυξάνει τη σύνθεση λιπαρών οξέων (18:0 και 18:1) στο ήπαρ, μέσω επιμήκυνσης της ανθρακικής αλυσίδας, όπως επίσης και την έκφραση του γονιδίου SCD1 και προήγαγε τη σύνθεση χοληστερόλης. Ωστόσο, δε διέγειρε τη έκκριση VLDL τριγλυκεριδίων, με αποτέλεσμα τα τριγλυκερίδια και οι εστέρες χοληστερόλης να συσσωρευθούν στο ήπαρ και να προαχθεί τελικά η συσσώρευση ηπατικού λίπους (Oosterveer et al., 2009). Αντίθετα, σε χάμστερ, η τροφή με υψηλή λιποπεριεκτικότητα, προκάλεσε μέτρια αύξηση της συγκέντρωσης VLDL και LDL χοληστερόλης, είχε μικρή επίδραση στη συγκέντρωση λίπους του ήπατος και μείωσε την έκφραση του SCD1 (Vallim and Salter, 2010). Η απόκριση του λίπους του ήπατος στα κορεσμένα λιπαρά οξέα της τροφής φαίνεται να εξαρτάται από το είδος του ζώου. Στα σολομοειδή, τα λιπίδια της σάρκας είναι το κύριο σημείο εναπόθεσης λίπους, ενώ στην πλειοψηφία των θαλάσσιων ειδών τα λιπίδια αποθηκεύονται κυρίως στο ήπαρ (Mourente and Bell, 2006).

Για το λαβράκι, το μήκος της ανθρακικής αλυσίδας και ο βαθμός κορεσμού των διατροφικών λιπαρών οξέων φαίνεται να επηρεάζουν τα τριγλυκερίδια του πλάσματος του αίματος και το περιεχόμενο του ήπατος σε λίπος, πιθανώς μέσω της συσσώρευσης και έκκρισης VLDL, όπως επίσης και μέσω της εκκαθάρισης του ήπατος από LDL. Σε κυτταρικά μοντέλα για θηλαστικά, η συσσώρευση και έκκριση της VLDL αυξάνονται

όταν τα κύτταρα διεγείρονται από ολεϊκό οξύ (18:1n-9), σε σύγκριση με την αντίστοιχη διέγερση από EPA και DHA. Ωστόσο, η παρατεταμένη έκθεση σε ολεϊκό οξύ μπορεί να προκαλέσει και αντίστροφη επίδραση, η οποία εκφράζεται μέσω μειωμένης έκκρισης τριγλυκεριδίων και αυξημένης συσσώρευσης λίπους στο ήπαρ (Sundaram and Yao, 2010).

Στο χειρισμό M0.4, είναι πιθανό το περιεχόμενο λίπους στο ήπαρ, το οποίο ήταν παρόμοιο με εκείνο του μάρτυρα, να επηρεάζεται από μία αυξημένη β-οξειδωση των λιπαρών οξέων. Οι Norambuena et al. (2013) ανέφεραν ότι μία μειωμένη χορήγηση διατροφικής χοληστερόλης αύξησε τη β-οξειδωση των λιπαρών οξέων στην πέστροφα. Στην παρούσα μελέτη, το επίπεδο του ολεϊκού οξέος βρέθηκε υψηλότερο στο φιλέτο των πειραματόζωων του μάρτυρα, σε σύγκριση με το αντίστοιχο επίπεδο της τροφής. Το γεγονός υποδεικνύει χαμηλότερη χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου λιπαρού οξέος, πιθανώς λόγω χαμηλής δραστηριότητας των μιτοχονδριακών ενζύμων για την οξειδωση των λιπαρών οξέων, όπως αναφέρεται και από τους Montero et al. (2005). Για τους υπόλοιπους χειρισμούς, για τους οποίους το επίπεδο των n-3 LC PUFA ήταν χαμηλότερο του βέλτιστου, τα επίπεδα του ολεϊκού οξέος του φιλέτου ήταν χαμηλότερα από τα αντίστοιχα στην τροφή, γεγονός που είναι ενδεικτικό μιας επιλεκτικής χρησιμοποίησής του, μαζί με το παλμιτικό οξύ (16:0), για την παραγωγή μεταβολικής ενέργειας (Sargent et al., 2002). Αυτή η κατάσταση ήταν περισσότερο έκδηλη στα λαβράκια του χειρισμού M0.4, όπου το ιχθυέλαιο αντικαταστάθηκε μερικώς από έλαιο ελαιοκράμβης και παρουσίασε σημαντικά χαμηλότερο επίπεδο ολεϊκού οξέος στο φιλέτο από ότι ο χειρισμός X0.4, όπου το ιχθυέλαιο αντικαταστάθηκε σχεδόν ολοκληρωτικά από έλαιο ελαιοκράμβης. Η M0.4 παρουσίασε επίσης υψηλότερα επίπεδα EPA και DHA στο φιλέτο, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους χειρισμούς που είχαν διατραφεί σε παρόμοιο επίπεδο των συγκεκριμένων λιπαρών οξέων.

Όπως προαναφέρθηκε, το φαινόμενο φειδωλής χρησιμοποίησης των n-3 LC PUFA έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση το ρυθμού εναπόθεσης στο φιλέτο των ψαριών αυτών των ευεργετικών για την ανθρώπινη υγεία λιπαρών οξέων (Turchini et al., 2011). Η αυξημένη εναπόθεση n-3 LC PUFA ήταν επίσης παρούσα και στο φιλέτο των ψαριών των χειρισμών X0.9 και M0.4. Ωστόσο, αυτοί οι χειρισμοί κατέγραψαν σημαντικά χαμηλότερο μέσο σωματικό βάρος σε σύγκριση με τους υπόλοιπους (ημέρα 251) όπου η θερμοκρασία ήταν χαμηλότερη. Επιπλέον, ο χειρισμός X0.9 παρουσίασε την ημέρα 251 την υψηλότερη λιποπερικτικότητα σε ήπαρ και σάρκα, τον υψηλότερο συντελεστή

εκμετάλλευσης της τροφής (FCR), καθώς και τους υψηλότερους ηπατοσωματικούς (HSI) και σπλαγχνοσωματικούς δείκτες (VSI). Αυτή η φαινομενικά αθώα αποθήκευση λίπους αποτελεί το πρωτογενές γεγονός του «πρώτου πλήγματος» στην παθοφυσιολογία της Μη Αλκοολικής Στεατοηπατίτιδας (ΜΑΣΗ), που προκαλείται σε ανθρώπους και πειραματόζωα (Oosterveer et al., 2009).

Η χορήγηση τροφής χωρίς αντικατάσταση του ιχθυέλαιου στα λαβράκια, κατά τη διάρκεια της περιόδου τελικής διατροφής (finisher diet) αντιστάθμισε την αύξηση του λίπους στο ήπαρ των ψαριών του χειρισμού Χ0.9. Παρόμοια, έχει δειχθεί σε ποντίκια ότι το ιχθυέλαιο ομαλοποίησε το ηπατικό περιεχόμενο σε λίπος, μέσω της καταστολής της de novo λιπογένεσης, της επιμήκυνσης της ανθρακικής αλυσίδας και της σύνθεσης της χοληστερόλης (Oosterveer et al., 2009).

Η αντικατάσταση του ιχθυέλαιου, παρότι μπορεί να μην έχει δραστική επιρροή στην ανάπτυξη, έχει ουσιαστική επίδραση στη σύσταση των λιπαρών οξέων της σάρκας. Συνεπώς, για την ολοκλήρωση της εκτροφής συνιστάται μία περίοδος χορήγησης τροφών με υψηλό περιεχόμενο σε n-3 LC PUFA (περίοδος τελικής διατροφής, finisher diet period), ώστε να αποκατασταθεί η επιθυμητή σύσταση σε λιπαρά οξέα (Glencross and Turchini, 2011). Για την παρούσα μελέτη, η περίοδος 99 ημερών κατά την οποία χορηγήθηκε σε όλες τις επεμβάσεις η τροφή του μάρτυρα, φάνηκε να συμβάλλει στην αναπλήρωση του ελλείματος ανάπτυξης και της σύστασης των λιπαρών οξέων του φιλέτου. Ωστόσο, καμία από τις πειραματικές επεμβάσεις δεν κατόρθωσε να φτάσει το επίπεδο n-3 LC PUFA του μάρτυρα, γεγονός που έχει επίσης αναφερθεί και σε προηγούμενη μελέτη των Mourente and Bell (2006). Στην τσιπούρα (*Sparus aurata*) έχει παρατηρηθεί ότι μετά από 120 ημέρες τελικής διατροφής, τα n-3 LC PUFA έφτασαν ένα τελικό επίπεδο, πέρα από το οποίο δεν αυξήθηκαν (Fountoulaki et al., 2009).

Από την άλλη πλευρά, το περιεχόμενο του φιλέτου σε n-6 λιπαρά οξέα βρέθηκε παρόμοιο με το αντίστοιχο των πειραματικών τροφών μετά από 251 ημέρες εκτροφής και η περίοδος των 99 ημερών τελικής διατροφής δε φάνηκε να μειώνει το σύνολο των n-6 λιπαρών οξέων στο επίπεδο του μάρτυρα, γεγονός που είναι σε συμφωνία με προηγούμενα πειραματικά δεδομένα (Fountoulaki et al., 2009; Montero et al., 2005; Mourente and Bell, 2006).

Συνολικά, το περιεχόμενο του φιλέτου σε κορεσμένα και μονοακόρεστα λιπαρά οξέα παρουσιάστηκε εξισορροπημένο μεταξύ των πειραματικών χειρισμών και με μόνη εξαίρεση την περίπτωση του χαμηλού λόγου SFA/MUFA, η αναλογία που υπήρχε στις

τροφές αντικατοπτρίστηκε και στο φιλέτο. Διαφαίνεται η ύπαρξη ενός εύρους τιμών για την αναλογία κορεσμένων/μονοακόρεστων. Όταν η αναλογία υπερβεί το ανώτερο ή κατώτερο όριο, η χρησιμοποίηση των κορεσμένων και των μονοακόρεστων λιπαρών οξέων τροποποιείται ανάλογα, ώστε να αποκατασταθεί η ισορροπία προς το πλησιέστερο όριο, όπως προκύπτει από ανασκόπηση προηγούμενων μελετών (Chatelier et al., 2006; Eroldoğan et al., 2018; Torrecillas et al., 2017a; Yılmaz et al., 2016). Στην παρούσα μελέτη οι χειρισμοί X0.4 και M0.4 αύξησαν τη χρησιμοποίηση των μονοακόρεστων λιπαρών οξέων, ώστε να επιτευχθούν οι λόγοι 0.52 και 0.58 αντίστοιχα, σε αντίθεση με τους λόγους 0.36 και 0.35 που υπήρχαν στις τροφές.

Οι αυξήσεις του ηπατοσωματικού (HSI) και του σπλαγνοσωματικού (VSI) δείκτη, όπως επίσης και της λιποπερικτικότητας του ήπατος είναι ενδεικτικές της μείωσης χρησιμοποίησης του λίπους που παρέχεται από την τροφή στον οργανισμό (Torrecillas et al., 2017b). Η υπόθεση αυτή επιβεβαιώνεται στην περίπτωση του χειρισμού X0.9 ο οποίος παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές για τις παραπάνω παραμέτρους (για το VSI ωστόσο μη στατιστικά σημαντική) την ημέρα 251. Επιπλέον, για τον ίδιο χειρισμό καταγράφηκε η μεγαλύτερη απόθεση λίπους στο φιλέτο, γεγονός που υποδεικνύει ότι το λίπος από την τροφή δε χρησιμοποιήθηκε για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών. Συνολικά, ο υψηλός λόγος SFA/MUFA (0.8) επηρέασε σημαντικά τη λιποπερικτικότητα του ήπατος, με τους αντίστοιχους χειρισμούς να καταγράφουν τις υψηλότερες τιμές. Οι τροφές με υψηλό περιεχόμενο κορεσμένων λιπαρών οξέων έχουν συσχετιστεί με δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων (Connor, 2000; Simopoulos, 2002) και συνιστάται να περιορίζεται η κατανάλωση αυτής της ομάδας λιπαρών οξέων στο 10% της ενεργειακής πρόσληψης (Krebs-Smith et al., 2018). Επιπλέον, τα κορεσμένα λιπαρά οξέα ρυθμίζουν τη γονιδιακή έκφραση στο ήπαρ και συμβάλλουν στην εμφάνιση στεάτωσης (Vallim and Salter, 2010).

4.5 Συμπεράσματα

Η μακροχρόνια χορήγηση μιας ιχθυοτροφής με υψηλή ενσωμάτωση φυτικών ελαίων, σε συνδυασμό με υψηλό λόγο SFA/MUFA, φαίνεται ότι είναι επιβλαβής για την ανάπτυξη και τη συνολική ευζωία των εκτρεφόμενων ψαριών. Επιπλέον, μία τροφή με χαμηλό λόγο SFA/MUFA και χαμηλότερο επίπεδο αντικατάστασης του ιχθυέλαιου επίσης φαίνεται να παρεμποδίζει την ανάπτυξη. Ωστόσο, όταν αντικατασταθεί κατά την περίοδο τελικής διατροφής, από την τροφή χωρίς αντικατάσταση ιχθυέλαιου, τα ψάρια ανακάμπτουν γρηγορότερα από ό,τι εκείνα που είχαν προηγουμένως διατραφεί σε καθεστώς χαμηλού επιπέδου n-3 LC PUFA και υψηλού λόγου SFA/MUFA.

Το περιεχόμενο σε n-3 LC PUFA της παραπάνω επέμβασης είναι αυξημένο λόγω του φαινομένου της φειδωλής χρησιμοποίησης και παραμένει αυξημένο και κατά την περίοδο της τελικής διατροφής. Η υψηλή περιεκτικότητα του φιλέτου σε n-3 LC PUFA είναι επιθυμητή από τους καταναλωτές, αλλά ο συνδυασμός με την χαμηλή απόδοση της ανάπτυξης επιβάλλει την εφαρμογή τελικής διατροφής. Φαίνεται ότι η χαμηλή αντικατάσταση του ιχθυέλαιου, σε συνδυασμό με χαμηλό λόγο SFA/MUFA μπορεί να ενεργοποιήσει αυτή τη μεταβολική προσαρμογή προς όφελος του καταναλωτή, αφού η εκτροφή με τις εναλλακτικές ιχθυοτροφές δεν οδηγεί σε τελικό προϊόν με υψηλό περιεχόμενο σε n-3 LC PUFA. Ωστόσο η εξοικονόμηση πόρων από τη χορήγηση τροφών με αντικατάσταση του ιχθυέλαιου μπορεί να επιτρέψει την παράταση της τελικής διατροφής ως την επίτευξη υψηλότερου τελικού βάρους. Σε κάθε περίπτωση, η περιεκτικότητα των φιλέτων σε n-3 LC PUFA υπερβαίνει εκείνη της συνιστώμενης ημερήσιας πρόσληψης των 200-400mg (Metcalf et al., 2003; Simopoulos et al., 2000), αφού στο τέλος της εκτροφής παρουσίασαν κατ'ελάχιστο 530mg/100g φιλέτου.

Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκε για πρώτη φορά η συνδυασμένη επίδραση ομάδων λιπαρών οξέων της τροφής στις συγκεντρώσεις των νευροδιαβιβαστών σε διαφορετικά τμήματα του εγκεφάλου του λαβρακιού. Ο προσδιορισμός τους ανέδειξε διαφορές στις συγκεντρώσεις τους στο εκάστοτε τμήμα, που συνδέθηκαν με διαφορές σε παραμέτρους ανάπτυξης των ψαριών. Οι συνδέσεις θέτουν ερωτήματα για περαιτέρω διερεύνηση: την υπόθεση σχετικά με την εμφάνιση των αποκρίσεων στο χρόνια διατροφικό stress σε διαφορετικό χρόνο στα τμήματα του εγκεφάλου που εξετάστηκαν, την επιλογή τμήματος του εγκεφάλου, σε αντιδιαστολή με την ανάλυση ολόκληρου του εγκεφάλου, για την πρόβλεψη του χρόνιου διατροφικού stress και την ελάχιστη βέλτιστη διάρκεια της περιόδου τελικής διατροφής.

Η έλλειψη των n-3 LC PUFA και η αύξηση των SFA στην τροφή, συνδέθηκαν με αυξημένη απόκριση στο stress. Όπως προαναφέρθηκε, αυτός ο συνδυασμός προκάλεσε υστέρηση στην ανάπτυξη. Γενικά η αυξημένη απόκριση στο stress εκφράστηκε μέσω αυξημένων συγκεντρώσεων NA και αυξημένης σεροτονινεργικής και ντοπαμινεργικής δραστηριότητας. Μετά από συνεκτίμηση με βιοχημικές παραμέτρους, αλλά και παραμέτρους ανάπτυξης, η μειωμένη 5-HT συνδέθηκε με στρεσογόνο κατάσταση. Συμπερασματικά, οι νευροδιαβιβαστές του εγκεφάλου και ειδικά στο τμήμα του ρομβοειδούς, μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες χρόνιου διατροφικού stress, ακόμη και στα αρχικά στάδια της μεταβολικής διαταραχής.

Από τα μοντέλα πρόβλεψης των συγκεντρώσεων των νευροδιαβιβαστών μέσω των λόγων 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA, παρατηρήθηκε μείωση των συγκεντρώσεων DA, DOPAC, 5-HIAA, της σεροτονινεργικής και της ντοπαμινεργικής δραστηριότητας καθώς αυξάνονταν οι παραπάνω λόγοι. Η αύξηση των λόγων είναι αποτέλεσμα της μείωσης της συγκέντρωσης των n-3 LC PUFA. Στο σημείο που μεγιστοποιείται η συγκέντρωση των n-3 LC PUFA παρατηρείται και αυξημένη τιμή των νευροδιαβιβαστών. Συνεπώς η αυξημένη συσσώρευση n-3 LC PUFA στο φιλέτο του λαβρακιού μπορεί να σηματοδοτεί τη μη συμμετοχή τους στη νευροδιαβίβαση, με αποτέλεσμα την εμφάνιση των συμπτωμάτων του stress (αυξημένη σεροτονινεργική και ντοπαμινεργική δραστηριότητα). Η αντίστροφη εικόνα παρατηρήθηκε για την 5-HT, όπου η μείωση της συσσώρευσης n-3 LC PUFA στο φιλέτο, συνδέθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσής της. Όταν ακολούθως αυξηθούν οι λόγοι 18:1n-9/n-3 LC PUFA και SFA/n-3 LC PUFA, η συγκέντρωση της 5-HT μειώνεται, ως αποτέλεσμα της μεταβολικής διαταραχής λόγω της αυξημένης συσσώρευσης κορεσμένων και μονοακόρεστων σε βάρος των n-3 LC PUFA. Συνεπώς, οι αναλογίες των λιπαρών οξέων στο φιλέτο των ψαριών μπορούν να αποτελέσουν δείκτη της ευζωΐας τους, αφού συνδέονται άμεσα με τη λειτουργία των νευροδιαβιβαστών του εγκεφάλου.

Επισημαίνεται ότι οι εναλλακτικές τροφές για λαβράκι μπορεί να προκαλέσουν απόκριση στο stress και οι εμπλεκόμενοι παράγοντες δεν περιλαμβάνουν μόνο τη έλλειψη n-3 LC PUFA, αλλά και την αλληλεπίδραση μεταξύ των ομάδων λιπαρών οξέων, τη συνολική σύσταση σε λιπαρά οξέα, όπως επίσης και η ποιότητα της πηγής λίπους που χρησιμοποιείται για την αντικατάσταση του ιχθυέλαιου. Όλα τα παραπάνω σε συνδυασμό με το στάδιο του βιολογικού κύκλου και η διάρκεια της εκτροφής,

αποτελούν κρίσιμους παράγοντες που πρέπει να αξιολογηθούν κατά την κατάρτιση ενός σιτηρεσίου με αντικατάσταση ιχθυέλαιου.

5 Βιβλιογραφία

2001. The Merck Index Thirteenth Edition.
- Μιχαήλ, Σ.Γ., 1996. Ιστολογία. Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Παπαναστασίου, Δ., 1990. Αλιεύματα. Ίων.
- Παπουτσόγλου, Σ.Ε., 1994. Εκτροφές Υδροβίων Οργανισμών. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Παπουτσόγλου, Σ.Ε., 1997. Εισαγωγή στις Υδατοκαλλιέργειες. Αθ. Σταμούλης, Αθήνα.
- Παπουτσόγλου, Σ.Ε., 1998. Ενδοκρινολογία ιχθύων. Σταμούλης, Αθήνα.
- ΣΕΘ, 2020. Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια 2020.
- Σμοκοβίτης, Α., 1993. Φυσιολογία. Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Adams, C.F., Liley, N.R., Gorzalka, B.B., 1996. PCPA increases aggression in male firemouth cichlids. *Pharmacology* 53, 328–330.
- Ainsworth, A.J., Bowser, P.R., Beleau, M.H., 1985. Serum cortisol levels in channel catfish, from production ponds. *The Progressive Fish-Culturist* 47, 176-181.
- Alves Martins, D., Gomes, E., Rema, P., Dias, J., Ozório, R.O.A., Valente, L.M.P., 2006. Growth, digestibility and nutrient utilization of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles fed different dietary soybean oil levels. *Aquaculture International* 14, 285-295.
- Anderson, F.E., Green, C.B., 2000. Symphony of Rhythms in the *Xenopus laevis* Retina. *Microscopy research and technique* 50, 360-372.
- APHA, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, New York, USA.
- Ashley, P.J., 2007. Fish welfare: Current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science* 104, 199-235.
- Atalah, E., Cruz, C.M.H., Izquierdo, M.S., Rosenlund, G., Caballero, M.J., Valencia, A., Robaina, L., 2007. Two microalgae *Cryptocodinium cohnii* and *Phaeodactylum tricorutum* as alternative source of essential fatty acids in starter feeds for seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture* 270, 178-185.
- Austead, N., Innis, S., de la Presa Owens, S., 2000. Auditory evoked response and brain phospholipid fatty acids and monoamines in rats fed formula with and without arachidonic acid (AA) and/or docosahexaenoic acid (DHA), Brain uptake and utilization of fatty acids: applications to peroxisomal biogenesis disorders, Maryland: National Institutes of Health Conference.
- Barbato, F., Fanari, A., Meloni, F., Savarino, R., 1991. Rearing of sea bass *Dicentrarchus labrax* and sea bream *Sparus aurata* with floating cages in two Sardinian coastal lagoons. *Special Publication of the European Aquaculture Society* 14, 20-21.
- Barnabé, G., 1990. Rearing bass and gilthead bream.
- Barnes, C.N., Wallace, C.W., Jacobowitz, B.S., Fordahl, S.C., 2020. Reduced phasic dopamine release and slowed dopamine uptake occur in the nucleus accumbens after a diet high in saturated but not unsaturated fat. *Nutr Neurosci*, 1-13.
- Batzina, A., Dalla, C., Tsopeidakos, A., Papadopoulou-Daifoti, Z., Karakatsouli, N., 2014. Environmental enrichment induces changes in brain monoamine levels in gilthead seabream *Sparus aurata*. *Physiology & Behavior* 130, 85-90.
- Behrens, U.D., Douglas, R.H., Sugden, D., Davies, D.J., Wagner, H.J., 2000. Effect of melatonin agonists and antagonists on horizontal cell spinule formation and dopamine release in a fish retina. *Cell Tissue Research* 299, 299-306.
- Bell, G.J., Henderson, J.R., Tocher, D.R., McGhee, F., Dick, J.R., Porter, A., Smullen, R.P., Sargent, J.R., 2002. Substituting Fish Oil with Crude Palm Oil in the Diet of

- Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Affects Muscle Fatty Acid Composition and Hepatic Fatty Acid Metabolism. *The Journal of Nutrition* 132, 222-230.
- Bell, G.J., Koppe, W., 2011. Lipids in Aquafeeds. in: Turchini, G.M., Ng, W.K., Tocher, D.R. (Eds.), *Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds*. CRC Press, pp. 21-59.
- Bell, G.J., McEvoy, J., Tocher, D.R., McGhee, F., Campbell, P.J., Sargent, J.R., 2001. Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism. *Journal of Nutrition* 131, 1535.
- Bell, J.G., McGhee, F., Campbell, P.J., Sargent, J.R., 2003a. Rapeseed oil as an alternative to marine fish oil in diets of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*): changes in flesh fatty acid composition and effectiveness of subsequent fish oil "wash out". *Aquaculture* 218, 515-528.
- Bell, J.G., Tocher, D.R., Henderson, R.J., Dick, J.R., Crampton, V.O., 2003b. Altered Fatty Acid Compositions in Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Fed Diets Containing Linseed and Rapeseed Oils Can Be Partially Restored by a Subsequent Fish Oil Finishing Diet. *The Journal of Nutrition* 133, 2793-2801.
- Bellino, S., Bozzatello, P., Badino, C., Mantelli, E., Rocca, P., 2021. Efficacy of Polyunsaturated Fatty Acids (PUFAs) on Impulsive Behaviours and Aggressiveness in Psychiatric Disorders. *Int J Mol Sci* 22.
- Berg, J.M., Tymoczko, J.L., Stryer, L., 2006. Βιοχημεία. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο Κρήτης.
- Bertrand, A., Lengaigne, M., Takahashi, K., Avadí, A., Poulain, F., Harrod, C., 2020. El Niño Southern Oscillation effects on fisheries and aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*.
- Bessinis, D.P., Dalla, C., Kokras, N., Pitychoutis, P.M., Papadopoulou-Daifoti, Z., 2013. Sex-dependent neurochemical effects of environmental enrichment in the visual system. *Neuroscience* 254, 130-140.
- Bhathena, S.J., 2000. Relationship between fatty acids and the endocrine system. *BioFactors* 13, 35-39.
- Blouet, C., Schwartz, G.J., 2010. Hypothalamic nutrient sensing in the control of energy homeostasis. *Behav Brain Res* 209, 1-12.
- Brosowski, J., 1999. *Dicentrarchus labrax*. *Animal Diversity Web*.
- Caballero, M., Obach, A., Rosenlund, G., Montero, D., Gisvold, M., Izquierdo, M., 2002. Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 214, 253-271.
- Calder, P.C., 2018. Very long-chain n-3 fatty acids and human health: fact, fiction and the future. *Proc Nutr Soc* 77, 52-72.
- Campos, I., Matos, E., Maia, M.R.G., Marques, A., Valente, L.M.P., 2019. Partial and total replacement of fish oil by poultry fat in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles: Effects on nutrient utilization, growth performance, tissue composition and lipid metabolism. *Aquaculture* 502, 107-120.
- Cardinaletti, G., Messina, M., Bruno, M., Tulli, F., Poli, B.M., Giorgi, G., Chini-Zittelli, G., Tredici, M., Tibaldi, E., 2018. Effects of graded levels of a blend of *Tisochrysis lutea* and *Tetraselmis suecica* dried biomass on growth and muscle tissue composition of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed diets low in fish meal and oil. *Aquaculture* 485, 173-182.

- Chalon, S., Delion-Vancassel, S., Belzung, C., Guilloteau, D., Leguisquet, A., Besnard, J., Durand, G., 1998. Dietary fish oil affects monoaminergic neurotransmission and behavior in rats. *Journal of Nutrition* 128, 2512-2519.
- Chalon, S., Vancassel, S., Zimmer, L., Guilloteau, D., Durand, G., 2001. Polyunsaturated fatty acids and cerebral function: Focus on monoaminergic neurotransmission. *Lipids* 36, 937-944.
- Chatelier, A., McKenzie, D.J., Prinet, A., Galois, R., Robin, J., Zambonino, J., Claireaux, G., 2006. Associations between tissue fatty acid composition and physiological traits of performance and metabolism in the seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Journal of Experimental Biology* 209, 3429-3439.
- Chervinski, J., 1974. Sea bass, *Dicentrarchus labrax*, Linne (Pisces, Serranidae) a police-fish in freshwater ponds and its adaptability to various saline conditions. *Bamidgeh* 26, 110-113.
- Christie, W.W., 1982. A simple procedure for rapid transmethylation of glycerolipids and cholesteryl esters. *Journal of Lipid Research* 23, 1072-1075.
- Christie, W.W., 1993. Preparation of ester derivatives of fatty acids for chromatographic analysis. *Advances in lipid methodology* 2, 69-111.
- Conde-Sieira, M., Bonacic, K., Velasco, C., Valente, L.M., Morais, S., Soengas, J.L., 2015. Hypothalamic fatty acid sensing in Senegalese sole (*Solea senegalensis*): response to long-chain saturated, monounsaturated, and polyunsaturated (n-3) fatty acids. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 309, R1521-1531.
- Conde-Sieira, M., Chivite, M., Miguez, J.M., Soengas, J.L., 2018. Stress Effects on the Mechanisms Regulating Appetite in Teleost Fish. *Front Endocrinol (Lausanne)* 9, 631.
- Connor, W.E., 2000. Importance of n-3 fatty acids in health and disease. *The American Journal of Clinical Nutrition* 71, 171S-175S.
- Cordier, M., Brichon, G.r., Weber, J.-M., Zwingelstein, G., 2002. Changes in the fatty acid composition of phospholipids in tissues of farmed sea bass (*Dicentrarchus labrax*) during an annual cycle. Roles of environmental temperature and salinity. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* 133, 281-288.
- Coutteau, P., Van Stappen, G., Sorgeloos, P., 1996. A standard experimental diet for the study of fatty acid requirements of weaning and first on-growing stages of the European sea bass *Dicentrarchus labrax* L.: comparison of extruded and extruded/coated diets. *Archives of Animal Nutrition* 49, 49-59.
- Dalla Via, J., Villani, P., Gasteiger, E., Niederstätter, H., 1998. Oxygen consumption in sea bass fingerling *Dicentrarchus labrax* exposed to acute salinity and temperature changes: metabolic basis for maximum stocking density estimations. *Aquaculture* 169, 303-313.
- De la Presa Owens, S., Innis, S., 1999. Docosahexenoic and arachidonic acid prevent a decrease in dopaminergic and serotonergic neurotransmitters in frontal cortex caused by a linoleic and alpha-linolenic deficient diet in formula-fed piglets. *Journal of Nutrition* 129, 2088-2093.
- De Pedro, N., Céspedes, M.V., Delgado, M.J., Alonso-Bedate, M., 1995. The galanin-induced feeding stimulation is mediated via α 2-adrenergic receptors in goldfish. *Regulatory Peptides* 57, 77-84.
- De Pedro, N., Delgado, M.J., Alonso-Bedate, M., 2001. Fasting and hypothalamic catecholamines in goldfish. *Journal of Fish Biology* 58, 1404-1413.
- Decarie-Spain, L., Sharma, S., Hryhorczuk, C., Issa-Garcia, V., Barker, P.A., Arbour, N., Alquier, T., Fulton, S., 2018. Nucleus accumbens inflammation mediates

- anxiodepressive behavior and compulsive sucrose seeking elicited by saturated dietary fat. *Mol Metab* 10, 1-13.
- Di Marco, P., Petochi, T., Marino, G., Priori, A., Finoia, M.G., Tomassetti, P., Porrello, S., Giorgi, G., Lupi, P., Bonelli, A., Parisi, G., Poli, B.M., 2017. Insights into organic farming of European sea bass *Dicentrarchus labrax* and gilthead sea bream *Sparus aurata* through the assessment of environmental impact, growth performance, fish welfare and product quality. *Aquaculture* 471, 92-105.
- Dutheil, S., Ota, K.T., Wohleb, E.S., Rasmussen, K., Duman, R.S., 2016. High-Fat Diet Induced Anxiety and Anhedonia: Impact on Brain Homeostasis and Inflammation. *Neuropsychopharmacology* 41, 1874-1887.
- EC, 2012. Sea bass (*Dicentrarchus labrax*), Fisheries and Aquaculture in Europe. European Commission.
- Edwards, D.H., Kravitz, E.A., 1997. Serotonin, social status and aggression. *Current Opinion in Neurobiology* 7, 741-755.
- Eroldoğan, O.T., Elsabagh, M., Emre, Y., Turchini, G.M., Yılmaz, H.A., Eraslan, D., Emre, N., Evliyaoğlu, E., 2018. Circadian feeding schedules in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): A comparative approach towards improving dietary fish oil utilization and n-3 LC-PUFA metabolism. *Aquaculture* 495, 806-814.
- Eroldogan, O.T., Kumlu, M., Aktas, M., 2004. Optimum feeding rates for European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. reared in seawater and freshwater. *Aquaculture* 231, 501-515.
- Eroldogan, T.O., Yilmaz, A.H., Turchini, G.M., Arslan, M., Sirkecioglu, N.A., Engin, K., Ozsahinoglu, I., Mumogullarinda, P., 2013. Fatty acid metabolism in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): effects of n-6 PUFA and MUFA in fish oil replaced diets. *Fish Physiol Biochem* 39, 941-955.
- Fabbri, E., Capuzzo, A., Moon, T.W., 1998. The role of circulating catecholamines in the regulation of fish metabolism: An overview. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology* 120, 177-192.
- FAO, 2013. Cultured Aquatic Species Information Programme - *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus,1758). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO, 2015. National Aquaculture Sector Overview - Greece. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO, 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO, 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action.
- Ferrari, S., Rey, S., Hoglund, E., Overli, O., Chatain, B., MacKenzie, S., Begout, M.L., 2020. Physiological responses during acute stress recovery depend on stress coping style in European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Physiol Behav* 216, 112801.
- FishBase, Sea Bass.
- FishstatJ, 2020. Aquaculture Production (Quantities and values) 1950-2018
- Folch, J., Lees, M., Sloane-Stanley, G., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry* 226, 497-509.
- Forster, M.E., Forster, A.H., Davison, W., 1998. Effects of serotonin, adrenaline and other vasoactive drugs on the branchial blood vessels of the Antarctic fish *Pagothenia borchgrevinki*. *Fish Physiology and Biochemistry* 19, 103-109.

- Fountoulaki, E., Vasilaki, A., Hurtado, R., Grigorakis, K., Karacostas, I., Nengas, I., Rigos, G., Kotzamanis, Y., Venou, B., Alexis, M.N., 2009. Fish oil substitution by vegetable oils in commercial diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.); effects on growth performance, flesh quality and fillet fatty acid profile: Recovery of fatty acid profiles by a fish oil finishing diet under fluctuating water temperatures. *Aquaculture* 289, 317-326.
- Francis, D.S., Turchini, G.M., Jones, P.L., De Silva, S.S., 2006. Effects of dietary oil source on growth and fillet fatty acid composition of Murray cod, *Maccullochella peelii peelii*. *Aquaculture* 253, 547-556.
- Fukada, H., Kitagima, R., Shinagawa, J., Morino, H., Masumoto, T., 2019. Effects of complete replacement of fish oil with plant oil mixtures and algal meal on growth performance and fatty acid composition in juvenile yellowtail *Seriola quinqueradiata*. *Fisheries Science* 86, 107-118.
- Ganuzza, E., Benítez-Santana, T., Atalah, E., Vega-Orellana, O., Ganga, R., Izquierdo, M.S., 2008. *Cryptocodinium cohnii* and *Schizochytrium* sp. as potential substitutes to fisheries-derived oils from seabream (*Sparus aurata*) microdiets. *Aquaculture* 277, 109-116.
- Geay, F., Ferrareso, S., Zambonino-Infante, J.L., Bargelloni, L., Quentel, C., Vandeputte, M., Kaushik, S., Cahu, C.L., Mazurais, D., 2011. Effects of the total replacement of fish-based diet with plant-based diet on the hepatic transcriptome of two European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) half-sibfamilies showing different growth rates with the plant-based diet. *BMC Genomics* 12, 522.
- Ghasemi Fard, S., Wang, F., Sinclair, A.J., Elliott, G., Turchini, G.M., 2019. How does high DHA fish oil affect health? A systematic review of evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 59, 1684-1727.
- Giusti-Paiva, A., Elias, L.L.K., Antunes-Rodrigues, J., 2005. Inhibitory effect of gaseous neuromodulators in vasopressin and oxytocin release induced by endotoxin in rats. *Neuroscience Letters* 381, 320-324.
- Glencross, B.D., 2009. Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. *Reviews in Aquaculture* 1, 71-124.
- Glencross, B.D., Hawkins, W.E., Curnow, J.G., 2003. Restoration of the fatty acid composition of red seabream (*Pagrus auratus*) using a fish oil finishing diet after grow-out on plant oil based diets. *Aquaculture Nutrition* 9, 409.
- Glencross, B.D., Turchini, G.M., 2011. Fish oil replacement in starter, grow-out, and finishing feeds for farmed aquatic animals. in: Turchini, G.M., Ng, W.K., Tocher, D.R. (Eds.), *Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds*. CRC Press, pp. 373-404.
- Glencross, B.D., Turchini, G.M., Turchini, G., Ng, W., Tocher, D., 2010. Fish oil replacement in starter, grow-out, and finishing feeds for farmed aquatic animals. *Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds*, 373-404.
- He, Y.H., Li, L., Liang, X.F., He, S., Zhao, L., Zhang, Y.P., 2018. Inhibitory neurotransmitter serotonin and excitatory neurotransmitter dopamine both decrease food intake in Chinese perch (*Siniperca chuatsi*). *Fish Physiol Biochem* 44, 175-183.
- Hesse, S., Becker, G.A., Rullmann, M., Bresch, A., Luthardt, J., Hankir, M.K., Zientek, F., Reissig, G., Patt, M., Arelin, K., Lobsien, D., Muller, U., Baldofski, S., Meyer, P.M., Bluher, M., Fasshauer, M., Fenske, W.K., Stumvoll, M., Hilbert, A., Ding, Y.S., Sabri, O., 2017. Central noradrenaline transporter availability in highly obese, non-depressed individuals. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 44, 1056-1064.

- Hidalgo, F., Alliot, E., 1988. Influence of water temperature on protein requirement and protein utilization in juvenile sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture* 72, 115-129.
- Higgs, D., Dong, F., 2000. Lipids and fatty acids. *Encyclopedia of Aquaculture*, 476-496.
- Hoglund, E., Kolm, N., Winberg, S., 2001. Stress-induced changes in brain serotonergic activity, plasma cortisol and aggressive behavior in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) is counteracted by L-DOPA. *Physiology & Behavior* 74, 381– 389.
- IFFO, 2020. Feeding a growing population.
- Innis, S.M., 2007. Dietary (n-3) Fatty Acids and Brain Development. *The Journal of Nutrition* 137, 855-859.
- Izquierdo, M., Koven, W., 2011. Lipids. in: Holt, J. (Ed.), *Larval Fish Nutrition*. Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons, Inc., UK, Oxford, pp. 47-82.
- Izquierdo, M.S., Montero, D., Robaina, L., Caballero, M.J., Rosenlund, G., Ginès, R., 2005. Alterations in fillet fatty acid profile and flesh quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed vegetable oils for a long term period. Recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding. *Aquaculture* 250, 431-444.
- Izquierdo, M.S., Obach, A., Arantzamendi, L., Montero, D., Robaina, L., Rosenlund, G., 2003. Dietary lipid sources for seabream and seabass: growth performance, tissue composition and flesh quality. *Aquaculture Nutrition* 9, 397-407.
- Karakatsouli, N., Papoutsoglou, S.E., Pizzonia, G., Tsatsos, G., Tsopelakos, A., Chadio, S., Kalogiannis, D., Dalla, C., Pollisidis, A., Papadopoulou-Daifoti, Z., 2007. Effects of light spectrum on growth and physiological status of gilthead seabream *Sparus aurata* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared under recirculation system conditions. *Aquacultural Engineering* 36, 302-309.
- Karalazos, V., Bendiksen, E.Å., Dick, J.R., Bell, J.G., 2007. Effects of dietary protein, and fat level and rapeseed oil on growth and tissue fatty acid composition and metabolism in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared at low water temperatures. *Aquaculture Nutrition* 13, 256-265.
- Kaushik, S.J., 2002. European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. in: Webster, C.D., Lim, C.E. (Eds.), *Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture*. CABI Publishing, United Kingdom, pp. 28-39.
- Kelley, D., 1987. Food of bass in U. K. waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. Plymouth 67, 275-286.
- Ketchesin, K.D., Stinnett, G.S., Seasholtz, A.F., 2017. Corticotropin-releasing hormone-binding protein and stress: from invertebrates to humans. *Stress* 20, 449-464.
- Khan, N.A., Deschaux, P., 1997. Role of Serotonin in fish immunomodulation. *Journal of Experimental Biology* 200, 1833-1838.
- Kodas, E., Galineau, L., Bodard, S., Vancassel, S., Guilloteau, D., Besnard, J., Chalon, S., 2004. Serotonergic neurotransmission is affected by n-3 polyunsaturated fatty acids in the rat. *Journal of Neurochemistry* 89, 695-702.
- Kokras, N., Pastromas, N., Papasava, D., de Bournonville, C., Cornil, C.A., Dalla, C., 2018. Sex differences in behavioral and neurochemical effects of gonadectomy and aromatase inhibition in rats. *Psychoneuroendocrinology* 87, 93-107.
- Kortner, T.M., Björkhem, I., Krasnov, A., Timmerhaus, G., Krogdahl, Å., 2014. Dietary cholesterol supplementation to a plant-based diet suppresses the complete pathway of cholesterol synthesis and induces bile acid production in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *British Journal of Nutrition* 111, 2089-2103.
- Kousoulaki, K., Sæther, B.-S., Albrektsen, S., Noble, C., 2015. Review on European sea bass (*Dicentrarchus labrax*, Linnaeus, 1758) nutrition and feed management: a

- practical guide for optimizing feed formulation and farming protocols. *Aquaculture Nutrition* 21, 129-151.
- Krebs-Smith, S.M., Pannucci, T.E., Subar, A.F., Kirkpatrick, S.I., Lerman, J.L., Tooze, J.A., Wilson, M.M., Reedy, J., 2018. Update of the Healthy Eating Index: HEI-2015. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics* 118, 1591-1602.
- Kulczykowska, E., Sánchez Vázquez, F.J., 2010. Neurohormonal regulation of feed intake and response to nutrients in fish: aspects of feeding rhythm and stress. *Aquaculture Research* 41, 654-667.
- Lanari, D., Poli, B.M., Ballestrazzi, R., Lupi, P., D'Agaro, E., Mecatti, M., 1999. The effects of dietary fat and NFE levels on growing European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). Growth rate, body and fillet composition, carcass traits and nutrient retention efficiency. *Aquaculture* 179, 351-364.
- Larson, E.T., Summers, C.H., 2001. Serotonin reverses dominant social status. *Behavioural Brain Research* 121, 95-102.
- Lavenant, M., Paquotte, P., 1995. Aquaculture en système clos : estimation des coûts de production pour l'élevage du bar et du turbot, Séminaire SELAM, sur les aspects économiques de l'aquaculture en Méditerranée, CIHEAM / IFREMER, Montpellier 17-19 mai 1995.
- Lazzarotto, V., Medale, F., Larroquet, L., Corraze, G., 2018. Long-term dietary replacement of fishmeal and fish oil in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects on growth, whole body fatty acids and intestinal and hepatic gene expression. *PLoS One* 13, e0190730.
- Leal, E., Fernandez-Duran, B., Agulleiro, M.J., Conde-Siera, M., Miguez, J.M., Cerda-Reverter, J.M., 2013. Effects of dopaminergic system activation on feeding behavior and growth performance of the sea bass (*Dicentrarchus labrax*): a self-feeding approach. *Horm Behav* 64, 113-121.
- Leaute, J.-P., 1984. Approach of the diet of juveniles of sea bass and common dab, in Bay of Somme(France). *Revue des Travaux de l'Institut des Peches Maritimes Nantes* 48, 55-63.
- Leaver, M.J., Villeneuve, L.A., Obach, A., Jensen, L., Bron, J.E., Tocher, D.R., Taggart, J.B., 2008. Functional genomics reveals increases in cholesterol biosynthetic genes and highly unsaturated fatty acid biosynthesis after dietary substitution of fish oil with vegetable oils in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *BMC Genomics* 9, 299.
- Leibowitz, S.F., Alexander, J.T., 1998. Hypothalamic serotonin in control of eating behavior, meal size, and body weight. *Biological Psychiatry* 44, 851-864.
- Lemarié, G., Dosdat, A., Covés, D., Dutto, G., Gasset, E., Person-Le Ruyet, J., 2004. Effect of chronic ammonia exposure on growth of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture* 229, 479-491.
- Lepage, O., Larson, E.T., Mayer, I., Winberg, S., 2005. Serotonin, but not melatonin, plays a role in shaping dominant-subordinate relationships and aggression in rainbow trout. *Hormones and Behavior* 48, 233-242.
- Lepage, O., Vilchez, I.M., Pottinger, T.G., Winberg, S., 2003. Time-course of the effect of dietary L-tryptophan on plasma cortisol levels in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Experimental Biology* 206, 3589-3599.
- Liland, N.S., Espe, M., Rosenlund, G., Waagbø, R., Hjelle, J.I., Lie, Ø., Fontanillas, R., Torstensen, B.E., 2013. High levels of dietary phytosterols affect lipid metabolism and increase liver and plasma TAG in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *British Journal of Nutrition* 110, 1958-1967.

- Lin, X., Volkoff, H., Narnaware, Y., Bernier, N.J., Peyon, P., Peter, R.E., 2000. Brain regulation of feeding behavior and food intake in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 126, 415-434.
- Luo, H., Liang, X.F., Li, J., Zhang, Y., Xiao, Q., Peng, B., Zhang, Z., 2020. Effect of long-chain saturated and unsaturated fatty acids on hypothalamic fatty acid sensing in Chinese perch (*Siniperca chuatsi*). *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol* 241, 110395.
- Marrone, M.C., Coccurello, R., 2019. Dietary Fatty Acids and Microbiota-Brain Communication in Neuropsychiatric Diseases. *Biomolecules* 10.
- Martos-Sitcha, J.A., Mancera, J.M., Prunet, P., Magnoni, L.J., 2020. Editorial: Welfare and Stressors in Fish: Challenges Facing Aquaculture. *Front Physiol* 11, 162.
- McMurry, J., 2015. Βιομόρφα: Λιπίδια, Οργανική Χημεία. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, pp. 1345-1379.
- Meguid, M.M., Fetissov, S.O., Varma, M., Sato, T., Zhang, L., Laviano, A., Rossi-Fanelli, F., 2000. Hypothalamic dopamine and serotonin in the regulation of food intake. *Nutrition* 16, 843-857.
- Menoyo, D., Izquierdo, M., Robaina, L., Ginés, R., Lopez-Bote, C., Bautista, J., 2004. Adaptation of lipid metabolism, tissue composition and flesh quality in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) to the replacement of dietary fish oil by linseed and soyabean oils. *British Journal of Nutrition* 92, 41-52.
- Menoyo, D., Lopez-Bote, C., Bautista, J., Obach, A., 2003. Growth, digestibility and fatty acid utilization in large Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed varying levels of n-3 and saturated fatty acids. *Aquaculture* 225, 295-307.
- Menoyo, D., Lopez-Bote, C., Obach, A., Bautista, J., 2005. Effect of dietary fish oil substitution with linseed oil on the performance, tissue fatty acid profile, metabolism, and oxidative stability of Atlantic salmon. *Journal of Animal Science* 83, 2853-2862.
- Metcalf, R.G., James, M.J., Mantzioris, E., Cleland, L.G., 2003. A practical approach to increasing intakes of n-3 polyunsaturated fatty acids: use of novel foods enriched with n-3 fats. *European Journal of Clinical Nutrition* 57, 1605-1612.
- Miliou, H., Tsopelekos, A., Dalla, C., Papadopoulou-Daifoti, Z., 2011. Effects of pre-slaughter and slaughter methods to the brain monoaminergic activities and plasma glucose levels in sea bass, *Dicentrarchus labrax* L., *Aquaculture Europe* 2011. *Mediterranean Aquaculture 2020*, Rhodes, Greece.
- Miller, M.R., Nichols, P.D., Carter, C.G., 2007. Replacement of fish oil with thraustochytrid *Schizochytrium* sp. L oil in Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L) diets. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 148, 382-392.
- Miller, M.R., Nichols, P.D., Carter, C.G., 2008. n-3 Oil sources for use in aquaculture-alternatives to the unsustainable harvest of wild fish. *Nutrition Research Reviews* 21, 85-96.
- Monnard, C.R., Dulloo, A.G., 2021. Polyunsaturated fatty acids as modulators of fat mass and lean mass in human body composition regulation and cardiometabolic health. *Obesity Reviews* n/a, e13197.
- Monroig, O., Tocher, D.R., Castro, L.F.C., 2018. Polyunsaturated Fatty Acid Biosynthesis and Metabolism in Fish. in: Burdge, G.C. (Ed.), *Polyunsaturated Fatty Acid Metabolism*. AOCS Press, pp. 31-60.
- Monteiro, M., Matos, E., Ramos, R., Campos, I., Valente, L.M.P., 2018. A blend of land animal fats can replace up to 75% fish oil without affecting growth and nutrient utilization of European seabass. *Aquaculture* 487, 22-31.

- Montero, D., Grasso, V., Izquierdo, M.S., Ganga, R., Real, F., Tort, L., Caballero, M.J., Acosta, F., 2008. Total substitution of fish oil by vegetable oils in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) diets: Effects on hepatic Mx expression and some immune parameters. *Fish & Shellfish Immunology* 24, 147-155.
- Montero, D., Kalinowski, T., Obach, A., Robaina, L., Tort, L., Caballero, M., Izquierdo, M., 2003. Vegetable lipid sources for gilthead seabream (*Sparus aurata*): effects on fish health. *Aquaculture* 225, 353-370.
- Montero, D., Robaina, L., Caballero, M.J., Ginès, R., Izquierdo, M.S., 2005. Growth, feed utilization and flesh quality of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed diets containing vegetable oils: A time-course study on the effect of a re-feeding period with a 100% fish oil diet. *Aquaculture* 248, 121-134.
- Moon, M.L., Joesting, J.J., Lawson, M.A., Chiu, G.S., Blevins, N.A., Kwakwa, K.A., Freund, G.G., 2014. The saturated fatty acid, palmitic acid, induces anxiety-like behavior in mice. *Metabolism* 63, 1131-1140.
- Mourente, G., Bell, J.G., 2006. Partial replacement of dietary fish oil with blends of vegetable oils (rapeseed, linseed and palm oils) in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) over a long term growth study: Effects on muscle and liver fatty acid composition and effectiveness of a fish oil finishing diet. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* 145, 389-399.
- Mourente, G., Dick, J.R., Bell, J.G., Tocher, D.R., 2005. Effect of partial substitution of dietary fish oil by vegetable oils on desaturation and [beta]-oxidation of [1-¹⁴C]18:3n-3 (LNA) and [1-¹⁴C]20:5n-3 (EPA) in hepatocytes and enterocytes of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Aquaculture* 248, 173-186.
- Mu, H., Wei, C., Zhang, Y., Zhou, H., Pan, Y., Chen, J., Zhang, W., Mai, K., 2020. Impacts of replacement of dietary fish oil by vegetable oils on growth performance, anti-oxidative capacity, and inflammatory response in large yellow croaker *Larimichthys crocea*. *Fish Physiol Biochem* 46, 231-245.
- Mukuda, T., Ando, M., 2003. Brain Atlas of the Japanese Eel: Comparison to Other Fishes. Hiroshima University, pp. 1-25.
- Munro, A.D., 1986. Effects of melatonin, serotonin and naloxene on aggression in isolated cichlid fish (*Aequidens pulcher*). *Journal of Pineal Research* 3, 257-262.
- Nakajima, S., Fukasawa, K., Gotoh, M., Murakami-Murofushi, K., Kunugi, H., 2020. Saturated fatty acid is a principal cause of anxiety-like behavior in diet-induced obese rats in relation to serum lysophosphatidyl choline level. *Int J Obes (Lond)* 44, 727-738.
- Nehr, O., Blancheton, J.-P., Alliot, E., 1996. Development of an intensive culture system for sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae in sea enclosures. *Aquaculture* 142, 43-58.
- Nemeth, M., Schuster, D., Millesi, E., Wallner, B., 2021. Dietary fatty acids modulate cortisol concentrations and social dominance during social confrontations in adolescent male guinea pigs. *Psychoneuroendocrinology* 123, 105045.
- Ng, W.K., Gibon, V., 2011. Palm Oil and Saturated Fatty Acid-Rich Vegetable Oils. in: Turchini, G.M., Ng, W.K., Tocher, D.R. (Eds.), *Fish Oil Replacement and Alternative Lipid Sources in Aquaculture Feeds*. CRC Press, pp. 99-132.
- Norambuena, F., Lewis, M., Hamid, N.K.A., Hermon, K., Donald, J.A., Turchini, G.M., 2013. Fish oil replacement in current aquaculture feed: is cholesterol a hidden treasure for fish nutrition? *PLoS One* 8, e81705.
- Northcutt, G.R., 2002. Understanding vertebrate brain evolution. *Integrative and Comparative Biology* 42, 743-756.

- NRC, 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academies Press.
- O Reece, W., 2015. Λειτουργική Ανατομική και Φυσιολογία Ζώων. Utopia.
- OECD, 2020. The Observatory of Economic Complexity - Greece.
- Olsen, R.E., Waagbø, R., Melle, W., Ringø, E., Lall, S.P., 2011. Alternative Marine Resources. in: Turchini, G.M., Ng, W.K., Douglas, R.H. (Eds.), Fish Oil Replacement and Alternative Lipid Sources in Aquaculture Feeds. CRC Press, pp. 268-324.
- Olsen, R.L., Toppe, J., Karunasagar, I., 2014. Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish. Trends in Food Science & Technology 36, 144-151.
- Oosterveer, M.H., van Dijk, T.H., Tietge, U.J.F., Boer, T., Havinga, R., Stellaard, F., Groen, A.K., Kuipers, F., Reijngoud, D.-J., 2009. High Fat Feeding Induces Hepatic Fatty Acid Elongation in Mice. PLOS ONE 4, e6066.
- Overli, O., Harris, C.A., Winberg, S., 1999. Effects of fights for social dominance, and the establishment of dominance– subordinate relationships, on brain monoamines and cortisol in rainbow trout. Brain Behavior and Evolution 54, 263–275.
- Overli, O., Korzan, W.J., Larson, E.T., Winberg, S., Lepage, O., Pottinger, T.G., Renner, K.J., Summers, C.H., 2004. Behavioral and neuroendocrine correlates of displaced aggression in trout. Hormones and Behavior 45, 324-329.
- Overli, O., Winberg, S., Damsgard, B., Jobling, M., 1998. Food intake and spontaneous swimming activity in Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.): role of brain serotonergic activity and social interaction. Canadian Journal of Zoology 76, 1366-1370.
- Özşahinoğlu, I., Eroldoğan, T., Mumoğullarında, P., Dikel, S., Engin, K., Yılmaz, A.H., Arslan, M., Sirkecioğlu, A.N., 2013. Partial replacement of fish oil with vegetable oils in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*): effects on growth performance and fatty acids profile. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 13, 819-825.
- Page, K.C., Anday, E.K., 2020. Dietary Exposure to Excess Saturated Fat During Early Life Alters Hippocampal Gene Expression and Increases Risk for Behavioral Disorders in Adulthood. Front Neurosci 14, 527258.
- Papoutsoglou, S., Costello, M.J., Stamou, E., Tziha, G., 1996. Environmental conditions at sea-cages, and ectoparasites on farmed European sea-bass, *Dicentrarchus labrax* L., and gilt-head sea-bream, *Sparus aurata* L., at two farms in Greece. Aquaculture Research 27, 25-34.
- Papoutsoglou, S.E., 2012. The role of the brain in farmed fish. Reviews in Aquaculture 4, 1-10.
- Papoutsoglou, S.E., Karakatsouli, N., Batzina, A., Papoutsoglou, E.S., Tsopelakos, A., 2008. Effect of music stimulus on gilthead seabream *Sparus aurata* physiology under different light intensity in a re-circulating water system. Journal of Fish Biology 73, 980-1004.
- Papoutsoglou, S.E., Karakatsouli, N., Louizos, E., Chadio, S., Kalogiannis, D., Dalla, C., Pollisidis, A., Papadopoulou-Daifoti, Z., 2007. Effect of Mozart's music (Romanze-Andante of "Eine Kleine Nacht Musik" sol major K525) stimulus on common carp (*Cyprinus carpio* L.) physiology under different light conditions. Aquacultural Engineering 36, 61-72.
- Papoutsoglou, S.E., Miliou, H., Chadio, S., Karakatsouli, N., Zarkada, A., 1999. Studies on stress responses and recovery from removal in gilthead sea bream *Sparus aurata* (L.) using recirculated seawater system. Aquacultural Engineering 21, 19-32.

- Papoutsoglou, S.E., Tziha, G., Vrettos, X., Athanasiou, A., 1998. Effects of stocking density on behavior and growth rate of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles reared in a closed circulated system. *Aquacultural Engineering* 18, 135-144.
- Parpoura, A.C.R., Alexis, M.N., 2001. Effects of different dietary oils in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) nutrition. *Aquaculture International* 9, 463-476.
- Pastoureaud, A., 1991. Influence of starvation at low temperatures on utilization of energy reserves, appetite recovery and growth character in sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture* 99, 167-178.
- Patrick, R.P., Ames, B.N., 2015. Vitamin D and the omega-3 fatty acids control serotonin synthesis and action, part 2: relevance for ADHD, bipolar disorder, schizophrenia, and impulsive behavior. *FASEB J* 29, 2207-2222.
- Peng, S., Chen, L., Qin, J.G., Hou, J., Yu, N., Long, Z., Ye, J., Sun, X., 2008. Effects of replacement of dietary fish oil by soybean oil on growth performance and liver biochemical composition in juvenile black seabream, *Acanthopagrus schlegelii*. *Aquaculture* 276, 154-161.
- Perez-Maceira, J.J., Otero-Rodino, C., Mancebo, M.J., Soengas, J.L., Aldegunde, M., 2016. Food intake inhibition in rainbow trout induced by activation of serotonin 5-HT_{2C} receptors is associated with increases in POMC, CART and CRF mRNA abundance in hypothalamus. *J Comp Physiol B* 186, 313-321.
- Perry, S.F., Wood, C.M., 1989. Control and coordination of gas transfer in fishes. *Canadian Journal of Zoology* 67, 2961-2970.
- Pettersson, A., Johnsson, L., Brännäs, E., Pickova, J., 2009. Effects of rapeseed oil replacement in fish feed on lipid composition and self-selection by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition* 15, 577-586.
- Pickett, G.D., Pawson, M.G., 1994. *Sea Bass: Biology, exploitation and conservation*. Chapman & Hall.
- Pifl, C., Rebernik, P., Kattinger, A., Reither, H., 2004. Zn²⁺ modulates currents generated by the dopamine transporter: parallel effects on amphetamine-induced charge transfer and release. *Neuropharmacology* 46, 223-231.
- Raso, S., Anderson, T.A., 2003. Effects of dietary fish oil replacement on growth and carcass proximate composition of juvenile barramundi (*Lates calcarifer*). *Aquaculture Research* 34, 813-819.
- Regost, C., Arzel, J., Cardinal, M., Rosenlund, G., Kaushik, S.J., 2003. Total replacement of fish oil by soybean or linseed oil with a return to fish oil in Turbot (*Psetta maxima*): 2. Flesh quality properties. *Aquaculture* 220, 737-747.
- Reid, S.G., Bernier, N.J., Perry, S.F., 1998. The adrenergic stress response in fish: control of catecholamine storage and release. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C* 120, 1-27.
- Richard, N., Mourente, G., Kaushik, S., Corraze, G., 2006. Replacement of a large portion of fish oil by vegetable oils does not affect lipogenesis, lipid transport and tissue lipid uptake in European seabass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Aquaculture* 261, 1077-1087.
- Rosenlund, G., Obach, A., Sandberg, M.G., Standal, H., Tveit, K., 2001. Effect of alternative lipid sources on long-term growth performance and quality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture Research* 32, 323-328.
- Roy, J., Larroquet, L., Surget, A., Lanuque, A., Sandres, F., Terrier, F., Corraze, G., Chung-Yung Lee, J., Skiba-Cassy, S., 2020. Impact on cerebral function in rainbow trout fed with plant based omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids enriched with DHA and EPA. *Fish Shellfish Immunol* 103, 409-420.

- Rubio, V.C., Sánchez-Vázquez, F.J., Madrid, J.A., 2006. Oral serotonin administration affects the quantity and the quality of macronutrients selection in European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. *Physiology & Behavior* 87, 7-15.
- Ruyter, B., Moya-Falcón, C., Rosenlund, G., Vegusdal, A., 2006. Fat content and morphology of liver and intestine of Atlantic salmon (*Salmo salar*): Effects of temperature and dietary soybean oil. *Aquaculture* 252, 441-452.
- Sanden, M., Liland, N.S., Sæle, Ø., Rosenlund, G., Du, S., Torstensen, B.E., Stubhaug, I., Ruyter, B., Sissener, N.H., 2016. Minor lipid metabolic perturbations in the liver of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) caused by suboptimal dietary content of nutrients from fish oil. *Fish Physiology and Biochemistry* 42, 1463-1480.
- Saoud, I.P., Rodgers, L.J., Davis, A.A., Rouse, D.B., 2008. Replacement of fish meal with poultry by-product meal in practical diets for redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*). *Aquaculture Nutrition* 14, 139-142.
- Sargent, J., Bell, G., McEvoy, L., Tocher, D., Estevez, A., 1999. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. *Aquaculture* 177, 191-199.
- Sargent, J., Tocher, D., Bell, J., 2002. The lipids. in: Halver, J., Hardy, R. (Eds.), *Fish nutrition*. Academic Press, San Diego, USA, pp. 181-257.
- Schrama, D., Richard, N., Silva, T.S., Figueiredo, F.A., Conceicao, L.E., Burchmore, R., Eckersall, D., Rodrigues, P.M., 2017. Enhanced dietary formulation to mitigate winter thermal stress in gilthead sea bream (*Sparus aurata*): a 2D-DIGE plasma proteome study. *Fish Physiol Biochem* 43, 603-617.
- Schwartz, D.H., Hernandez, L., Hoebel, B.G., 1990. Serotonin release in lateral and medial hypothalamus during feeding and its anticipation. *Brain Research Bulletin* 25, 797-802.
- Shapawi, R., Mustafa, S., Ng, W.K., 2008. Effects of dietary fish oil replacement with vegetable oils on growth and tissue fatty acid composition of humpback grouper, *Cromileptes altivelis* (Valenciennes). *Aquaculture Research* 39, 315-323.
- Simopoulos, A.P., 2002. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 56, 365-379.
- Simopoulos, A.P., Leaf, A., Salem, N., Jr., 2000. Workshop Statement on the Essentiality of and Recommended Dietary Intakes for Omega-6 and Omega-3 Fatty Acids. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids* 63, 119-121.
- Sissener, N.H., Liland, N.S., Holen, E., Stubhaug, I., Torstensen, B.E., Rosenlund, G., 2017a. Phytosterols are not involved in the development of fatty liver in plant oil fed Atlantic salmon (*Salmo salar*) at high or low water temperature. *Aquaculture* 480, 123-134.
- Sissener, N.H., Torstensen, B.E., Owen, M.A.G., Liland, N.S., Stubhaug, I., Rosenlund, G., 2017b. Temperature modulates liver lipid accumulation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed low dietary levels of long-chain n-3 fatty acids. *Aquaculture Nutrition* 23, 865-878.
- Sitjà-Bobadilla, A., Peña-Llopis, S., Gómez-Requeni, P., Médale, F., Kaushik, S., Pérez-Sánchez, J., 2005. Effect of fish meal replacement by plant protein sources on non-specific defence mechanisms and oxidative stress in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture* 249, 387-400.
- Small, D.M., 2017. Dopamine Adaptations as a Common Pathway for Neurocognitive Impairment in Diabetes and Obesity: A Neuropsychological Perspective. *Frontiers in Neuroscience* 11.
- Smith, C., 1990. Moronidae. Check-list of the fishes of the eastern tropical Atlantic (CLOFETA) 2, 692-694.

- Sundaram, M., Yao, Z., 2010. Recent progress in understanding protein and lipid factors affecting hepatic VLDL assembly and secretion. *Nutrition & Metabolism* 7, 35.
- Tanskanen, A., Hibbeln, J.R., Hintikka, J., Haatainen, K., Honkalampi, K., Viinamaki, H., 2001. Fish consumption, depression, and suicidality in a general population. *Archives of General Psychiatry* 58, 512-513.
- Thomas, S.A., Palmiter, R.D., 1997. Thermoregulatory and metabolic phenotypes of mice lacking noradrenaline and adrenaline. *Nature* 387, 94-97.
- Tocher, D.R., 2003. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Reviews in Fisheries Science* 11, 107-184.
- Tocher, D.R., Bell, J.G., Dick, J.R., Henderson, R.J., McGhee, F., Michell, D., Morris, P.C., 2000. Polyunsaturated fatty acid metabolism in Atlantic salmon (*Salmo salar*) undergoing parr-smolt transformation and the effects of dietary linseed and rapeseed oils. *Fish Physiology and Biochemistry* 23, 59-73.
- Tocher, D.R., Bendiksen, E.Å., Campbell, P.J., Bell, J.G., 2008. The role of phospholipids in nutrition and metabolism of teleost fish. *Aquaculture* 280, 21-34.
- Toni, M., Manciooco, A., Angiulli, E., Alleva, E., Cioni, C., Malavasi, S., 2019. Review: Assessing fish welfare in research and aquaculture, with a focus on European directives. *Animal* 13, 161-170.
- Torrecillas, S., Betancor, M.B., Caballero, M.J., Rivero, F., Robaina, L., Izquierdo, M., Montero, D., 2017a. Supplementation of arachidonic acid rich oil in European sea bass juveniles (*Dicentrarchus labrax*) diets: effects on growth performance, tissue fatty acid profile and lipid metabolism. *Fish Physiology and Biochemistry* 44, 283-300.
- Torrecillas, S., Robaina, L., Caballero, M.J., Montero, D., Calandra, G., Mompel, D., Karalazos, V., Kaushik, S., Izquierdo, M.S., 2017b. Combined replacement of fishmeal and fish oil in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): Production performance, tissue composition and liver morphology. *Aquaculture* 474, 101-112.
- Torstensen, B.E., Bell, J.G., Rosenlund, G., Henderson, R.J., Graff, I.E., Tocher, D.R., Lie, O., Sargent, J.R., 2005. Tailoring of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) Flesh Lipid Composition and Sensory Quality by Replacing Fish Oil with a Vegetable Oil Blend. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 10166-10178.
- Torstensen, B.E., Espe, M., Sanden, M., Stubhaug, I., Waagbø, R., Hemre, G.I., Fontanillas, R., Nordgarden, U., Hevrøy, E.M., Olsvik, P., Berntssen, M.H.G., 2008. Novel production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) protein based on combined replacement of fish meal and fish oil with plant meal and vegetable oil blends. *Aquaculture* 285, 193-200.
- Torstensen, B.E., Espe, M., Stubhaug, I., Lie, Ø., 2011. Dietary plant proteins and vegetable oil blends increase adiposity and plasma lipids in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *British Journal of Nutrition* 106, 633-647.
- Torstensen, B.E., Frøyland, L., Lie, Ø., 2004. Replacing dietary fish oil with increasing levels of rapeseed oil and olive oil – effects on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) tissue and lipoprotein lipid composition and lipogenic enzyme activities. *Aquaculture Nutrition* 10, 175-192.
- Toyes-Vargas, E.A., Parrish, C.C., Viana, M.T., Carreón-Palau, L., Magallón-Servín, P., Magallón-Barajas, F.J., 2020. Replacement of fish oil with camelina (*Camelina sativa*) oil in diets for juvenile tilapia (var. GIFT *Oreochromis niloticus*) and its effect on growth, feed utilization and muscle lipid composition. *Aquaculture* 523.

- Tsevis, N., Klaoudatos, S., Conides, A., 1992. Food conversion budget in sea bass, *Dicentrarchus labrax*, fingerlings under two different feeding frequency patterns. *Aquaculture* 101, 293-304.
- Tsopelakos, A., Zogopoulou, E., Papasava, D., Dalla, C., Karalazos, V., Miliou, H., 2015. Effects of varying essential fatty acid dietary levels and ratios on the brain serotonergic and dopaminergic activities of sea bass (*Dicentrarchus labrax*, Linnaeus, 1758), *Aquaculture Europe Rotterdam, Netherlands*.
- Tsopelakos, A., Zogopoulou, E., Papasava, D., Dalla, C., Miliou, H., 2018. Effects of levels and ratios of fatty acids in feeds with alternative lipid sources on neurotransmitter levels in three brain sections and growth performance of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.), *Hydromedit 2018, Volos, Greece*, pp. 202-204.
- Turchini, G., Mailer, R.J., 2010. Rapeseed (canola) oil and other monounsaturated fatty acid-rich vegetable oils. Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds, 161-208.
- Turchini, G.M., Francis, D.S., De Silva, S.S., 2007a. Finishing diets stimulate compensatory growth: results of a study on Murray cod, *Maccullochella peelii peelii*. *Aquaculture Nutrition* 13, 351-360.
- Turchini, G.M., Francis, D.S., Senadheera, S.P.S.D., Thanuthong, T., De Silva, S.S., 2011. Fish oil replacement with different vegetable oils in Murray cod: Evidence of an “omega-3 sparing effect” by other dietary fatty acids. *Aquaculture* 315, 250-259.
- Turchini, G.M., Gunasekera, R.M., De Silva, S.S., 2003a. Effect of crude oil extracts from trout offal as a replacement for fish oil in the diets of the Australian native fish Murray cod *Maccullochella peelii peelii*. *Aquaculture Research* 34, 697-708.
- Turchini, G.M., Mentasti, T., Frøyland, L., Orban, E., Caprino, F., Moretti, V.M., Valfré, F., 2003b. Effects of alternative dietary lipid sources on performance, tissue chemical composition, mitochondrial fatty acid oxidation capabilities and sensory characteristics in brown trout (*Salmo trutta* L.). *Aquaculture* 225, 251-267.
- Turchini, G.M., Moretti, V.M., Hermon, K., Caprino, F., Busetto, M.L., Bellagamba, F., Rankin, T., Keast, R.S.J., Francis, D.S., 2013. Monola oil versus canola oil as a fish oil replacer in rainbow trout feeds: Effects on growth, fatty acid metabolism and final eating quality. *Food Chemistry* 141, 1335-1344.
- Turchini, G.M., Moretti, V.M., Mentasti, T., Orban, E., Valfré, F., 2007b. Effects of dietary lipid source on fillet chemical composition, flavour volatile compounds and sensory characteristics in the freshwater fish tench (*Tinca tinca* L.). *Food Chemistry* 102, 1144-1155.
- Turchini, G.M., Torstensen, B.E., Ng, W.K., 2009. Fish oil replacement in finfish nutrition. *Reviews in Aquaculture* 1, 10-57.
- Vallim, T., Salter, A., 2010. Regulation of hepatic gene expression by saturated fatty acids. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids (PLEFA)* 82, 211-218.
- Varsamos, S., Connes, R., Diaz, J.P., Barnabé, G., Charmantier, G., 2001. Ontogeny of osmoregulation in the European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. *Marine Biology* 138, 909-915.
- Venturini, G., Cataldi, E., Marino, G., Pucci, P., garibaldi, L., Bronzi, P., Cataudella, S., 1992. Serum ions concentration and atpase activity in gills, kidney and oesophagus of european sea bass (*Dicentrarchus labrax*, pisces, perciformes) during acclimation trials to fresh water. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 103, 451-454.

- Wang, G.-J., Volkow, N.D., Logan, J., Pappas, N.R., Wong, C.T., Zhu, W., Netusll, N., Fowler, J.S., 2001. Brain dopamine and obesity. *The Lancet* 357, 354-357.
- Wassef, E., Saleh, N., El-Abd El-Hady, H., 2008. Vegetable oil blend as alternative lipid resources in diets for gilthead seabream, *Sparus aurata*. *Aquaculture International*.
- Watanabe, Y., Tatsuno, I., 2021. Omega-3 polyunsaturated fatty acids focusing on eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in the prevention of cardiovascular diseases: a review of the state-of-the-art. *Expert Review of Clinical Pharmacology* 14, 79-93.
- Winberg, S., Nilsson, G.E., McCarthy, I.D., He, Z.Y., Nilsson, G.E., Houlihan, D.F., 1993b. Feeding rank and brain serotonergic activity in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Experimental Biology* 179, 197-211.
- Winberg, S., Nilsson, G.E., 1993a. Roles of brain monoamine neurotransmitters in agonistic behaviour and stress reactions, with particular reference to fish. *Comparative Biochemical Physiology* 106C, 597-614.
- Winberg, S., Nilsson, G.E., Olsen, H.K., 1992a. The effect of stress and starvation on brain serotonin utilization in arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *J. exp. Biol.* 165, 229-239.
- Winberg, S., Nilsson, G.E., Olsen, H.K., 1992b. The effect of stress and starvation on brain serotonin utilization in arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Journal of Experimental Biology* 165, 229-239.
- Wu, T., Bechtel, P., 2008. Salmon by-product storage and oil extraction. *Food Chemistry* 111, 868-871.
- Yi, Z., Brown, P.R., 1991. Chromatographic methods for the analysis of basic neurotransmitters and their acidic metabolites. *Biomedical Chromatography* 5, 101-107.
- Yılmaz, H.A., Corraze, G., Panserat, S., Eroldoğan, O.T., 2016. Effects of alternate feeding with different lipid sources on fatty acid composition and bioconversion in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 464, 28-36.
- Yılmaz, H.A., Eroldoğan, O.T., 2015. Effects of fish oil substitution with two different vegetable oil classes on fatty acid digestibility in juvenile European Sea Bass, *Dicentrarchus labrax*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 15, 1-12.
- Young, G., Conquer, J., 2005. Omega-3 fatty acids and neuropsychiatric disorders. *Reproduction Nutrition Development* 45, 1-28.
- Zatta, P., 1987. Dopamine, noradrenaline and serotonin during hypo-osmotic stress of *Carcinus maenas*. *Marine Biology* 96, 479-481.
- Zilberman-Peled, B., Ron, B., Gross, A., Finberg, J.P.M., Gothilf, Y., 2006. A possible new role for fish retinal serotonin-N-acetyltransferase-1 (AANAT1): Dopamine metabolism. *Brain Research* 1073-1074, 220-228.
- Zimmer, L., Delpal, S., Guilloteau, D., Aioun, J., Durand, G., Chalon, S., 2000. Chronic n-3 polyunsaturated fatty acid deficiency alters dopamine vesicle density in the rat frontal cortex. *Neuroscience Letters* 284, 25-28.