ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΑΕΙΦΟΡΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ ΣΒΑΡΝΙΑΣ

ΘΕΜΑ: «Οι επιδράσεις της μελατονίνης στην ανάπτυξη των νυμφικών σταδίων εκτρεφόμενης τσιπούρας (*Sparus aurata*)»

ΒΟΛΟΣ 2023

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF AGRICULTURAL SCIENCES

DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC ENVIRONMENT

CHRISTOFOROS SVARNIAS

«The effects of melatonin on the developmental stages of larval Gilthhead Seabream (*Sparus aurata)*»

Master Thesis

VOLOS 2023

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

1) Σεραφείμ Παπαδόπουλος, Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπων,***

2) Δημήτριος Βαφείδης, Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος,***

3) Αθανάσιος Εξαδάκτυλος, Καθηγητής Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**, *Μέλος.***

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που με βοήθησαν κατά τη διάρκεια της ενασχόλησής μου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Σεραφείμ Παπαδόπουλο για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής καθώς και για την πολύτιμη και συστηματική καθοδήγηση κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας μελέτης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, οι οποίοι πάντα πιστεύουν σε μένα και με υποστηρίζουν με κάθε τρόπο σε ότι κάνω.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Περίληψη

Αντικείμενο της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η περιγραφεί βασικών βιολογικών ζητημάτων που σχετίζονται με την πρώιμη ανάπτυξη της τσιπούρας, την παραγωγή γόνου τσιπούρας καθώς και η σημασία της κατανόησης της ανάπτυξης των προνυμφών τσιπούρας σε σχέση με το φυσικό τους περιβάλλον. Επιπλέον, διερευνήθηκαν οι επιδράσεις της μελατονίνης στην αναπτυξιακή διαδικασία των νυμφικών σταδίων της τσιπούρας, όπως η ανάπτυξη σε μήκος, η απόκτηση βάρους, και η σκελετογέννηση.

.

Abstract

The subject of this postgraduate thesis is the description of basic biological issues related to the early development of sea bream, the production of sea bream fry as well as the importance of understanding the development of sea bream larvae in relation to their natural habitat. In addition, the effects of melatonin on the developmental process of the larval stages of sea bream, such as growth in length, weight gain, and skeletal development, were investigated.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας Περιεχόμενων

Πρόλογος

Εισαγωγή

1 Ανάπτυξη εμβρύων και προνυμφών ψαριών 8

1.1 Ποιότητα Αυγών και Προνυμφών 8

1.2 Θρέψη, Ανάπτυξη και Επιβίωση Προνυμφών 9

1.3 Μη Φυσιολογική Ανάπτυξη 10

1.4 Περιβάλλον Εκτροφής και Ποιότητα νερού 11

1.5 Μακροπρόθεσμα Αποτελέσματα 11

1.6 Ανθρωπογενείς Παράγοντες 12

1.7 Βιολογικές Διεργασίες 13

1.8 Πρώιμη Ανάπτυξη, Μητρικές Επιδράσεις & Ενδοκρινολογία 14

1.9Αναπαραγωγή 15

2 Διατροφικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες 16

2.1 Διατροφή 16

2.2 Μικροβιολογικοί Παράγοντες 17

2.3 Φυσικοί Παράγοντες 17

2.4 Περιβαλλοντικοί Κύκλοι και Βιολογικά Ρολόγια στα Ψάρια 20

2.5 Φωτομετατροπές και Ρυθμοί Μελατονίνης στα Ψάρια 22

3 Ο ρυθμός αυλάκωσης και η Εμβρυονική Φάση της Τσιπούρας Gilthead (Sparus aurata) 26

3.1 Εμβρυϊκή Ανάπτυξη Τσιπούρας 26

4 Ο Ρόλος της Μελατονίνης στην Αναπαραγωγή 30

4.1 Αντιοξειδωτικές Επιδράσεις της Μελατονίνης 31

4.2 Δραστικές Ρίζες Οξυγόνου και Αναπαραγωγή 31

4.3 Μελατονίνη και Αναπαραγωγική Λειτουργία 33

4.4 Η Μελατονίνη προγραμματίζει την αναπαραγωγή 34

4.5 Ωρίμανση ωαρίων και μελατονίνη 35

4.6 Μελατονίνη και Πρώιμη Εμβρυϊκή Ανάπτυξη 36

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

5 Η επίδραση της χορήγησης μελατονίνης δια του στόματος στην παραγωγή προνυμφών & σκελετικών παραμορφώσεων σε συνθήκες εκτροφής τσιπούρας (Sparus aurata) 38
5.1 Εκτροφή προνυμφών 40
5.2 Πειραματικός σχεδιασμός 41
5.3 Επίδραση της από του Στόματος Συμπληρωματικής Μελατονίνης στον Ρυθμό Ανάπτυξης 41
5.4Σκελετικές Παραμορφώσεις 44
Συμπεράσματα 46
Βιβλιογραφία 48

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

1 Ανάπτυξη εμβρύων και προνυμφών ψαριών

1.1 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΥΓΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΝΥΜΦΩΝ

Τα περισσότερα είδη ψαριών περνούν από μια ευάλωτη προνυμφική περίοδο μετά το προστατευμένο εμβρυϊκό στάδιο μέσα στο κέλυφος του αυγού και πριν μεταμορφωθούν σε πιο εύρρωστα νεαρά ψάρια. Πολλά από τα προβλήματα που σχετίζονται με την παραγωγή νεαρών ψαριών στην υδατοκαλλιέργεια και την κατανόηση της φυσικής διακύμανσης στους πληθυσμούς των ψαριών συνδέονται με το στάδιο της προνύμφης. Σε αντίθεση με τα κτηνοτροφικά ζώα, τα οποία περνούν όλες τις ευάλωτες περιόδους είτε μέσα στη μητέρα (χοίροι, πρόβατα κ.λπ.) είτε σε μεγάλα αυγά (κοτόπουλα), τα περισσότερα είδη ψαριών παράγουν τεράστιο αριθμό μικρών αυγών που εκκολάπτονται νωρίς στην ανάπτυξη και εξαρτώνται σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες για κανονική ανάπτυξη και επιβίωση.

Διάφοροι παράγοντες δείχνουν ότι είναι αναγκαιότερο από ποτέ να διερευνηθεί η βιολογία των προνυμφών ψαριών. Πρώτον, αυτό το πεδίο έχει γίνει πιο προσιτό για πειραματική εξερεύνηση χάρη στην πρόοδο των τελευταίων ετών στην καλλιέργεια θαλάσσιων ειδών ψαριών. Είναι πλέον δυνατό να διερευνηθούν οι φυσικές αποκρίσεις των προνυμφών υπό ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες. Δεύτερον, οι πρόσφατες πρόοδοι στην αναπτυξιακή βιολογία των ψαριών που χρησιμοποιούν είδη ως μοντέλα όπως το ψάρι ζέβρα (*Danio rerio*), αποτελούν ένα σημαντικό γεγονός, που ισοδυναμεί με τεράστιο άλμα στη λειτουργική και μηχανιστική κατανόηση πολλών βιολογικών διεργασιών, ιδιαίτερα της εμβρυϊκής ανάπτυξης.

Ωστόσο, η ανάπτυξη των προνυμφών και των ενηλίκων ψαριών δεν έχει αντιμετωπιστεί επαρκώς. Αν και έχει δημιουργηθεί μια εξαιρετικά χρήσιμη εργαλειοθήκη, δεν έχει χρησιμοποιηθεί σχεδόν καθόλου για την αντιμετώπιση των επειγόντων ζητημάτων της βιολογίας των προνυμφών που περιγράφονται παρακάτω. Τρίτον, τα οικοσυστήματά μας απειλούνται από την κλιματική αλλαγή και τη ρύπανση και απαιτείται βαθιά κατανόηση της βιολογίας των προνυμφών των ψαριών για την αντιμετώπιση αυτών των επιπτώσεων.

Σε πολλά εκκολαπτήρια, η διαθεσιμότητα και η ποιότητα των αυγών είναι βασικοί παράγοντες για τη σταθερή παραγωγή νεαρών ιχθυδίων. Τα εκκολαπτήρια γάδου εκφράζουν τις ανάγκες για παραμέτρους αξιολόγησης της «υψηλής ποιότητας αυγών» ή της «καλής ποιότητας προνυμφών» κατά την έναρξη της σίτισης. Σήμερα, η ποιότητα των αυγών ποικίλλει καθ' όλη τη διάρκεια του

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

έτους, με παραλλακτικότητα στην επιτυχία εκκόλαψης και το συγχρονισμό. Για να αποκτηθεί σταθερά υψηλή ποιότητα αυγών, είναι σημαντικό να δίνεται μεγαλύτερη προσοχή σε πιθανούς παράγοντες που σχετίζονται με τους γονείς που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα των προνυμφών και των νεαρών ιχθυδίων. Η ανάπτυξη των γεννητικών οργάνων και η διατροφή των γεννητόρων θεωρούνται βασικοί παράγοντες και ο ρόλος τους στην ποιότητα των προνυμφών είναι σε μεγάλο βαθμό άγνωστος και πρέπει να ερευνηθούν . Τυπικές παράμετροι για την αξιολόγηση της επιτυχίας στην εκτροφή προνυμφών ψαριών είναι οι παράγοντες όπως η επιβίωση, η ανάπτυξη, ο ρυθμός εκκόλαψης και η συμπεριφορά που σχετίζονται με την αναζήτηση τροφής, η οποία συχνά αξιολογείται υποκειμενικά με βάση την εμπειρία του προσωπικού που χειρίζεται τις μονάδες έναρξης σίτισης [2], [3].

1.2 ΘΡΕΨΗ, ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΠΙΒΙΩΣΗ ΠΡΟΝΥΜΦΩΝ

Ένα από τα σημαντικότερα σημεία εμπόδια στην παραγωγή προνυμφών και νεαρών θαλάσσιων ψαριών είναι η ποιότητα της ζωντανής τροφής. Είναι προφανές ότι οι προνύμφες των ψαριών έχουν συγκεκριμένες διατροφικές απαιτήσεις που μπορούν να συνδεθούν με τα βιοχημικά χαρακτηριστικά της φυσικής τους λείας, δηλαδή των κωπηπόδων. Ωστόσο, η πρόσβαση σε μεγάλης κλίμακας παραγωγή κωπηπόδων είναι περιορισμένη και οι διατροφικές απαιτήσεις των προνυμφών των ψαριών έχουν προκαλέσει μια ευρεία διεθνή ερευνητική προσπάθεια για την απόκτηση ενός διατροφικά επαρκούς προτύπου, με τη χρήση των Rotifers (Brachionus sp.) και των Artemia. Τα κωπήποδα που συλλέγονται από λίμνες ή τα εκτροφής εντατικά καλλιεργούμενα κωπήποδα είναι εξαιρετική λεία για τις προνύμφες των θαλάσσιων ψαριών, αλλά τα κωπήποδα που συλλέγονται μπορεί να είναι ένας πιθανός φορέας για παράσιτα και παθογόνα μικρόβια.

Οι προνύμφες ψαριών που διατρέφονται με κωπήποδα έχουν σημαντικά υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης, χαμηλότερο ποσοστό θνησιμότητας και χαμηλότερο επιπολασμό οστικών παραμορφώσεων από τις προνύμφες ψαριών που αναπτύσσονται με Rotifers και Artemia. Πιο συγκεκριμένα, είναι σημαντικό να αποκαλυφθούν οι πραγματικοί μηχανισμοί που αποφέρουν τα παρατηρούμενα οφέλη των κωπηπόδων και να μεταφερθούν σε ζωντανές ζωοτροφές εντατικής παραγωγής. Συνοπτικά, το πιο σημαντικό ερώτημα που σχετίζεται με τη διατροφή, την ανάπτυξη και την επιβίωση είναι: ποια θρεπτικά και μικροβιακά χαρακτηριστικά των καλλιεργειών θηραμάτων και προνυμφών δημιουργούν μορφολογικά και ανοσολογικά εύρρωστες, υγιείς,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

ταχέως αναπτυσσόμενες και βιώσιμες προνύμφες και νεαρά ιχθύδια; Περαιτέρω βελτιώσεις σε αυτόν τον τομέα μπορούν να επιτευχθούν μόνο με νέες προόδους που βασίζονται στη γνώση στην παραγωγή ζωντανών ζωοτροφών και στα πρωτόκολλα και συστήματα εκτροφής προνυμφών [3], [4].

1.3 ΜΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Εκτός από τα προβλήματα με χαμηλό ρυθμό ανάπτυξης και υψηλή θνησιμότητα, ορισμένα εκκολαπτήρια αντιμετωπίζουν αρκετές περιπτώσεις παραμορφώσεων των νεανικών οστών. Οι παραμορφώσεις είναι ανεπιθύμητες όσον αφορά την καλή διαβίωση των ψαριών και αντιπροσωπεύουν σημαντική οικονομική ζημία για τους καλλιεργητές, επειδή τα παραμορφωμένα ψάρια ταξινομούνται και απορρίπτονται πριν από τον εμβολιασμό. Η μεταβλητή ποιότητα των προνυμφών και των νεαρών ιχθυδίων προκαλεί χαμηλή προβλεψιμότητα και κερδοφορία και μπορεί να αυξήσει το κόστος παραγωγής σε απαράδεκτα επίπεδα. Έτσι, υπάρχει μεγάλη δυνατότητα για βελτιώσεις στην αποδοτικότητα του κόστους, αυξάνοντας τα ποσοστά ανάπτυξης και επιβίωσης και μειώνοντας τον επιπολασμό των παραμορφώσεων. Ένα παράδειγμα τέτοιας βελτίωσης μπορεί να είναι το πρόβλημα με την ατελή μετατόπιση των ματιών στην ιππόγλωσσα του Ατλαντικού, η οποία επιλύθηκε απλά ξεκινώντας την εφαρμογή φωτοπεριόδων κατά την εκτροφή των προνυμφών. Έως και 40-60% του γόνου ιππόγλωσσας απορρίπτονταν λόγω της ατελούς μετατόπισης των ματιών, αλλά τώρα αυτό έχει βελτιωθεί σημαντικά. Παραμορφώσεις οστών σε νεαρά θαλάσσια ψάρια όπως ο μπακαλιάρος μπορεί να εμφανιστούν σε διάφορες ποικιλίες, που εκτείνονται από το κεφάλι μέχρι τις περιοχές της ουράς. Υπάρχει μια εντυπωσιακή διαφορά στην εμφάνιση παραμορφώσεων μεταξύ των νεαρών που εκτρέφονται εντατικά και των νεαρών που εκτρέφονται σε ημιεντατικά ή εκτεταμένα συστήματα. Ωστόσο, δεν είναι γνωστό σε ποιο βαθμό οι αιτιολογικοί παράγοντες αυτών των διαφορών στα περιστατικά παραμόρφωσης εντοπίζονται στο περιβάλλον ή στη διατροφή των προνυμφών [5].

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

1.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΚΤΡΟΦΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ

Υπάρχει ανάγκη για πιο λεπτομερή γνώση σχετικά με την ποιότητα του νερού και το περιβάλλον εκτροφής (π.χ. συνθήκες φωτός, θερμοκρασία, αναταράξεις, θόρυβος κ.λπ.) που επηρεάζουν την απόδοση των προνυμφών, των νεαρών ιχθυδίων καθώς και την ανάπτυξή τους. Η κατάσταση της εντατικής εκτροφής είναι πολύ διαφορετική από το φυσικό περιβάλλον και η γνώση για το πώς το φυσικό περιβάλλον επηρεάζει το στρες των προνυμφών και των νεαρών κάνει αναγκαία τη χρήση της φυσιολογίας για τη συνεχή βελτίωση των συστημάτων εκτροφής και συνεπώς της ποιότητας των ανηλίκων.

Αυτό περιλαμβάνει επίσης ζητήματα σχετικά με την εξοικείωση και την προσαρμογή στις συνθήκες εκτροφής. Σχετικά με την ποιότητα του νερού, απαιτείται περισσότερη γνώση σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρά το μικροβιακό περιβάλλον στην ανάπτυξη του ανοσοποιητικού συστήματος και των λειτουργιών του εντέρου στις προνύμφες των ψαριών. Τα μικρόβια συνεχώς παρουσιάζονται στο πεπτικό σύστημα των προνυμφών θαλάσσιων ψαριών με κατάποση τροφής και με πόση για αντιστάθμιση του χαμένου νερού λόγω οσμωτικής καταπόνησης. Η χρήση τεχνικών αποστείρωσης (π.χ. UV επεξεργασία) είναι σύνηθες σε εμπορικά εκκολαπτήρια με παροχή νερού ανοικτής ροής, αλλά τα οφέλη από αυτό σε σύγκριση με άλλες μεθόδους ελέγχου της ποιότητας του νερού (π.χ. ανακυκλοφορία) πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω. Τέλος, δεν πρέπει να παραβλέπεται η απόκτηση γνώσεων σχετικά με την ανοχή των προνυμφών και των νεαρών σε σχέση με τους μεταβολίτες και το φυσικό περιβάλλον σε ένα πλαίσιο ευημερίας [6].

1.5 ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις αναπτυξιακές διαταραχές που επεκτείνονται σε μεταγενέστερα στάδια της ζωής. Η βελτιστοποίηση κατά τα στάδια της προνύμφης και του νεαρού ιχθυδίου θα αντικατοπτρίζεται στην απόδοση των ψαριών κατά τη διάρκεια της εντατικής καλλιέργειας, που είναι η πιο δαπανηρή φάση της ιχθυοκαλλιέργειας. Οι τομείς ιδιαίτερης προσοχής εδώ περιλαμβάνουν, για παράδειγμα, ζητήματα που σχετίζονται με τον έλεγχο της ωρίμανσης και της αναπαραγωγής, την αποθήκευση ενέργειας και το μεταβολισμό, καθώς και πτυχές της συμπεριφοράς. Αυτά τα ζητήματα ενδέχεται να οδηγήσουν σε μεγάλες απώλειες για τον ιχθυοκαλλιεργητή [6].

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

1.6 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Τα απόβλητα από τον άνθρωπο μπορούν να βρεθούν σε κάθε θάλασσα στη γη. Η μεγαλύτερη ανησυχία σχετίζεται με βιολογικά ενεργές χημικές ουσίες με πολύ χαμηλούς ρυθμούς αποδόμησης, συχνά επειδή είναι «τεχνητές» και επομένως δεν αποικοδομούνται από τα περισσότερα φυσικά συστήματα ενζύμων. Τέτοιες ενώσεις μπορούν να συσσωρευτούν στον τροφικό ιστό σε επίπεδα που καθιστούν τα θαλάσσια ζώα ακατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση, καθώς αυτές οι χημικές ουσίες αλληλεπιδρούν βιοχημικά σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Τα μακρόβια ζώα, συνήθως κορυφαία αρπακτικά, είναι αυτά που συσσωρεύουν αυτούς τούς ρύπους. Δεδομένου ότι αυτές οι χημικές ουσίες είναι συχνά λιπόφιλες, μεταφέρονται κατά μήκος της θαλάσσιας τροφικής αλυσίδας, από φύκια πλούσια σε λάδι, σε ζωοπλαγκτόν και στη συνέχεια στα ψάρια. Οι προνύμφες των ψαριών δεν βρίσκονται στην κορυφή της τροφικής αλυσίδας, αλλά μπορούν να εμπλουτιστούν με αυτούς τους ρύπους από τη μητέρα μέσω της πλούσιας σε λάδι λεκίθου. Επιπλέον, οι προνύμφες των ψαριών υποβάλλονται σε τεράστια ανάπτυξη από το στάδιο της εκκόλαψης έως το στάδιο των νεαρών ιχθυδίων, και καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ζωοπλαγκτού πλούσιου σε λάδι. Οι βιοδραστικές χημικές ουσίες με μικρότερους χρόνους αποδόμησης μπορεί να επηρεάσουν τις παράκτιες περιοχές με τις αρνητικές επιπτώσεις τους. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ορισμένα είδη ψαριών που έχουν τις περιοχές αναπαραγωγής τους σε υδάτινα οικοσυστήματα κοντά στην ακτή. Επιπλέον, ορισμένες χημικές ουσίες παρουσιάζουν λειτουργίες που προσομοιάζουν με την δράση των ορμονών και μπορεί να αλληλεπιδράσουν με ρυθμιστικές λειτουργίες των προνυμφών ακόμη και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Μικρές διαταραχές σε οποιοδήποτε στάδιο ανάπτυξης των προνυμφών ενδέχεται να προκαλέσουν αξιοσημείωτα ελαττώματα αργότερα, π.χ. στο αναπαραγωγικό σύστημα, όπως παρατηρείται σε ψάρια γλυκού νερού σε μολυσμένους ποταμούς.

Οι ανθρωπογενείς παράγοντες στο θαλάσσιο περιβάλλον περιλαμβάνουν μια σειρά από χημικές ουσίες και ενώσεις από διάφορες πηγές, όπως αναφέρονται παρακάτω:

- Χημικά από λύματα (π.χ. ορμόνες, φάρμακα, καλλυντικά, απορρυπαντικά),
- Εκκενώσεις πετρελαιοειδών και χημικών ουσιών και επιδράσεις παραγόντων διασποράς,
- Αντιρρυπαντικά,
- Βαρέα μέταλλα,
- Έμμονοι οργανικοί ρύποι (π.χ. PCB, χλωριωμένα φυτοφάρμακα, διοξίνες, βρώμιο, επιβραδυντικά φλόγας),

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

- Φυτοφάρμακα και μυκητοκτόνα.

Άλλες ανθρωπογενείς επιπτώσεις σε προνύμφες και νεαρά ψάρια μπορεί να σχετίζονται με συγκεκριμένες δραστηριότητες ή ζητήματα που σχετίζονται με το κλίμα. Παραδείγματα τέτοιων μπορεί να είναι η υπεράκτια εξερεύνηση πετρελαίου με χρήση σεισμικών ερευνών και η οξίνιση των ωκεανών από αυξημένα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) της ατμόσφαιρας. Ο αντίκτυπος του CO_2 είναι παγκόσμιος και απαιτείται επειγόντως έρευνα για τις έμμεσες ή άμεσες επιπτώσεις της οξίνισης στην ανάπτυξη των προνυμφών των ψαριών [7], [8].

1.7 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Το πλαίσιο των επιγενετικών αλλαγών και του ιστορικού της ζωής νοείται ως η «ρύθμιση» της φυσιολογικής λειτουργίας από συνθήκες κατά τη διάρκεια μιας ευαίσθητης αναπτυξιακής περιόδου για να παράγει μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στη λειτουργία και συνεπώς στη δια βίου απόδοση. Ένας πλούτος δεδομένων για διάφορα είδη, από απλούς οργανισμούς έως τον άνθρωπο, υποστηρίζει την ιδέα ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες στην πρώιμη ζωή «προγραμματίζουν» μόνιμες αλλαγές στη δομή και τη λειτουργία στους απογόνους [9].

Πολλές από αυτές τις αλλαγές σχετίζονται με μόνιμες αλλαγές στη γονιδιακή έκφραση που ρυθμίζονται από επιγενετικούς παράγοντες όπως η μεθυλίωση του DNA και η μεθυλίωση/ακετυλίωση ιστόνης [9],[10].

Τα ψάρια μπορούν να είναι ένα καλό μοντέλο για τη μελέτη τέτοιων επιδράσεων, καθώς έχουν υψηλή γονιμότητα, εμφανίζουν μεγάλη αναπτυξιακή πλαστικότητα και υφίστανται μεγάλο μέρος της ανάπτυξής τους εκτός του μητρικού σώματος. Επιπλέον, εάν το θέσουμε αυτό στο πλαίσιο ότι τα εκτρεφόμενα ψάρια εξαιτίας της ταχείας ανάπτυξης επηρεάζονται σε διαφορετικά στάδια, είναι επιτακτική ανάγκη να αποκτήσουμε γνώση σχετικά με τον αντίκτυπο που μπορεί να έχει αυτό στη φυσιολογία, τη μεταβολική ικανότητα και την ευαισθησία σε ασθένειες κατά τα επόμενα στάδια της ζωής. Για παράδειγμα, η υψηλή θερμοκρασία κατά την επώαση, η ανεπαρκής έναρξη σίτισης, η πυκνή σε θρεπτικά συστατικά τροφή, η υψηλή ένταση τροφοδοσίας, κ.λπ. συμβάλλουν σε επιγεννετικές αλλαγές. Οι συνθήκες εκτροφής αυτές καθαυτές μπορούν επομένως να προκαλέσουν φυσιολογικές και μεταβολικές αλλαγές, θετικές ή αρνητικές, που μπορεί να εκδηλωθούν στα ψάρια καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους [10].

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

1.8 ΠΡΩΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ, ΜΗΤΡΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΝΔΟΚΡΙΝΟΛΟΓΙΑ

Τα πρώτα βήματα στην εμβρυϊκή ανάπτυξη εξαρτώνται και καθοδηγούνται από μητρικούς παράγοντες που εναποτίθενται στο ωάριο κατά τη διάρκεια της ωογένεσης. Οι μητρικοί παράγοντες αποθηκεύονται με τη μορφή ειδικών mRNA, πρωτεϊνών, ορμονών ή οποιουδήποτε άλλου βιομορίου. Κατά την ωρίμανση και τη γονιμοποίηση του ωαρίου, τέτοιοι παράγοντες καθίστανται διαθέσιμοι για εμβρυογένεση, μερικές φορές μετά από μια διαδικασία ενεργοποίησης που περιλαμβάνει μετάφραση ή τροποποίηση πρωτεΐνης. Πολύ λίγα είναι γνωστά για το πώς αυτοί οι μητρικοί παράγοντες επηρεάζουν την αναπτυξιακή ικανότητα του εμβρύου και των προνυμφών. Υπάρχει ανάγκη εντοπισμού γονιδίων και μητρικών παραγόντων που εμπλέκονται στην πρώιμη εμβρυϊκή ανάπτυξη και αναζήτησης συνδέσεων μεταξύ ρυθμιστικών παραγόντων μητρικής προέλευσης και «ποιότητας ωαρίων». Η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των συνθηκών διατήρησης γόνου, της ρύθμισης της έκφρασης του γονιδίου του ωαρίου και της αναπτυξιακής ικανότητας του εμβρύου και της προνύμφης που προκύπτουν θα είναι πολύ σημαντική.

Μετά τη γονιμοποίηση, η ανάπτυξη και η οντογένεση του εμβρύου και των προνυμφών ακολουθεί μια καλά καθορισμένη και γενετικά προγραμματισμένη αλληλουχία στην οποία η ορμονική ρύθμιση είναι κρίσιμης σημασίας. Κατά τη διάρκεια της εμβρυϊκής φάσης τα ενδοκρινικά όργανα αναπτύσσονται, αλλά δεν είναι λειτουργικά, και οι ορμόνες που παράγονται τοπικά ή είναι μητρικής προέλευσης ικανοποιούν ρυθμιστικές ανάγκες. Χρονικά κοντά κατά τη διάρκεια της εκκόλαψης υπάρχει μια μεταβατική φάση όταν τα ενδοκρινικά όργανα των προνυμφών αρχίζουν να λειτουργούν αλλά τα ορμονικά επίπεδα παραμένουν πολύ χαμηλά. Στην προνύμφη μετά την εκκόλαψη παρατηρείται επιταχυνόμενη δραστηριότητα και λειτουργικότητα των ενδοκρινικών οργάνων η οποία συνοδεύεται από μεγάλες διακυμάνσεις στα επίπεδα των ορμονών.

Οι βασικοί μοριακοί μηχανισμοί που εμπλέκονται στη λειτουργική ωρίμανση των διαφορετικών ενδοκρινικών αξόνων στα ψάρια δεν είναι κατανοητοί και πρέπει να ερευνηθούν. Λίγες πληροφορίες είναι διαθέσιμες σχετικά με την επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων, τόσο εξωγενών όσο και ενδογενών, στην ανάπτυξη και τη λειτουργικότητα των διαφορετικών ενδοκρινικών συστημάτων. Η εξασθενημένη ανάπτυξη κατά τα εμβρυϊκά και προνυμφικά στάδια μπορεί να έχει μακροχρόνιες επιπτώσεις και τελικά να επηρεάσει τη φυσιολογική απόδοση του ενήλικου ψαριού [11-13].

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

1.9 ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ

Στην ενότητα αυτή γίνεται εστίαση στη βλαστική γραμμή και στην πρώιμη ανάπτυξη των γονάδων. Μελέτες με zebrafish και medaka έχουν αποκαλύψει τον τρόπο προδιαμόρφωσης των προδιαγραφών της βλαστικής γραμμής. Η βλαστική σειρά διαχωρίζεται από το σώμα με καθοριστικούς παράγοντες που προέρχονται από τη μητέρα και διαχωρίζονται από τη βλαστική σειρά ως αποτέλεσμα ασύμμετρων κυτταρικών διαιρέσεων. Μελέτες σε ψάρια-μοντέλα οδήγησαν στον εντοπισμό ορισμένων βασικών παραγόντων που συμμετέχουν στην ανάπτυξη της βλαστικής γραμμής και στη διαφοροποίηση των γονάδων. Παρόλα αυτά, οι βασικές γνώσεις σχετικά με την ανάπτυξη της βλαστικής σειράς παραμένουν άγνωστες. Δεν είναι κατανοητό πώς ελέγχεται και διατηρείται η τύχη των γεννητικών κυττάρων και πως τα γεννητικά κύτταρα αποκτούν σεξουαλικές ταυτότητες.

Ένα σημαντικό ζήτημα για τη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας είναι ο έλεγχος της διαφοροποίησης του φύλου και της ωρίμανσης των γεννητικών κυττάρων στα εκτρεφόμενα είδη ψαριών. Οι απώλειες παραγωγής λόγω της πρώιμης ηλικίας αναπαραγωγής στα αρσενικά αποτελούν μεγάλο πρόβλημα για τη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας. Επιπλέον, τα ψάρια εκτροφής που διαφεύγουν αποτελούν κίνδυνο για το περιβάλλον. Σε πολλά είδη ψαριών είναι γνωστό ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες (π.χ. υψηλή θερμοκρασία) γύρω από το στάδιο εκκόλαψης/πρώιμα στάδια προνυμφών οδηγούν σε αντιστροφή φύλου από θηλυκό σε αρσενικό [14-16].

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Διατροφικοί & Περιβαλλοντικοί Παράγοντες

2

2.1 ΔΙΑΤΡΟΦΗ

Τα διαφορετικά στάδια των κωπηπόδων αποτελούν την κύρια διατροφή των προνυμφών θαλάσσιων ψαριών στη φύση.

Τα θρεπτικά προφίλ των Rotifers (Brachionus sp.) και Artemia έχουν αναλυθεί εδώ και αρκετές δεκαετίες. Η Artemia θα πρέπει να εμπλουτίζεται με ω-3 λιπαρά οξέα, βιταμίνη C, βιταμίνη E και θειαμίνη. Περιέχει επίσης χαμηλά επίπεδα πρωτεΐνης, ιωδίου και ψευδαργύρου σε σύγκριση με τα κωπήποδα. Διαφορετικά η αρτέμια φαίνεται να είναι μια καλή τροφή για τις προνύμφες των ψαριών. Η θρεπτική σύνθεση των rotifers εξαρτάται από τη δίαιτα των rotifer, με δυνητικά χαμηλά επίπεδα αρκετών βιταμινών και μετάλλων, ω-3 λιπαρών οξέων, πρωτεΐνης και ορισμένων αμινοξέων [17].

Οι χρωστικές όπως η ασταξανθίνη και η καντξανθίνη περιέχονται σε υψηλή περιεκτικότητα στα κωπήποδα και ναύπλια και μεταναύπλια Artemia, αντίστοιχα, αλλά περιέχονται σε χαμηλή περιεκτικότητα στα rotifers.

Σε σύγκριση με τις ζωντανές ζωοτροφές, οι διαμορφωμένες δίαιτες συνήθως έχουν ως αποτέλεσμα μειωμένη ανάπτυξη και επιβίωση όταν τροφοδοτούνται με προνύμφες θαλάσσιων ψαριών. Οι δύο πιο σημαντικοί λόγοι για αυτό είναι πιθανώς η έκπλυση θρεπτικών ουσιών και ότι τα θρεπτικά συστατικά, ειδικά η πρωτεΐνη και τα λιπίδια, δίνονται σε μια μορφή που δεν είναι εύκολα εύπεπτη για τις προνύμφες χωρίς στομάχι. Ως αποτέλεσμα, οι περισσότερες προνύμφες θαλάσσιων ψαριών πρέπει να τρέφονται με ζωντανή διατροφή κατά την περίοδο μετά την απορρόφηση του κρόκου.

Είναι σημαντικό να γίνονται βασικές μελέτες για την ανάπτυξη προνυμφών ψαριών σε προνύμφες που τρέφονται με τη βέλτιστη δίαιτα, η οποία επί του παρόντος είναι τα κωπήποδα. Μια στρατηγική για τη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας θα μπορούσε να είναι η αντιγραφή των επιπέδων θρεπτικών συστατικών των κωπηπόδων, εμπλουτίζοντας παράλληλα τα rotifers και την Artemia και την προσαρμογή στις πραγματικές απαιτήσεις όταν αυτά είναι διαθέσιμα [18], [19].

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

2.2 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Τα εντατικά καλλιεργημένα ψάρια είναι ευάλωτα σε συνθήκες στρες, ιδιαίτερα κατά τα προνυμφικά και νεαρά στάδια. Μικροβιακές ασθένειες που προκαλούνται από ευκαιριακά παθογόνα (π.χ. Vibrio spp., Francisella sp., IPN, Pasteurellosis) μπορεί να προκαλέσουν υψηλές απώλειες στον πληθυσμό. Για τον σολομό, η απώλεια αυτή κατά τη φάση του γλυκού νερού μπορεί να είναι έως και 25%, ενώ για τα θαλάσσια είδη έως και 99%, κατά το στάδιο της προνύμφης και του νεαρού σταδίου. Είναι πολύ σημαντικό να διασφαλιστεί η βέλτιστη λειτουργία του εντέρου και η πέψη της τροφής. Καθώς η εντερική οδός είναι η κύρια είσοδος για μικροοργανισμούς, το έντερο μπορεί να αποικιστεί από παθογόνα που μπορούν να προκαλέσουν εντερικές ασθένειες και τελικά να περάσουν στο αίμα και να προκαλέσουν σηψαιμία.

Στο στάδιο της προνύμφης και των λαρβών, το ψάρι δεν έχει αναπτύξει ειδική ανοσολογική άμυνα και δεν μπορεί να εμβολιαστεί. Για να αντισταθούν στα παθογόνα, οι προνύμφες και τα νεαρά ψάρια εξαρτώνται από μη ειδικούς μηχανισμούς που αποτελούνται από μια προστατευτική μικροχλωρίδα στο έντερο και ένα καλά λειτουργικό μη ειδικό ανοσοποιητικό σύστημα. Έχει δοθεί μεγάλη προσοχή στην τόνωση αυτών των μηχανισμών, αλλά εξακολουθούν να υπάρχουν πολλές αβεβαιότητες σχετικά με τον αντίκτυπό τους, και σαφώς χρειάζεται περισσότερη έρευνα [20], [21].

2.3 ΦΥΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Το περιβάλλον και η ποιότητα του νερού μπορεί να διαφέρουν για τις προνύμφες ψαριών στην υδατοκαλλιέργεια σε σύγκριση με τις προνύμφες ψαριών στην ανοιχτή θάλασσα. Αν και οι περιβαλλοντικές συνθήκες μπορεί να διαφέρουν πολύ για τις προνύμφες άγριων ψαριών, το περιβάλλον εκτροφής και η ποιότητα του νερού μεταξύ των διαφορετικών εκκολαπτηρίων μπορεί να διαφέρουν ακόμη περισσότερο.

Αυτό συνδέεται με το γεγονός ότι διάφορες στρατηγικές χρήσης του νερού (συμπεριλαμβανομένης της ανακυκλοφορίας) εφαρμόζονται και αναπτύσσονται περαιτέρω από τα εκκολαπτήρια. Συγκεκριμένα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών, αλλά εκτός από τα ανώτερα και κατώτερα θανατηφόρα όρια, η θερμοκρασία είναι βασικός ρυθμιστής του μεταβολισμού και της ανάπτυξης. Έτσι, απαιτείται περισσότερη γνώση για τις επιδράσεις της θερμοκρασίας στη φυσιολογία και τη βιοχημεία των ψαριών των προνυμφών

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

μέσω της οντογένεσης. Ομοίως, οι επιπτώσεις των διακυμάνσεων της αλατότητας και της περιεκτικότητας σε οξυγόνο στις προνύμφες χρειάζονται περαιτέρω διερεύνηση. Η αλατότητα αντιπροσωπεύει ένα οσμωτικό κόστος ενώ το οξυγόνο είναι απαραίτητο για τον μεταβολισμό και την ανάπτυξη των προνυμφών. Τα πιθανά οφέλη από την καλύτερη κατανόηση των επιπτώσεων της θερμοκρασίας, της αλατότητας και του οξυγόνου στην απόδοση των προνυμφών μπορεί να είναι σημαντικά [22].

Το φως είναι ένας ισχυρός βιολογικός ρυθμιστής στα ψάρια, ελέγχει τη διατροφή, την πέψη και την αναπαραγωγή. Το φως πιθανώς να έχει επίσης επίδραση στα βασικά συστήματα σηματοδότησης στον εγκέφαλο των ψαριών, καθώς όλοι οι φωτοευαίσθητοι ιστοί του εγκεφάλου, συμπεριλαμβανομένου του αμφιβληστροειδούς του ματιού, περιέχουν σεροτονίνη, έναν σημαντικό νευροδιαβιβαστή. Το φως περιλαμβάνει διαφορετικά συστατικά όπως: ποσότητα (ένταση φωτός), ποιότητα (φασματική σύνθεση), κατανομή φωτός (σημειακή πηγή ή ομοιόμορφα) και κύκλος (φωτοπερίοδος και εποχή). Ενώ οι συνθήκες φωτισμού του εξωτερικού χώρου είναι αρκετά καθορισμένες ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, την εποχή, το βάθος και την άνθηση των φυκών, οι συνθήκες εκκολαπτηρίου συχνά παρέχουν πολύ διαφορετικές συνθήκες από τα φυσικά συστήματα. Συγκεκριμένα, η ένταση του φωτός είναι χαμηλότερη, η φασματική σύνθεση είναι διαφορετική με π.χ. έλλειψη υπεριώδους ακτινοβολίας και χρησιμοποιείται συνήθως φως 24 ωρών. Το τελευταίο θα αφαιρέσει τυχόν ημερήσια σήματα από τις προνύμφες των ψαριών, με άγνωστες επιπτώσεις στην ανάπτυξη των προνυμφών. Οι δυσμενείς συνθήκες του φωτός που δεν διευκολύνουν την καλή διατροφική συμπεριφορά ή που προκαλούν αντίδραση στρες μπορεί να είναι ένας λόγοι για κακές συνθήκες προνυμφών. Σήμερα δεν υπάρχουν οδηγίες για βέλτιστες συνθήκες φωτισμού για προνύμφες και νεαρά ψάρια. Η γνώση του τρόπου βελτιστοποίησης των συνθηκών και των καθεστώτων φωτός μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις, όπως αποδεικνύεται από τις βελτιώσεις στη μετανάστευση των ματιών με τη χρήση της φωτοπεριόδου στην ιππόγλωσσα του Ατλαντικού.

Η εισαγωγή θολότητας με την προσθήκη σωματιδίων στο νερό έχει αποδειχθεί ευεργετική για την ενίσχυση της σίτισης των προνυμφών, πιθανώς με τη μείωση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ατόμων. Αρκετά εκκολαπτήρια χρησιμοποιούν μια «τεχνική πράσινου νερού» προσθέτοντας φύκια ή πάστα φυκιών, αλλά η θετική επίδραση της παρατηρείται επίσης με την προσθήκη αδρανών σωματιδίων όπως ο πηλός. Η θολότητα μπορεί επίσης να τροποποιήσει τις συνθήκες φωτός καθώς και να βελτιώσει τις συνθήκες αντίθεσης, κάνοντας το θήραμα πιο εμφανές.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Ιδιαίτερα σε μικρά συστήματα εκτροφής, το χρώμα της δεξαμενής μπορεί να επηρεάσει τις συνθήκες αντίθεσης. Απαιτείται έρευνα για τη θέσπιση κατευθυντήριων γραμμών για τις βέλτιστες συνθήκες θολότητας για διάφορα είδη ή στάδια προνυμφών ψαριών. Το θέμα της θολότητας περιπλέκεται περαιτέρω καθώς τα σωματίδια που χρησιμοποιούνται μπορεί να καταποθούν από τους οργανισμούς που διατρέφουν τις προνυμφών και έτσι να επηρεάσουν τη θρεπτική αξία του θηράματος των προνυμφών ή να τροποποιήσουν τις μικροβιακές συνθήκες στη δεξαμενή.

Ο άνεμος και τα παλιρροϊκά κύματα δημιουργούν ταραγμένες συνθήκες στην ανοιχτή θάλασσα, που πιστεύεται ότι έχουν κάποιες επιπτώσεις στα ποσοστά συνάντησης των θηραμάτων. Ωστόσο, στη φύση οι προνύμφες των ψαριών μπορούν σε κάποιο βαθμό να επιλέξουν την έκθεσή τους σε αναταράξεις αποφεύγοντας περιοχές ισχυρών αναταράξεων κοντά στην επιφάνεια. Αυτό είναι λιγότερο δυνατό σε μια δεξαμενή εκτροφής. Ο στροβιλισμός δημιουργεί δυνάμεις διάτμησης που μπορούν να προκαλούν έλξη στο σώμα της προνύμφης σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Ένας άλλος δημιουργός αναταράξεων και πολύ ισχυρής διάτμησης είναι η είσοδος νερού στη δεξαμενή. Οι επιπτώσεις των δυνάμεων διάτμησης στο ευαίσθητο σώμα της προνύμφης και η εξέλιξη των δυνάμεων αυτών είναι προς το παρόν άγνωστη. Ωστόσο, έχει προταθεί ότι υπάρχει μια σχέση μεταξύ των παραμορφώσεων των οστών και της ταχύτητας του ρεύματος του νερού στις δεξαμενές των προνυμφών και των νεαρών ιχθυδίων.

Ο συνολικός κορεσμός αερίου επηρεάζεται από τη θέρμανση του νερού ή από τον αέρα που παγιδεύεται σε σωλήνες υπό πίεση. Μια αύξηση 1°C αντιπροσωπεύει αύξηση 2% στον κορεσμό αερίου. Τέτοιες αυξήσεις στη θερμοκρασία του νερού μπορεί συχνά να συμβαίνουν σε δεξαμενές εκτροφής προνυμφών για διάφορους λόγους. Ο υπερκορεσμός αερίων έχει κατηγορηθεί για υπερβολικό φούσκωμα της κολυμβητικής κύστης, με επακόλουθη έκρηξη της φυσιολογικής σπονδυλικής ανάπτυξης στην περιοχή πάνω από την κολυμβητική κύστη. Ωστόσο, οι επιπτώσεις του υπερκορεσμού αερίων στην ανάπτυξη και τη φυσιολογία των προνυμφών είναι ανεπαίσθητες και απαιτούν περισσότερη γνώση σχετικά με αυτό το θέμα. Με τη χρήση της υπεροξυγόνωσης σε καλλιέργειες υψηλής πυκνότητας, ο συνολικός κορεσμός αερίων είχε αρνητικές επιπτώσεις στα νεαρά ψάρια όταν μεταφέρονται σε κανονικό κορεσμένο νερό. Η κατανόηση της φυσιολογίας της υποξίας και του εγκλιματισμού των επιπέδων οξυγόνου σε προνύμφες και νεαρά ψάρια διαφορετικών ειδών μπορεί να αποτρέψει καταστάσεις που μπορεί

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

να οδηγήσουν σε περιπτώσεις απωλειών ψαριών σε εντατική καλλιέργεια.

Η θάλασσα δεν είναι ένα περιβάλλον χωρίς θόρυβο. Πολλά προνύμφες ψαριών έχουν νευρομάστες ελεύθερα εκτεθειμένους έξω στο νερό, με τη δυνατότητα να ανιχνεύουν διάφορες συχνότητες ήχου. Έχει αμφισβητηθεί εάν οι προνύμφες των ψαριών μπορούν να «ακούσουν» τον ήχο του θηράματός τους, δηλαδή τα σμήνη από κωπήποδα που βόσκουν. Το ηχητικό περιβάλλον των δεξαμενών εκτροφής εκκολαπτηρίων είναι πολύ διαφορετικό από την ανοιχτή θάλασσα. Η ροή του νερού μέσω σωλήνων και βαλβίδων παράγει ισχυρό θόρυβο, όπως και οι αντλίες.

Ο θόρυβος μεταφέρεται αποτελεσματικά στις δεξαμενές ψαριών μέσω του αέρα, των σωλήνων νερού και του εδάφους. Οι επιπτώσεις του θορύβου στην ανάπτυξη και απόδοση των προνυμφών και των νεαρών είναι άγνωστες. Ο θόρυβος πιθανότατα αντιπροσωπεύει αυξημένο στρες και το επίπεδο θορύβου τόσο σε βραχεία όσο και σε χρόνια έκθεση χρειάζεται προσοχή [23-26].

2.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΚΥΚΛΟΙ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΡΟΛΟΓΙΑ ΣΤΑ ΨΑΡΙΑ

Τα ψάρια έχουν αναπτύξει ένα βιολογικό ρολόι για να αντιμετωπίσουν τους περιβαλλοντικούς κύκλους, έτσι ώστε να εμφανίζουν κιρκαδικούς ρυθμούς στις περισσότερες φυσιολογικές λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένης της απόκρισης στο στρες. Οι φωτοπεριοδικές πληροφορίες μεταδίδονται από την επίφυση σε μια ρυθμική έκκριση μελατονίνης, η οποία απελευθερώνεται στην κυκλοφορία του αίματος με υψηλές συγκεντρώσεις τη νύχτα και χαμηλές κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το ρυθμικό προφίλ μελατονίνης βρίσκεται υπό τον έλεγχο κιρκαδικών ρολογιών στα περισσότερα ψάρια (εκτός από σολομοειδή) και θεωρείται ως σημαντική παραγωγή του κιρκαδικού συστήματος, διαμορφώνοντας έτσι τους περισσότερους καθημερινούς συμπεριφορικούς και φυσιολογικούς ρυθμούς. Οι συνθήκες φωτισμού (ένταση και φάσμα) αλλάζουν στο υποθαλάσσιο περιβάλλον και επηρεάζουν την ανάπτυξη των εμβρύων και των προνυμφών ψαριών. Το συνεχές φως/σκοτάδι ή τα κόκκινα φώτα μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένες δυσπλασίες και θνησιμότητα, ενώ το μπλε φως συνήθως οδηγεί σε καλύτερους ρυθμούς εκκόλαψης και απόδοση ανάπτυξης στα θαλάσσια ψάρια. Η έκθεση των ψαριών σε έναν στρεσογόνο περιβάλλον μπορεί να οδηγήσει σε τροποποιημένους ρυθμούς των περισσότερων δεικτών στρες, όπως η κορτιζόλη, η γλυκόζη και το γαλακτικό οξύ μεταξύ άλλων, καθώς και καθημερινοί ρυθμοί των περισσότερων συμπεριφορικών και φυσιολογικών

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

λειτουργιών. Επιπλέον, ο ημερήσιος κύκλος της θερμοκρασίας του νερού (θερμότερος την ημέρα και ψυχρότερος τη νύχτα) είναι ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Η ανταπόκριση σε οποιονδήποτε οξύ στρεσογόνο παράγοντα δεν εξαρτάται μόνο από το είδος, αλλά εξαρτάται επίσης από την ώρα της ημέρας που εμφανίζεται το στρες: τα νυχτερινά είδη παρουσιάζουν υψηλότερες αποκρίσεις όταν στρεσάρονται κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ τα ημερήσια ψάρια ανταποκρίνονται πιο δυνατά τη νύχτα. Η χορήγηση μελατονίνης στα ψάρια έχει ηρεμιστικά αποτελέσματα με μείωση της κινητικής δραστηριότητας και των επιπέδων κορτιζόλης, μειωμένο ηπατικό γλυκογόνο καθώς και μειωμένες ντοπαμινεργικές και σεροτονινεργικές δραστηριότητες στον υποθάλαμο.

Το περιβάλλον σπάνια είναι σταθερό και τις περισσότερες φορές παρουσιάζει διακυμάνσεις. Αν και ορισμένες περιβαλλοντικές αλλαγές είναι απρόβλεπτες (π.χ. μετεωρολογικά φαινόμενα όπως η βροχή ή ο άνεμος), άλλες κυκλικές διακυμάνσεις όπως οι παλίρροιες, η διάρκεια της ημέρας, οι φάσεις της σελήνης και οι εποχές είναι εξαιρετικά προβλέψιμες. Αυτοί οι περιβαλλοντικοί κύκλοι διέπονται από γεωφυσικούς κύκλους που προέρχονται από την περιστροφή της Γης και της Σελήνης γύρω από τον Ήλιο. Τα συστήματα μέτρησης του χρόνου (δηλαδή, τα κιρκάδια ρολόγια) έχουν εξελιχθεί από τις πιο πρωτόγονες μορφές ζωής για να αντιμετωπίζουν τους φυσικούς κύκλους και να προβλέπουν περιοδικά γεγονότα. [156] Στα ψάρια, όπως και σε άλλα σπονδυλωτά, οι περισσότερες συμπεριφορικές και φυσιολογικές διεργασίες εμφανίζουν ρυθμούς, οι οποίοι οδηγούνται από μοριακά ρολόγια που αποτελούνται από μεταγραφικούς/μεταφραστικούς βρόγχους πολλών γονιδίων (per, clock, bmal, cry, ror και reverb) του βιολογικού ρολογιού [78].

Οι κύκλοι φωτός και θερμοκρασίας είναι τα δύο κύρια συγχρονισμένα σήματα (τα λεγόμενα "zeitgebers" ή time-givers) για τον συγχρονισμό των βιολογικών ρολογιών. Το μήκος της ημέρας, η βάση για τη φωτοπερίοδο και την εποχικότητα, κωδικοποιείται από τη διάρκεια (μεγαλύτερη/μικρότερη) του νυχτερινού ρυθμού μελατονίνης [79]. Επιπλέον, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά του φωτός, δεδομένου ότι το υποθαλάσσιο φωτο-περιβάλλον είναι ιδιόμορφο, καθώς το φως απορροφάται διαφορετικά από τη στήλη νερού, έτσι ώστε μόνο το μπλε φως (λ~450 nm) να φτάνει σε βαθιά θαλάσσια ύδατα (έως 200 m σε καθαρά ωκεάνια ύδατα-ευφωσφορική ζώνη), ενώ το κόκκινο φως (λ>600 nm) απορροφάται γρήγορα εντός των πρώτων 20 μέτρων[157].

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Έτσι, η σύνθεση μελατονίνης καταστέλλεται από το φως διαφορετικά ανάλογα με το μήκος κύματος: μικρότερο (μπλε) είναι πιο αποτελεσματικό από τα μακρύτερα (κόκκινα) μήκη κύματος. [158].Τα τεχνητά φώτα διαφέρουν σημαντικά από το φυσικό ηλιακό φως, επειδή οι κλασικοί λαμπτήρες (πυρακτωμένα νήματα) παράγουν ένα κοκκινωπό αναποτελεσματικό φως κάτω από το νερό, ενώ οι φθορίζοντες σωλήνες παράγουν αιχμηρές κορυφές σε συγκεκριμένα μήκη κύματος μακριά από το φυσικό φως της ημέρας. Ωστόσο, η σύγχρονη τεχνολογική δίοδος εκπομπής φωτός (LED) παρέχει καλύτερα οικονομικά αποδοτικά συστήματα φωτισμού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαφορετικούς σκοπούς στην υδρόβια έρευνα. [159]. Χρησιμοποιώντας τέτοια τεχνολογία, το φάσμα φωτός έχει βρεθεί ότι επηρεάζει την οντογένεση σε μοριακό επίπεδο, όπως για παράδειγμα η έκφραση του γονιδίου bmal που επηρεάζεται από τις συνθήκες φωτισμού κατά την πρώιμη ανάπτυξη των προνυμφών. Επιπλέον, οι προνύμφες που εκτρέφονται κάτω από συνεχές σκοτάδι έγιναν άρρυθμες, ενώ κάτω από ελαφρούς/σκοτεινούς κύκλους διαφορετικών μηκών κύματος οι καθημερινοί ρυθμοί δραστηριότητάς τους εμφανίστηκαν νωρίτερα κάτω από μπλε παρά κάτω από λευκό ή κόκκινο φώς [80].

2.5 ΦΩΤΟΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΙ ΜΕΛΑΤΟΝΙΝΗΣ ΣΤΑ ΨΑΡΙΑ

Η μελατονίνη είναι μια βασική ορμόνη που δρα στο κιρκάδιο σύστημα των σπονδυλωτών και παράγεται κυρίως από τον επίφυση. Στα ψάρια, η επίφυση είναι μια σύνθετη δομή που βρίσκεται σε μια εκκένωση της οροφής του δικεφάλου, η οποία παρουσιάζει φωτοαναληπτικά χαρακτηριστικά. [160,161].

Το επιθήλιο της επίφυσης του περιέχει κύτταρα φωτοϋποδοχέα που μοιάζουν με τους κώνους του αμφιβληστροειδούς, τόσο από δομική όσο και από λειτουργική άποψη. [162-164].

Αυτά τα κύτταρα επεξεργάζονται ένα ηλεκτρικό μήνυμα τη νύχτα όταν αποπολούνται, γεγονός που έχει ως στόχο την απελευθέρωση ενός διεγερτικού νευροδιαβιβαστή. Εν τω μεταξύ, το φως προκαλεί υπερπόλωση των φωτοϋποδοχών των κυττάρων και αναστέλλει την απόρριψη των επιφυσιακών νευρωνικών μονάδων[165-167] Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε από τους Falcon et al. (1981) [81], τα κύτταρα των φωτοϋποδοχέων περιέχουν το αμινοξύ (τρυπτοφάνη) και όλες τις ενώσεις ινδόλης (σεροτονίνη, N-ακετυλοστετονίνη, μελατονίνη) και ένζυμα για την παραγωγή μελατονίνης. [168-172]. Η ορμόνη εμφανίζει καθημερινά και εποχιακά μοτίβα έκκρισης με

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

αυξημένα επίπεδα τη νύχτα και τα βασικά επίπεδα κατά τη διάρκεια της ημέρας, ανεξάρτητα από τα είδη ψαριών που μελετήθηκαν.

Η σύνθεση της μελατονίνης εμφανίζεται επίσης στον αμφιβληστροειδή, ο οποίος στα τελεόστεα έχει συνήθως, αλλά όχι αποκλειστικά, συσχετιστεί με κύτταρα φωτοϋποδοχέα. [173-175]. Αν και σε καθημερινή βάση, το ρυθμικό μοτίβο της μελατονίνης του αμφιβληστροειδούς είναι σημαντικά διαφορετικό από αυτό στο όργανο της επίφυσης, με την περιεκτικότητα της μελατονίνης να κορυφώνεται κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε διαφορετικές χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της ημέρας ή να τροποποιεί τη φάση του ρυθμού καθ 'όλη τη διάρκεια των εποχών ανάλογα με τα είδος. [176-179].

Επιπλέον, η μελατονίνη του αμφιβληστροειδούς θεωρείται ότι δρα ως τοπικός νευροδιαμορφωτής μέσα στο μάτι[174,180,181] και θα μπορούσε να μεταβολιστεί in situ, γεγονός που εμποδίζει την απελευθέρωσή της μελατονίνης του αμφιβληστροειδούς στο αίμα. Περισσότερες αμφιβολίες προκύπτουν από τη σύνθεση της ορμόνης σε άλλους ιστούς του σώματος των ψαριών, με το έντερο να αναφέρεται ότι περιέχει σχετικές ποσότητες μελατονίνης. [182-184]. Επιπλέον, η παρουσία μεταγραφών mRNA των ενζύμων σύνθεσης μελατονίνης έχει αναφερθεί στο πεπτικό σύστημα πολλών ειδών τελεόστεων όπως το χρυσόψαρο[185], ο κυπρίνος[186] και η ιριδίζουσα πέστροφα, [184] με ημερήσιους ρυθμούς που προσαρμόζονται στις επικρατέστερες φωτοπεριόδους. Αν και απαιτείται μια πιο επίσημη επίδειξη σύνθεσης μελατονίνης στο έντερο των ψαριών, φαίνεται ότι η συνεισφορά της στους ρυθμούς μελατονίνης πλάσματος θα πρέπει να είναι πολύ φτωχή σε σύγκριση με την πηγή μελατονίνης της επίφυσης, καθώς τα χαμηλά νυχτερινά επίπεδα ή η έλλειψη ρυθμών μελατονίνης στο πλάσμα διαπιστώνονται σε ψάρια που έχουν υποστεί εκτομή της επίφυσης [82,187].

Μελέτες σε πολλά τελεόστεα ψάρια παρέχουν τεκμηριωμένα δεδομένα σχετικά με την κατανομή των θέσεων δέσμευσης της μελατονίνης σε ευρύ φάσμα ιστών του σώματος. [188-191]. Επομένως, αυτή η ορμόνη μπορεί να εμπλέκεται σε πολλαπλές φυσιολογικές διεργασίες, οι περισσότερες από τις οποίες εμφανίζουν καθημερινούς ή/και εποχιακούς ρυθμούς, όπως εκείνους της κινητικής δραστηριότητας, της μελάγχρωσης του δέρματος, της πρόσληψης τροφής, της ωσμορρύθμισης, της ανάπτυξης και της αναπαραγωγής. [158,159,192,193]. Έτσι, η μελατονινεργική δράση αποτελεί μέρος του συστήματος μέτρησης του χρόνου και επιτρέπει στα ψάρια να συγχρονίζονται με το πλησιέστερο περιβάλλον. Ο κύκλος LD (light -dark) είναι η επικρατούσα ένδειξη που άμεσα ή έμμεσα μέσω του συστήματος του κιρκάδιου ρολογιού,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

ελέγχει τη σύνθεση μελατονίνης της επίφυσης και προσαρμόζει το ημερήσιο προφίλ της στο αίμα. [172,192,194,195]. Η νυχτερινή άνοδος της μελατονίνης που παρατηρείται σε όλα τα σπονδυλωτά είναι η συνέπεια δύο ενζυματικών βημάτων που μετατρέπουν τη σεροτονίνη σε μελατονίνη: η αρυλαλκυλαμίνη Ν-ακετυλοτρανσφεράση (AANAT) καταλύει τη σύνθεση σεροτονίνης, ενώ η υδροξυϊνδολ-Ο-μεθυλτρανσφεράση (HIOMT) μετασχηματίζει τη N-ακετυλλατερίνη). [196]. Στα σπονδυλωτά, το ένζυμο AANAT είναι το περιοριστικό βήμα για την επίδραση του φωτός που εξαρτάται από το βιολογικό ρολόι στη σύνθεση μελατονίνης, καθώς αυτή η ενζυματική δραστηριότητα εμφανίζει καθημερινές ταλαντώσεις με το φως να την αναστέλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας [83]. Είναι ενδιαφέρον ότι τα τελεόστεα ψάρια, σε αντίθεση με τα άλλα σπονδυλωτά, διαθέτουν δύο υποοικογένειες AANAT, AANAT1 και AANAT2, οι οποίες είναι πιθανόν να προέκυψαν από ολόκληρη την επικάλυψη γονιδιώματος που συνέβη κοντά στην προέλευση των ψαριών. [197-199]. Ενώ, το AANAT1, το οποίο είναι ομόλογο με το AANAT που βρίσκεται στα τετράποδα, εκφράζεται κατά προτίμηση στον αμφιβληστροειδή και στις διακριτές περιοχές του εγκεφάλου των ψαριών, το AANAT2 εκφράζεται πιο συγκεκριμένα στην επίφυση και δεν έχει ισοδύναμο σε άλλα σπονδυλωτά. [167,200]. Σε αντίθεση με τα θηλαστικά, τα κύτταρα των φωτοϋποδοχών της επίφυσης των ψαριών περιέχουν ολόκληρο τον μηχανισμό ενός ελαφρώς εκπαιδευμένου κιρκάδιου συστήματος: μονάδα φωτοϋποδοχέα, μηχανισμός βιολογικού ρολογιού και σύστημα παραγωγής μελατονίνης. [201,202]. Πράγματι, η σύνθεση μελατονίνης στα περισσότερα είδη τελεόστεων εξακολουθεί να είναι ρυθμική στην επίφυση και αυτός ο ρυθμός προσαρμόζεται σε έναν κύκλο 24 ωρών όταν εκτίθενται σε ένα κυμαινόμενο φως περιβάλλοντος. [203-205]. Αναλυτικότερα, η συσσώρευση AANAT2 mRNA ως αποτέλεσμα της αυξημένης μεταγραφής γονιδίων κατά το δεύτερο μισό της ημέρας επιτρέπει στην πρωτεΐνη AANAT2 να είναι υψηλή σύντομα μετά την έναρξη της νύχτας. Το φως την επόμενη μέρα επαναφέρει το βιολογικό ρολόι, το οποίο κάνει τη σύνθεση ενζύμων AANAT2 και μελατονίνης να πέσει [84]. Η γενεαλογία της οικογένειας Salmonidae, η οποία περιλαμβάνει την ιριδίζουσα πέστροφα (Oncorhynchus mykiss) και τον σολομό Ατλαντικού (salmo salar), παραβιάζει αυτόν τον κανόνα, καθώς στερείται ενός ενδοπυρηνικού μηχανισμού ταλάντωσης[206].

. Εξαιτίας αυτού, η ρυθμική σύνθεση μελατονίνης εμφανίζεται μόνο κάτω από έναν κύκλο LD τόσο in vivo όσο και in vitro. [207-210]. Επιπλέον, η σύνθεση μελατονίνης από επίφυση ψαριών ποικίλλει μεταξύ των εποχών[211,212]. Ιδιότητες όπως η ένταση και η επίδραση του φάσματος

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

του φωτός στο πλάτος της κορυφής της έκρισης της μελατονίνης, ποικίλλει στα ψάρια ως αποτέλεσμα του βάθους του νερού, της ώρας της ημέρας (αυγή και σούρουπο), των καιρικών συνθηκών, της φάσης του φεγγαριού ή του γεωγραφικού πλάτους. [159]. Επιπλέον, η θερμοκρασία του νερού είναι ένας άλλος εξωτερικός παράγοντας που δρα στην επίφυση του οργανισμού για να επηρεάσει το ρυθμό μελατονίνης, μέσω της ρύθμισης της δραστηριότητας του AANAT2. Ένας καλός συσχετισμός της δραστηριότητας του AANAT2 και της νύχτας υπάρχει για κάποιους τελεόστεους όπως η ιριδίζουσα πέστροφα, ο λούτσος (Esox lucius), τσιπούρα (Sparus aurata) και τα zebrafish, με βέλτιστες φυσιολογικές θερμοκρασίες. [172,200,208]. Αυτό υποστηρίζει σθεναρά ότι τόσο το φως όσο και η θερμοκρασία δρουν από κοινού για να παρέχουν ακριβή συντονισμό στους καθημερινούς και ετήσιους κύκλους μελατονίνης στα ψάρια. [159,213].

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Ο ρυθμός αυλάκωσης και η Εμβρυονική Φάση της Τσιπούρας Gilthead (Sparus aurata)

3

Η τσιπούρα έχει ευρεία κατανομή από τη Μεσόγειο έως τον Ατλαντικό Ωκεανό και αυτό το τελεόστεο ψάρι έχει γίνει πρόσφατα σημαντικό αντικείμενο ερευνών υδατοκαλλιέργειας λόγω της οικονομικής του αξίας. Επί του παρόντος, η εμπορική παραγωγή τσιπούρας είναι σημαντική για τις υδατοκαλλιέργειες των χωρών της Μεσογείου. Έχουν διεξαχθεί διάφορες μελέτες για τις ιδιότητες και την ανάπτυξη των αυγών τσιπούρας. Είναι γνωστό ότι το ποσοστό επιβίωσης των εμβρύων εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος του αυγού, ενώ τα αυγά ωοτοκίας μετά από εφαρμογή ορμονικής θεραπείας είναι σχετικά μικρότερα σε μέγεθος (Boulineau, 1974; Nash va Kuo, 1975). Η σίτιση των γεννητόρων υπό ευνοϊκές συνθήκες επίσης, έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ποιότητα του αυγού (Bromage ve Roberts, 1995). Τέλος, έχει αναφερθεί ότι μια αύξηση κατά 2-3‰ στην αλατότητα του νερού κατά την επώαση των γονιμοποιημένων αυγών είναι επικίνδυνη (Freddi, 1985) [27], [28].

Ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει το ρυθμό και την ποιότητα της εμβρυϊκής ανάπτυξης είναι η θερμοκρασία. Η υπέρβαση των βέλτιστων ορίων της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της επώασης οδηγεί σε ε ανωμαλία της κυτταρικής συμμετρίας και στο σπάσιμο του σφαιριδίου του ελαίου, το οποίο προκαλεί επίσης μαζική θνησιμότητα και κατά συνέπεια πτώση του ρυθμού παραγωγής προνυμφών κατά τη γαστρίωση (Jennings and Pawson, 1991). Σε αυτή τη μελέτη, αναφέρονται στοιχεία για τη διάσπαση και την εμβρυϊκή φάση των 18.5°C, η οποία είναι αποδεκτή ως το βέλτιστο όριο θερμοκρασίας για επώαση [29].

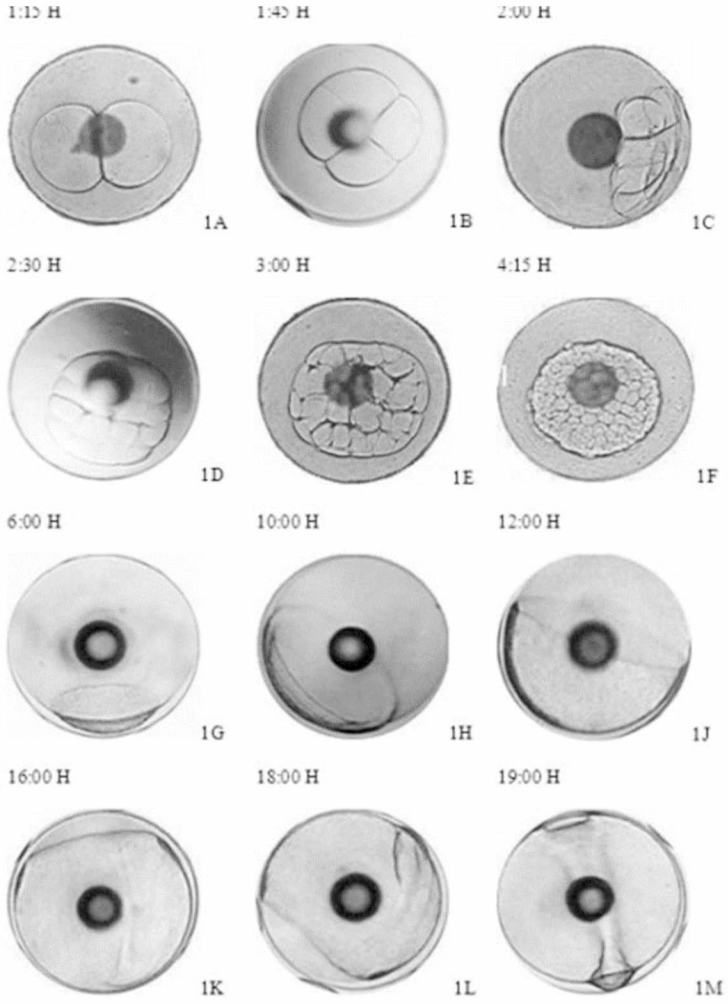
3.1 ΕΜΒΡΥΪΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΣΙΠΟΥΡΑΣ

Κατά τη διάρκεια της επώασης των εμβρύων τσιπούρας παρατηρείται ένα στάδιο δύο κυττάρων στους 18.5°C, 1:15 ώρα μετά τη γονιμοποίηση (Εικόνα 3-1A). Παρατηρείται το στάδιο των τεσσάρων κυττάρων μετά το πέρας 1:45 ώρες (Εικόνα 3-1B). Ένα στάδιο 8 κυττάρων εμφανίζεται μετά τις 2:00 ώρες (Εικόνα 3-1C). Στις 2:30 και στις 3:00 ώρες μετά τη

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

γονιμοποίηση, στάδιο 16 κυττάρων και 32 κυττάρων καταγράφηκε αντίστοιχα (Εικόνα 3-1D, 1E).

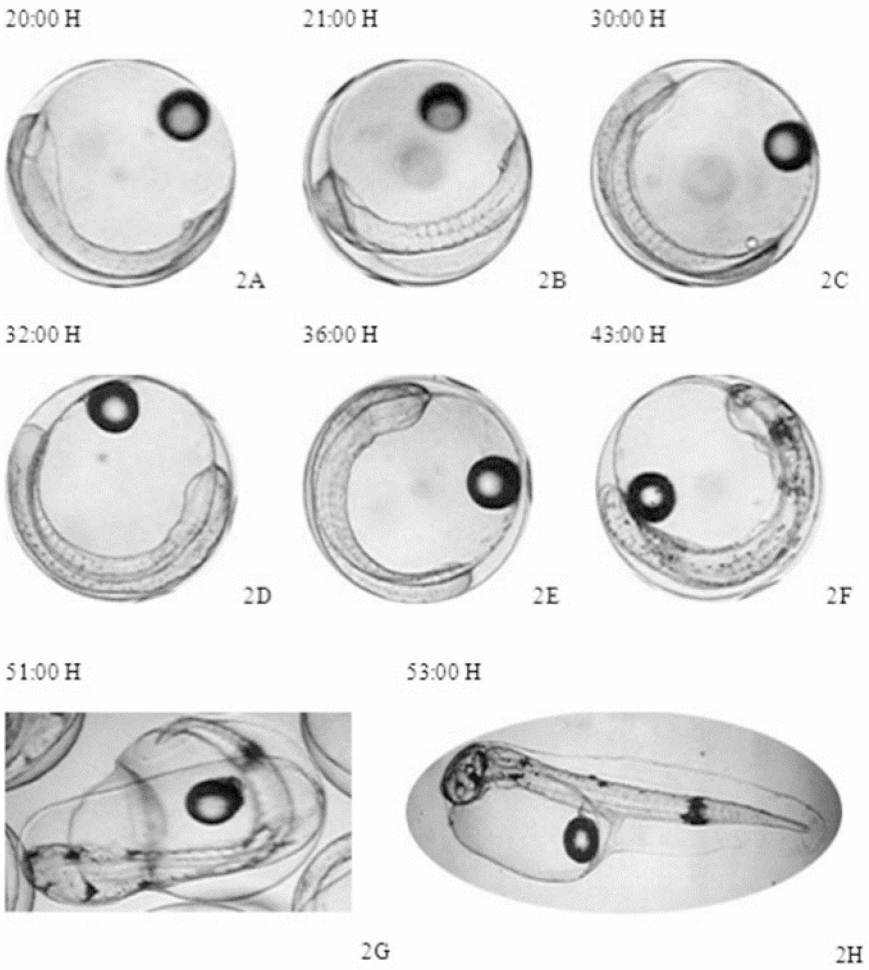
Το στάδιο του μοριδίου παρατηρήθηκε στις 4:15 ώρες μετά τη γονιμοποίηση (Εικόνα 3-1 F). Στη συνέχεια, το στάδιο ώριμης βλάστουλας ξεκίνησε στις 6:00 ώρες (Εικόνα 3-1G). Η έναρξη του σταδίου της γαστρίωσης καθορίστηκε στις 10:00 ώρες μετά τη γονιμοποίηση (Εικόνα 3-1H). Επίσης, η γαστριδίωση προσδιορίστηκε μετά το πέρας των 12:00 ωρών (Εικόνα 3-1J). Μετά τις 16:00 ώρες από τη γονιμοποίηση, το στάδιο των νευρώνων παρατηρήθηκε καθαρά (Εικόνα 3-1K). Στη συνέχεια, το έμβρυο άρχισε να γίνεται πιο πυκνό και, μετά τις 18:00 ώρες το προφίλ του εμβρύου ήταν μόλις ορατό (Εικόνα 3-1L). Το κλείσιμο του βλαστοπόρου διαπιστώθηκε 19:00 ώρες μετά τη γονιμοποίηση (Εικόνα 3-1M).



Εικόνα 3-1: *Η εμβρυϊκή ανάπτυξη της τσιπούρας μεταξύ 00:00 και 19:00 ωρών μετά τη γονιμοποίηση [30].*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

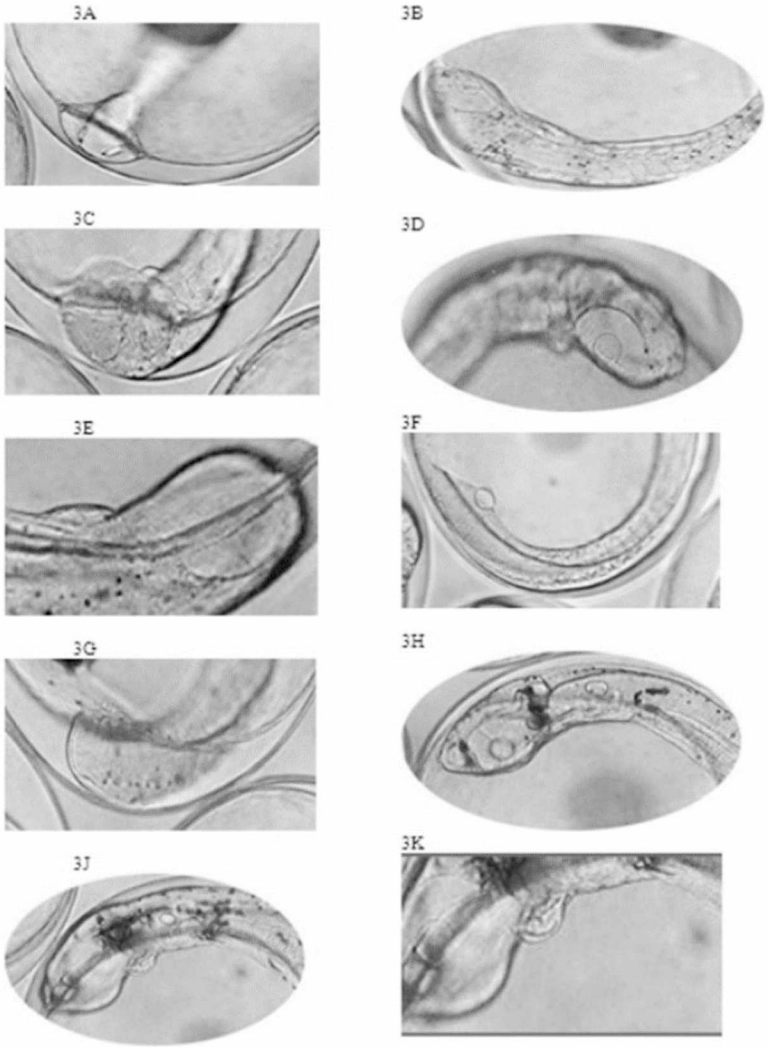
Αναλυτικότερα, στις 20:00 ώρες μετά τη γονιμοποίηση, 5-6 ζευγάρια σομιτών παρατηρούνται και επίσης κύτταρα kupffer (Εικόνα 3-2A). Η εμφάνιση της πρώτης μελάγχρωσης προσδιορίζεται στις 21:00 ώρες μετά τη γονιμοποίηση (Εικόνα 3-2B). Η πρώτη εμφάνιση της καρδιάς παρατηρείται στις 30:00 ώρες (Εικόνα 3-2C). Μετά από 32:00 ώρες, αρχίζει να σχηματίζεται το αρχέγονο πτερύγιο (Εικόνα 3-2D). Στη συνέχεια, ο σχηματισμός του οπτικού φακού προσδιορίζεται στις 36:00 ώρες (Εικόνα 3-2E). Η αύξηση της μελάγχρωση παρατηρείται καθαρά στις 43:00 ώρες μετά τη γονιμοποίηση (Εικόνα 3-2F). Έπειτα από 51:00 ώρες από τη γονιμοποίηση το 10% των προνυμφών, και 53:00 ώρες αργότερα, το 100% από αυτές κατακερμάτισαν την κορώνα με τη βοήθεια της έκκρισης ενζύμου, που απεκκρίνεται από το κρανίο προνυμφών και απελευθερώνεται από το αυγό (Εικόνα 3-2G, 2H).



Εικόνα 3-2: *Η εμβρυϊκή ανάπτυξη της τσιπούρας μεταξύ 32:00 και 53:00 ωρών μετά τη γονιμοποίηση [30].*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Η εξέλιξη της μορφογένεσης (κεφαλή, οπτικό κύπελλο, σωμίτες και κύτταρα kupffer, αρχέγονο πτερύγιο, ωτόλιθοι, ρυθμικός καρδιακός παλμός) κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των γονιμοποιημένων αυγών φαίνονται στην Εικόνα 3-3.



Εικόνα 3-3: *Βασικές αλλαγές στη μορφολογική ανάπτυξη των ωαρίων. Αναλυτικότερα, 3A: σχηματισμός κεφαλής, 3B: εμφάνιση οπτικού κυπέλλου, 3C: οπτικό κύπελλο, 3D: somits και κύτταρα kupffer, 3E: πρώτη εμφάνιση καρδιάς, 3F: οπτικός φακός, 3G: αρχέγονο πτερύγιο, 3H: εμφάνιση ωτόλιθων, 3J: αυξανόμενη μελάγχρωση της κεφαλής και 3K: ρυθμικός καρδιακός παλμός [30].*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Οι ρόλος της μελατονίνης στην αναπαραγωγή 4

Η μελατονίνη, που απελευθερώνεται κυρίως από την επίφυση του εγκεφάλου, είναι μια ορμόνη που ρυθμίζεται από τον κιρκάδιο ρυθμό και είναι πολυλειτουργική. Έχουν γίνει μεγάλες πρόοδοι στην έρευνα για τη μελατονίνη, συμπεριλαμβανομένου του ρόλου της στους ρυθμούς του κύκλου ύπνου-εγρήγορσης, στην επιβράδυνση των διαδικασιών γήρανσης, καθώς και στις αντιοξειδωτικές ή αντιφλεγμονώδεις λειτουργίες. Η μελατονίνη μπορεί να εξουδετερώσει τις ελεύθερες ρίζες όπως οι δραστικές ρίζες οξυγόνου (ROS), βασικό παράγοντα που επιδρά αρνητικά στις αναπαραγωγικές λειτουργίες [1].

Η μελατονίνη παίζει σημαντικό ρόλο στην ωρίμανση των ωαρίων, τη γονιμοποίηση και την εμβρυϊκή ανάπτυξη επίσης. Η χρήση της μελατονίνης έχει αποδειχθεί ότι, αυξάνει τον αριθμό των ώριμων ωαρίων, τον ρυθμό γονιμοποίησης και τον αριθμό των εμβρύων υψηλής ποιότητας, γεγονός που βελτιώνει την κλινική έκβαση στην εφαρμογή της ανθρώπινης υποβοηθούμενης αναπαραγωγής (ART) [2-3]

Η μελατονίνη που παράγεται από την επίφυση του εγκεφάλου, είναι ένα μόριο που έχει διατηρηθεί στην εξέλιξη όλων των οργανισμών [4-5]. Στα ζώα, η τρυπτοφάνη αρχικά υδροξυλιώνεται σε 5-υδροξυτρυπτοφάνη η οποία στη συνέχεια αποκαρβοξυλιώνεται με το σχηματισμό σεροτονίνης. Η σεροτονίνη είτε ακετυλιώνεται σε N-ακετυλοσεροτονίνη είτε μεθυλιώνεται για να σχηματιστεί 5-μεθοξυτρυπταμίνη. Αυτά τα προϊόντα είτε είναι μεθυλιωμένα είτε ακετυλιωμένα, αντίστοιχα συμβάλλουν, στην παραγωγή μελατονίνης [6]. Η μελατονίνη έχει ένα ευρύ φάσμα φυσιολογικών επιδράσεων, οι οποίες σχετίζονται με την υψηλή λιποφιλικότητα της ίδιας της μελατονίνης. Ρυθμίζει επίσης το ενδοκρινικό σύστημα, το καρδιαγγειακό σύστημα και το μεταβολικό σύστημα [1-9]. Μπορεί να εισέλθει γρήγορα σε διάφορα σωματικά υγρά του οργανισμού και να παίξει άμεσα κάποιο ρόλο [10]. Επιπλέον, υπάρχουν υποδοχείς μελατονίνης σε πολλά κύτταρα, όπως ο υποδοχέας μελατονίνης τύπου 1 (*MT1*) και ο υποδοχέας μελατονίνης τύπου 2 (*MT2*), και η μελατονίνη μπορεί επίσης να λειτουργεί μέσω των υποδοχέων της. [11-18].

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

4.1 ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΜΕΛΑΤΟΝΙΝΗΣ

Οι ελεύθερες ρίζες οξυγόνου (ROS) παράγονται κατά τη διαδικασία του ενεργειακού μεταβολισμού σε όλα τα κύτταρα. Εάν ο ξενιστής δεν διαθέτει επαρκές αμυντικό σύστημα για να αφαιρέσει την τοξικότητά τους, οι συσσωρευμένες ελεύθερες ρίζες θα προκαλέσουν εκτεταμένο κυτταρικό θάνατο. Το 1993, η μελατονίνη ανακαλύφθηκε ως ένας πολύ ισχυρός και αποτελεσματικός ενδογενής καθαριστής ριζών [25-26]. Το γεγονός ότι, όχι μόνο η μελατονίνη αλλά πολλοί από τους σχετικούς μεταβολίτες της πιθανότατα λειτουργούν διαδοχικά ή σε συντονισμό για να εξουδετερώσουν τα ROS/RNS (δραστικές μορφές αζώτου), καθιστώντας αυτή την ομάδα μορίων εξαιρετικά αποτελεσματική στη μείωση του οξειδωτικού στρες [27-30]. Οι αντιοξειδωτικές δράσεις της μελατονίνης και των μεταβολιτών της είναι εξαιρετικά ευρείες, συμπεριλαμβανομένης της ικανότητας για την εξουδετέρωση του ανιόντος υπεροξειδίου ($^{\bullet}O_2^-$), της ρίζας υδροξυλίου ($OH^{\bullet}$), του οξυγόνου (O_2) και του υπεροξείδιου του υδρογόνου (H_2O_2), του υποχλωριώδους οξύ (HOCl), του μονοξειδίου του αζώτου (NO) και του υπεροξυνιτρώδους ανιόντος ($ONOO^-$). Η κυκλική 3-υδροξυμελατονίνη (C-3-OHM) είναι το κύριο προϊόν της αντίδρασης μελατονίνης με δύο $^{\bullet}OH$ και έχει αναγνωριστεί ως προϊόν των αντιδράσεων μεταξύ της μελατονίνης και άλλων οξειδωτικών [33-35]. Περαιτέρω μετασχηματισμός του C-3-OHM δίδει N1-ακετυλ-N2-φορμυλ-5-μεθοξυκυνουραμίνη (AFMK) και N1-ακετυλ-5-μεθοξυκυνουραμίνη (AMK).

4.2 ΔΡΑΣΤΙΚΕΣ ΡΙΖΕΣ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ

Οι ROS είναι ένα φυσικό μεταβολικό προϊόν όλων των οργανισμών. Ως σημαντικός παράγοντας για τη ρύθμιση μιας ποικιλίας φυσιολογικών λειτουργιών των ζωντανών οργανισμών, οι εγγενείς βιοχημικές ιδιότητες των ROS αποτελούν τη βάση των μηχανισμών που είναι απαραίτητοι για την ανάπτυξη, τη φυσική κατάσταση ή τη γήρανση των ζωντανών οργανισμών [38-42]. Αρκετές αναφορές δείχνουν (Πίνακας 1)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Πίνακας

1 Οι ρόλοι των ενεργών ειδών οξυγόνου στην ωρίμανση και ανάπτυξη των ωαρίων.

Συγγραφείς	μαθήματα	Αποτελέσματα	Αναφορά
Blondin et al. 1997	ωάρια βοοειδών	Το ROS μπορεί να είναι ευεργετικό για τη λειτουργία των γαμετών υπό συγκεκριμένες	[43]
Οι Attaran et al. 2000 Oyawoye	ανθρώπους	συνθήκες Έγκυες γυναίκες είχαν υψηλό επίπεδο ROS στο ωοθυλακικό τους υγρό Τα	[44]
et al 2003 Iwata et al.	του ανθρώπου	ROS παίζουν ρόλο στη γυναικεία αναπαραγωγική λειτουργία Ήταν ωφέλιμο	[45]
2003	ωοκύτταρα	για την παραγωγή εμβρύων η χρήση αντιοξειδωτικών κατά την αναρρόφηση ωαρίων Μια χαμηλή συγκέντρωση O2	[46]
Kitagawa et al. 2004 Dalvit et al. 2005	έμβρυα χοίρου έμβρυα βοοειδών	βελτιωμένη αναπτυξιακή ικανότητα Σταδιακή Αύξηση της παραγωγής ROS παρατηρήθηκε μέχρι το όψιμο στάδιο του μορίου A φυσιολογικός ρόλος της μελατονίνης στην προστασία των εμβρύων.	[47] [48]
Poleszczuk et al. 2007	βοοειδή έμβρυα		[49]
Οι Goud et al. 2008 ωοκύτταρα Koo et al. 2008 έμβρυα χοίρου	παντίκια	Το O2 , το H2O2 και το HOCl καθένα αυξάνουν τη γήρανση του ωαρίου Ένας συνδυασμός ηλεκτρικής ενεργοποίησης με αντιοξειδωτικό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της ανάπτυξης των εμβρύων χοίρου	[50] [51]
Οι Stanley et al. 2013	[illegible]	Η έκθεση στη γαλουχία επιτάχυνε την ατρησία των ωοθυλακίων αλλάζοντας την αναλογία των ROS στην ωοθήκη. Μια μέτρια αύξηση του ROS στην ωοθήκη είναι ωφέλιμο για την επανάληψη	[52]
Tiwari και Chaube. 2016	[illegible]	της μείωσης των επιπέδων ROS SIRT2 με την ενεργοποίηση του άξονα FoxO3a-Sod2/Cat Τα μειοτικά ελαττώματα που προκαλούνται από	[53]
Xu et al. 2019	βοδινός Ωοκύτταρα	την αναστολή του SIRT6 μπορεί να προκύψουν από την υπερβολική ROS	[54]
Li et al. 2021	χοιρινός Ωοκύτταρα		[55]

ότι τα ROS επηρεάζουν την ωρίμανση και την ποιότητα των ωαρίων. Από την άλλη, οι ROS αποτελούν δίκοπο μαχαίρι. Οι υπερβολικές ROS θεωρείται ότι είναι μια κοινή αιτία των φτωχών σε ποιότητα ωαρίων τα οποία συντελούν σε κακά αναπαραγωγικά αποτελέσματα. Τα μιτοχόνδρια είναι ένας ευάλωτος στόχος των ROS. Η επίθεση που προέρχεται από τις ελεύθερες ρίζες οξυγόνου μπορεί να βλάψει το μιτοχονδριακό DNA των ωοκυττάρων και στη συνέχεια να οδηγήσει στην απώλεια της εγγενούς μιτοχονδριακής λειτουργίας τους, η οποία παίζει

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

σημαντικό ρόλο στον έλεγχο της γήρανσης και της γονιμότητας [56-57]. Με τη συσσώρευση ROS σε ωοκύτταρα χοίρου, παρατηρήθηκε ότι το υπεροξυνιτρώδες άλας οδήγησε στην απόφραξη της συναρμολόγησης της ατράκτου, στον αποπολυμερισμό της ακτίνης και στη μειωμένη εξώθηση του πολικού σώματος, η οποία αναστέλλει σε μεγάλο βαθμό την ωρίμανση του ωαρίου [58]. Μελέτες έχουν δείξει ότι η συσσώρευση ROS στην ωοθήκη μειώνει την ποιότητα των ωαρίων, προκαλεί απόπτωση κοκκωδών κυττάρων και επιταχύνει τον εκφυλισμό του ωχρού σωματίου. Επιπλέον, αποδυναμώνει την αλληλεπίδραση μεταξύ των ωαρίων και των κοκκωδών κυττάρων επηρεάζοντας την ωρίμανση των ωαρίων πριν την ωορρηξία. Η οξειδωτική βλάβη των ωοθηκών προκαλείται γενικά από την υπεροξείδωση των λιπιδίων, η οποία επηρεάζει σοβαρά την ανάπτυξη των ωοθυλακίων, τη διαδικασία της μείωσης, την ωορρηξία, επηρεάζοντας τελικά την αναπαραγωγική λειτουργία [59-65].

4.3 ΜΕΛΑΤΟΝΙΝΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Η ρυθμιστική επίδραση της μελατονίνης στην αναπαραγωγική λειτουργία ποικίλλει πολύ μεταξύ των διαφορετικών ειδών και σχετίζεται με παράγοντες όπως η ηλικία, η φωτοπερίοδος και ο εμμηνορροϊκός κύκλος. Σε ορισμένα ζώα, η αλλαγή στην έκκριση της μελατονίνης αποτελεί βασικό κριτήριο στην εκδήλωση των αναπαραγωγικών δραστηριοτήτων.

Αν και οι άνθρωποι δεν αναπαράγονται εποχιακά, υπάρχουν εποχιακές διαφορές στην ανθρώπινη αναπαραγωγή. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες επηρεάζουν επίσης την ανθρώπινη σύλληψη, μεταξύ των οποίων η φωτοπερίοδος και η θερμοκρασία να είναι οι πιο σημαντικές. Όπως και άλλα θηλαστικά, η μελατονίνη επηρεάζει την ανθρώπινη αναπαραγωγή και παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της σύλληψης. Η αύξηση της έκθεσης στο φως σε γυναίκες με εξαιρετικά ακανόνιστους εμμηνορροϊκούς κύκλους στον αναμενόμενο χρόνο ωορρηξίας μπορεί να ρυθμίσει τον κύκλο ωορρηξίας τους και να προωθήσει την ωορρηξία. Δεδομένου ότι η μελατονίνη έχει την ικανότητα να επηρεάζει τη σύνθεση και την έκκριση των ορμονών της υπόφυσης και των γονάδων, οι γοναδοτροπίνες και οι στεροειδείς ορμόνες των γονάδων αλλάζουν σημαντικά κατά τη διάρκεια του έμμηνου κύκλου του ανθρώπου. Οι μελέτες για το ρόλο της μελατονίνης στην αναπαραγωγική διαδικασία έχουν επικεντρωθεί κυρίως στον άμεσο ρόλο της στις ωοθήκες. Η μελατονίνη μπορεί να διεισδύσει σε όλες τις κυτταρικές μεμβράνες και να εισέλθει σε όλους τους ιστούς λόγω της λιπόφιλης φύσης της, αλλά μόλις εισέλθει στο

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

σύστημα, η μελατονίνη συγκεντρώνεται ιδιαίτερα στις ωοθήκες [69-70]. Έχει αναφερθεί ότι οι συγκεντρώσεις μελατονίνης στο ωοθυλακικό υγρό (FF) το πρωί (58.9 ± 3.8 pmol/L) ήταν σημαντικά υψηλότερες από ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας (23.2 ± 0.8 pmol/L), αλλά οι συγκεντρώσεις το πρωί δεν ήταν διαφορετικές μεταξύ της φωτεινής και της σκοτεινής εποχής του έτους, ενώ οι τιμές κατά τη διάρκεια της ημέρας ήταν κατά τη σκοτεινή περίοδο (27.1 ± 2.1 pmol/L) υψηλότερες από ότι κατά τη διάρκεια της φωτεινής περιόδου (21.1 ± 2.1 pmol/L), υποδεικνύοντας ότι η μελατονίνη παρεμβαίνει στη ρύθμιση των αναπαραγωγικών λειτουργιών στον άνθρωπο σε ωοθυλακικό επίπεδο [71]. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα ευεργετικά αποτελέσματα της μελατονίνης στα ωοκύτταρα διαμεσολαβούνται μέσω του υποδοχέα *MT1* και της μεταβολικής οδού AMPK [72-73].

4.4 Η ΜΕΛΑΤΟΝΙΝΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΕΙ ΤΗΝ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ

Η μελατονίνη παίζει σημαντικό ρόλο σε αρκετές εποχιακές διεργασίες συμπεριλαμβανομένης της αναπαραγωγής των ζώων. Η αναπαραγωγή ρυθμίζεται από το νευροενδοκρινικό σύστημα: Ο αμοιβαίος έλεγχος του εγκεφάλου και των περιφερειακών ενδοκρινικών οργάνων [86] συμβάλλει στην προσαρμογή της αναπαραγωγής στις περιβαλλοντικές αλλαγές. Οι υποδοχείς της μελατονίνης έχουν εντοπιστεί στο SCN (υπερχιασματικό πυρήνα) του εγκεφάλου, στο pars tuberalis (τμήμα του μίσχου/υποθαλάμου) της υπόφυσης καθώς και στην ωοθήκη υποδηλώνοντας πολλαπλές θέσεις δράσης της μελατονίνης στη ρύθμιση της αναπαραγωγής.

Ο έλεγχος της αναπαραγωγής από τη μελατονίνη είναι ειδικός για κάθε είδος. Στα θηλαστικά, η χορήγηση μελατονίνης μπορεί να προκαλέσει ή να αναστείλει την αναπαραγωγή ανάλογα με την αναπαραγωγική στρατηγική του είδους. Η μελατονίνη προκαλεί φαινότυπο αναπαραγωγής μικρής φωτοπεριόδου (χειμερινό) και αναστέλλει τον φαινότυπο αναπαραγωγής μεγάλης φωτοπεριόδου (καλοκαιρινό) [91],[93-95]. Ωστόσο, ελάχιστες πληροφορίες είναι διαθέσιμες επί του παρόντος για τον ρόλο της μελατονίνης στο zebrafish, ένα είδος που υπό εργαστηριακές συνθήκες συμπεριφέρεται ως ημερήσιος αναπαραγωγός με ασύγχρονες ωοθήκες. Οι εκτροφές εποχιακής και συνεχούς αναπαραγωγής περιλαμβάνει μια στενή σχέση μεταξύ νευρώνων της εκλυτικής ορμόνης των γοναδοτροπινών (GnRH) και των νευρικών ινών κισπεπτίνης (kisspeptin) που ανακαλύφθηκαν πρόσφατα κωδικοποιημένες από τα kiss1/kiss2 γονίδια. Αυτά τα γονίδια απομονώθηκαν πρόσφατα σε zebrafish, και εκφράζονται σε νευρώνες GnRH.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Το σύστημα της κισπεπτίνης είναι υπό τον έλεγχο της φωτοπεριόδου και ανάλογα με το είδος, η μελατονίνη μπορεί να προκαλέσει ή να αναστέλλει το σύστημα kiss1 και αυτό με τη σειρά του τον άξονα υποθαλάμου-υπόφυσης και γονάδων.

Οι Carnevali et al. [135] μελέτησαν τον νευροενδοκρινικό έλεγχο της αναπαραγωγής στο zebrafish. Ανέλυσαν τον ρόλο των εκφράσεων των γονιδίων kiss1 και kiss2 σε σχέση με την έκφραση του γονιδίου gnrh στην υπόφυση των θηλυκών που εκτέθηκαν σε δύο διαφορετικές δόσεις μελατονίνης. Η ικανότητα της μελατονίνης να αυξήσει τη γονιμότητα ήταν συνεπής με την σημαντική αύξηση της γονιδιακής μεταγραφής των γονιδίων kiss1, kiss2 και gnrh στον εγκέφαλο.

Οι Carnevali et al. [135] μελέτησαν επίσης το ρόλο της μελατονίνης στην ανάπτυξη των ωοκυττάρων στο zebrafish, όπου βρήκαν μια πιθανή επίδραση της μελατονίνης στη διαδικασία ωρίμανσης των ωοκυττάρων, όπως στα είδη των θηλαστικών. Τα αποτελέσματα της χορήγησης εξωγενούς μελατονίνης αποκάλυψε το θετικό ρόλο της στην αναπαραγωγή του ψαριού zebra, παρέχοντας καταρράκτη ενδοκρινικών σημάτων που εμπλέκονται στον έλεγχο αυτής της διαδικασίας. Επίσης, οι συγγραφείς βρήκαν μια άμεση δράση της μελατονίνης στην ωρίμανση των ωοθυλακίων, που οδηγεί σε αύξηση της γονιμότητας.

4.5 ΩΡΙΜΑΝΣΗ ΩΑΡΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΛΑΤΟΝΙΝΗ

Η ωρίμανση των ωαρίων είναι μια διαδικασία που ρυθμίζεται από πολλούς παράγοντες και ήταν πάντα το επίκεντρο στην έρευνα της γυναικείας αναπαραγωγικής ανάπτυξης. Η μελατονίνη προάγει την ωρίμανση των ωαρίων, αλλά ο μηχανισμός δεν είναι πλήρως κατανοητός. Δεδομένου ότι η μελατονίνη μειώνει τις ROS και το οξειδωτικό στρες λόγω της άμεσης αντιοξειδωτικής της λειτουργίας, ωφελεί την ωρίμανση των ωαρίων και την ανάπτυξη των εμβρύων. Μια άλλη εκδοχή είναι η πιθανή εμπλοκή της μελατονίνης στη ρύθμιση ορισμένων κυτταρικών οδών σηματοδότησης που επηρεάζουν θετικά την ωρίμανση των ωαρίων (Εικόνα 3-1β). Ο υποδοχέας *MT1* είναι ο μεσολαβητής της δραστηριότητας της μελατονίνης. Η μελατονίνη δρώντας μέσω του υποδοχέα *MT1* μπορεί να μειώσει το ενδοκυτταρικό επίπεδο της κυκλικής μονοφωσφορικής αδενοσίνης (cAMP) στα ωοκύτταρα και να προάγει τη δημιουργία ωχρινοτρόπου ορμόνης (LH). Η επίδραση της μελατονίνης στην ωρίμανση των ωαρίων μπορεί επίσης να σχετίζεται με τη λειτουργία των μιτοχονδρίων, τα αντιοξειδωτικά ένζυμα, την

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

απόπτωση, την επέκταση των κοκκωδών κυττάρων, τους παράγοντες ωρίμανσης ωαρίων, τη μεθυλίωση του DNA και την ακετυλίωση ιστόνης.[88-89]

4.6 ΜΕΛΑΤΟΝΙΝΗ ΚΑΙ ΠΡΩΪΜΗ ΕΜΒΡΥΪΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Η ανάπτυξη του πρώιμου εμβρύου θηλαστικού, που περιλαμβάνει τα στάδια από το ζυγωτό έως τη βλαστοκύστη και υφίσταται σημαντικές μορφολογικές αλλαγές όπως ο πολλαπλασιασμός των κυττάρων και ο σχηματισμός της βλαστοκύστης, είναι μια πολύπλοκη βιολογική διαδικασία. Και η ποιότητα της πρώιμης ανάπτυξης του εμβρύου είναι μία από τις προϋποθέσεις για την επιτυχία της εμφύτευσης του εμβρύου. Σήμερα, ο ρόλος της μελατονίνης στην πρώιμη εμβρυϊκή ανάπτυξη έχει αρχίσει να διερευνάται. Μελέτες δείχνουν ότι η άμεση εξουδετέρωση των ελεύθερων ριζών οξυγόνου, η ενίσχυση των ενδογενών επιπέδων γλουταθειόνης και η αντι-αποπτωτική ικανότητα της μελατονίνης μπορεί να ευθύνονται για τις προστατευτικές της επιδράσεις στην εμβρυϊκή ανάπτυξη [117]. Έχει επίσης αναφερθεί ότι η χορήγηση μελατονίνης θα μπορούσε να βελτιώσει σημαντικά το οξειδωτικό στρες που προκαλείται από τη ζεαραλενόνη, την ανώμαλη κατανομή των μιτοχονδρίων και τη βλάβη του DNA κατά την πρώιμη ανάπτυξη του εμβρύου χοίρου [118-119]. Οι Qu et al. (2020), διαπίστωσαν ότι η μελατονίνη βελτίωσε τον επαναπρογραμματισμό της μεθυλίωσης του DNA, διέσωσε τα διαταραγμένα πρότυπα γονιδιακής έκφρασης, την πυρηνική αναδιαμόρφωση και την απόπτωση που είχε ως αποτέλεσμα την υψηλή αναπτυξιακή ικανότητα και ποιότητα των κλωνοποιημένων εμβρύων [120]. Οι Niu et al., (2020) διαπίστωσαν ότι τα ευεργετικά αποτελέσματα της μελατονίνης στα πρώιμα εμβρυικά στάδια χοίρου εξαρτώνται από δύο βασικές πτυχές. Η μελατονίνη μείωσε το οξειδωτικό στρες, αποτρέποντας την υπερβολική μιτοχονδριακή βιογένεση που προκαλείται από ένα περιβάλλον υψηλής περιεκτικότητας σε οξυγόνο. Από την άλλη πλευρά, πέρα από τις αντιοξειδωτικές ιδιότητές της, η μελατονίνη προώθησε τη μιτοχονδριακή βιογένεση ενεργοποιώντας το μονοπάτι SIRT1/PGC-1α για να αντισταθμίσει τη μιτοχονδριακή εξάντληση και την ανεπάρκεια ενέργειας λόγω της έκθεσης σε περιβαλλοντικές τοξίνες, υποδεικνύοντας ότι η μελατονίνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάσωση πρώιμων εμβρυϊκών κυττάρων από καταστάσεις μιτοχονδριακής ανεπάρκειας [121].

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Συνολικά, η μελατονίνη, σε μεγάλο βαθμό μειώνει την απόπτωση, περιορίζοντας τη μιτοχονδριακή βλάβη και ενισχύοντας τον επαναπρογραμματισμό της μεθυλίωσης του DNA, συμβάλλοντας θετικά στην ανάπτυξη πρώιμων εμβρυϊκών κυττάρων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Η επίδραση της χορήγησης μελατονίνης δια του στόματος στην παραγωγή προνυμφών & σκελετικών παραμορφώσεων σε συνθήκες εκτροφής τσιπούρας (Sparus aurata)

5

Η εκτροφή προνυμφών τσιπούρας σε συνεχές φως είναι κοινή στα περισσότερα εκκολαπτήρια της Μεσογείου για την τόνωση της ανάπτυξης του μήκους της προνύμφης και την αύξηση της κατανάλωσης τροφής. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι το συνεχές φως επηρεάζει την ανάπτυξη των προνυμφών και αυξάνει τον επιπολασμό των σκελετικών παραμορφώσεων. Η μελατονίνη είναι μια κρίσιμη νευροορμόνη της επίφυσης που εμφανίζει καθημερινά πρότυπα έκκρισης, διεγείρει τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων και την εμβρυϊκή ανάπτυξη στον σολομό του Ατλαντικού και του zebrafish και βελτιώνει την οστεοενσωμάτωση στους ανθρώπους και στα ποντίκια .

Η παρουσία μορφολογικών ανωμαλιών στην εκτρεφόμενη τσιπούρα (Sparus aurata) είναι ένα σημαντικό πρόβλημα για την τρέχουσα υδατοκαλλιέργεια καθώς συνεπάγεται σημαντικές οικονομικές απώλειες [115], [119]. Οι σκελετικές παραμορφώσεις είναι οι πιο συχνές παραμορφώσεις και περιλαμβάνουν ανωμαλίες της κεφαλής και της σπονδυλικής στήλης. Οι οφθαλμικές σύνθετες ανωμαλίες είναι οι πιο συχνές σκελετικές ανωμαλίες σε αυτό το είδος, με συχνότητα εμφάνισης 80% [214-216]. Η λειτουργία του οφθαλμικού συμπλέγματος και η προστασία των βραγχίων επηρεάζονται από τον αερισμό-οξυγόνωση του νερού. Οι οφθαλμικές παραμορφώσεις προκαλούν έμμεσα ασθένειες των βραγχίων λόγω της μειωμένης αντίστασης στο περιβαλλοντικό στρες. Επομένως, τα εκτεθειμένα βράγχια μπορούν να μειώσουν την αναπνευστική αποτελεσματικότητα, καθώς και να μειώσουν την εμπορική αξία [214,217]. Για τη βελτίωση της κερδοφορίας της εκτροφής τσιπούρας, η ταχεία και έγκαιρη αναγνώριση της ανάπτυξης ανωμαλιών είναι πρωταρχικής σημασίας για τους υδατοκαλλιεργητές. Ένα ευρύ φάσμα φυσικών, χημικών και βιολογικών παραγόντων μπορεί να προκαλέσει σκελετικές παραμορφώσεις στα εκτρεφόμενα ψάρια [120]. Μερικοί συγγραφείς έχουν συσχετίσει τις

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

οφθαλμικές παραμορφώσεις με ένα ελάττωμα φουσκώματος της νηκτικής κύστης [218], άλλοι το απέδωσαν σε διατροφική ανεπάρκεια βιταμινών, αμινοξέων [219] ή στις συνθήκες εκτροφής (πυκνότητα, αλατότητα, θερμοκρασία, οξυγόνωση, φωτεινότητα). Επιπλέον, σύμφωνα με ορισμένες μελέτες, η κληρονομικότητα είναι η βασική αιτία των ανωμαλιών του συμπλέγματος του οπίσθιου ιστού του οφθαλμού [220]. Οι οφθαλμικές σύνθετες παραμορφώσεις προκαλούνται κατά την εμβρυϊκή και μεταεμβρυϊκή περίοδο της ζωής, πολύ πριν οι οστεολογικές παραμορφώσεις είναι εξωτερικά ορατές και η ανάπτυξή τους δεν είναι ακόμη καλά κατανοητή [221,222]. Η εκτροφή προνυμφών τσιπούρας σε συνεχές φως είναι μια κοινή πρακτική στην πλειονότητα των μεσογειακών εκκολαπτηρίων. Πράγματι, αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι το συνεχές φως επιταχύνει την εξάντληση των αποθεμάτων του λεκιθικού σάκου, διεγείρει την ανάπτυξη του μήκους των προνυμφών και αυξάνει την κατανάλωση τροφής κατά περίπου 40% [223]. Ωστόσο, αρκετές άλλες μελέτες έχουν δείξει ότι το συνεχές φως επηρεάζει την ανάπτυξη των προνυμφών και αυξάνει τον επιπολασμό των σκελετικών παραμορφώσεων [224] Η εναλλαγή του κιρκάδιου ρυθμού παίζει σημαντικό ρόλο στον συγχρονισμό των καθημερινών συμπεριφορικών διεργασιών στα ψάρια (κινητική δραστηριότητα, καταστολή, πρόσληψη τροφής, συμπεριφορά στο κοπάδι), μελάγχρωση του δέρματος, κατανάλωση οξυγόνου, θερμορύθμιση και σύνθεση μελατονίνης [225].

Στα ψάρια, όπως και στα θηλαστικά, η μελατονίνη ρυθμίζει το κιρκάδιο ρολόι, μια κρίσιμη ορμόνη που παράγεται από την επίφυση που εμφανίζει καθημερινά και εποχιακά μοτίβα έκκρισης με μέγιστο επίπεδο κατά τη σκοτεινή φάση και βασικό επίπεδο κατά τη φωτεινή φάση. Η σύνθεση της μελατονίνης συμβαίνει και στον αμφιβληστροειδή. Η μελατονίνη του αμφιβληστροειδούς δρα ως τοπικός νευροδιαμορφωτής μέσα στο μάτι και θα μπορούσε να μεταβολιστεί in situ, γεγονός που εμποδίζει την απελευθέρωση της μελατονίνης του αμφιβληστροειδούς στο αίμα [226].

Επιπλέον, μεταγραφές mRNA των ενζύμων σύνθεσης μελατονίνης έχουν αναφερθεί στις πεπτικές οδούς αρκετών τελεόστεων με ημερήσιους ρυθμούς που προσαρμόζονται στην επικρατούσα φωτοπερίοδο [139,227,229]. Η εμπλοκή της μελατονίνης στην ανάπτυξη των προνυμφών έχει αποδειχθεί από αρκετές in vivo και in vitro μελέτες που δείχνουν ότι η μελατονίνη διεγείρει τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων και την εμβρυϊκή ανάπτυξη με δοσοεξαρτώμενο τρόπο στο zebrafish [230,231]. Επιπλέον, η μελατονίνη έχει πολλές λειτουργίες που σχετίζονται με την ανάπτυξη των σπονδυλικών οστών στον σολομό του

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Ατλαντικού [232], των ανθρώπινων μεσεγχυματικών βλαστοκυττάρων (MSC: mesenchymal stem cells), των μονοπύρηνων κυττάρων του περιφερειακού αίματος και των κυττάρων MC3T3-E1 με αυξημένα επίπεδα οστεογονικών δεικτών, τα οποία προάγουν την οστεοβλαστική διαφοροποίηση και βελτιώνουν την οστεοενσωμάτωση στους ανθρώπους και στα ποντίκια [233-235].

Στις προνύμφες τσιπούρας, η παραγωγή μελατονίνης ξεκινά αμέσως μετά την εκκόλαψη για να φτάσει τα μέγιστα επίπεδα μεταξύ της 6ης και της 10ης ημέρας μετά την εκκόλαψη [236]. Αυτή τη στιγμή, τα επίπεδα των ορμονών που εμπλέκονται στην ανάπτυξη, το μεταβολισμό και την ανάπτυξη, δηλαδή της αυξητικής ορμόνης και της προλακτίνης, είναι πολύ χαμηλά. [237,238] Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι ο αριθμός των κυττάρων της αυξητικής ορμόνης και της έκφρασης mRNA της αυξητικής ορμόνης δεν αυξάνεται παρά μόνο 30 ημέρες μετά την εκκόλαψη [239]. Όταν η παροχή αυξητικής ορμόνης και προλακτίνης εξακολουθεί να είναι ανεπαρκής, η μελατονίνη μπορεί να διαδραματίσει ρόλο στη διέγερση του κυτταρικού πολλαπλασιασμού και των διαδικασιών διαφοροποίησης, όπως έχει υποστηριχθεί στο zebrafish (Danio rerio), [231].Οι Kamel Mhalhel et al., 2020 [249] πραγματοποίησαν πειραματισμό εξετάζοντας την επίδραση της χορήγησης μελατονίνης δια του στόματος στην παραγωγή προνυμφών & σκελετικών παραμορφώσεων σε συνθήκες εκτροφής τσιπούρας (Sparus aurata).

5.1 ΕΚΤΡΟΦΗ ΠΡΟΝΥΜΦΩΝ

Ανατράφηκαν προνύμφες τσιπούρας υπό τυπικές συνθήκες εκκολαπτηρίου σε κυλινδροκωνικές δεξαμενές 2,5 m^3 (αρχική πυκνότητα 120 προνύμφες/L). Καθημερινά, η ανανέωση νερού στη δεξαμενή εκτροφής ήταν 3–15%/ώρα με ήπιο και συνεχή αερισμό. Η ένταση φωτός στην επιφάνεια του νερού ήταν 150 lux και η θερμοκρασία ήταν στους 20–21^{o}C. Τα Rotifers Brachionus picatilis καλλιεργήθηκαν και εμπλουτίστηκαν με πράσινα φύκια και προστέθηκαν στις δεξαμενές καθημερινά ως πρώιμη ζωντανή τροφή από την 3η έως την 25^{η} ημέρα μετά την εκκόλαψη. Οι Artemia salina nauplii εισήχθησαν από την 26η έως την 38η ημέρα μετά την εκκόλαψη. Μια μέρα πριν ταΐστούν οι προνύμφες, τα rotifers και τα metanauplii εμπλουτίστηκαν με ένα εμπορικό γαλάκτωμα για εμπλουτισμό Red Pepper (Bern Aqua, Olen,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Βέλγιο) με φυτοπρωτεΐνες και εξαιρετικά ακόρεστα λιπαρά οξέα. Στις 38 ημέρες, οι προνύμφες απογαλακτίστηκαν με παροχή ξηράς τροφή (Kamel Mhalhel et al., 2020) [249].

5.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Η μελέτη των Kamel Mhalhel et al., 2020 [249]πραγματοποιήθηκε σε 2.400 προνύμφες τσιπούρας, οι οποίες χωρίστηκαν τυχαία μετά την εκκόλαψη σε τρεις ομάδες των 800 προνυμφών ανά ομάδα που τοποθετήθηκαν σε συνήθεις συνθήκες εκκολαπτηρίου: μια ομάδα μάρτυρα (Ctrl) και δύο ομάδες που έλαβαν μελατονίνη (MEL1: 0,04g/kg) και (MEL2: 0,2g/kg). Η εξωγενής προσφορά της μελατονίνης εξασφαλίστηκε μέσω των rotifers και nauplii της Artemia από την 3^{η} ημέρα έως την 38^{η} ημέρα μετά την εκκόλαψη. Τα Rotifers και Artemia εμπλουτίστηκαν με (MEL1) ή (MEL2), όπου η μελατονίνη προστέθηκε σε διάλυμα αιθανόλης στο εμπορικό γαλάκτωμα για εμπλουτισμό. Η επιλογή και των δύο συγκεντρώσεων έγινε λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι καμία μελέτη σχετικά με τη χορήγηση μελατονίνης δεν έχει δείξει LD50 (θανατηφόρα δόση για 50% των υποκειμένων) [246], και λαμβάνοντας επίσης υπόψη το εύρος των προηγούμενων δοκιμασμένων δόσεων με θετική ανταπόκριση σε άλλα είδη τελεόστεων [42,247-248]. Η λιπόφιλη φύση της μελατονίνης διευκολύνει τη διαλυτότητα σε αυτό το γαλάκτωμα λιπιδίων. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε εις τριπλούν. Πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία κάθε δέκα ημέρες από την 13η έως την 83^{η} ημέρα μετά την εκκόλαψη από κάθε πειραματική ομάδα και οι προνύμφες θανατώθηκαν με υπερδοσολογία μεθανοσουλφονικής τρικαΐνης (MS 222), 1000–10.000 mg/L, (Kamel Mhalhel et al., 2020)[249]

5.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟ ΤΟΥ ΣΤΟΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΛΑΤΟΝΙΝΗΣ ΣΤΟΝ ΡΥΘΜΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Στις 13 ημέρες μετά την εκκόλαψη (DPH), δεν κατέγραψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών ομάδων προνυμφών τόσο για το μήκος όσο και για το βάρος (Σχήμα 5-1), (Kamel Mhalhel et al., 2020)[249].Στις 23 DPH, το μεγαλύτερο μήκος καταγράφηκε στην ομάδα του μάρτυρα (0.614 ± 0.0155 cm) που ήταν στατιστικά διαφορετική μόνο από την ομάδα της MEL1 (Test Mann–Whitney U Test, $p<0.05$), (Σχήμα 5-1). Η αύξηση του βάρους έδειξε το ίδιο μοτίβο ανάπτυξης με το μήκος και δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των πειραματικών ομάδων των προνυμφών (Σχήμα 5-2). Στις 33 DPH, η ομάδα του

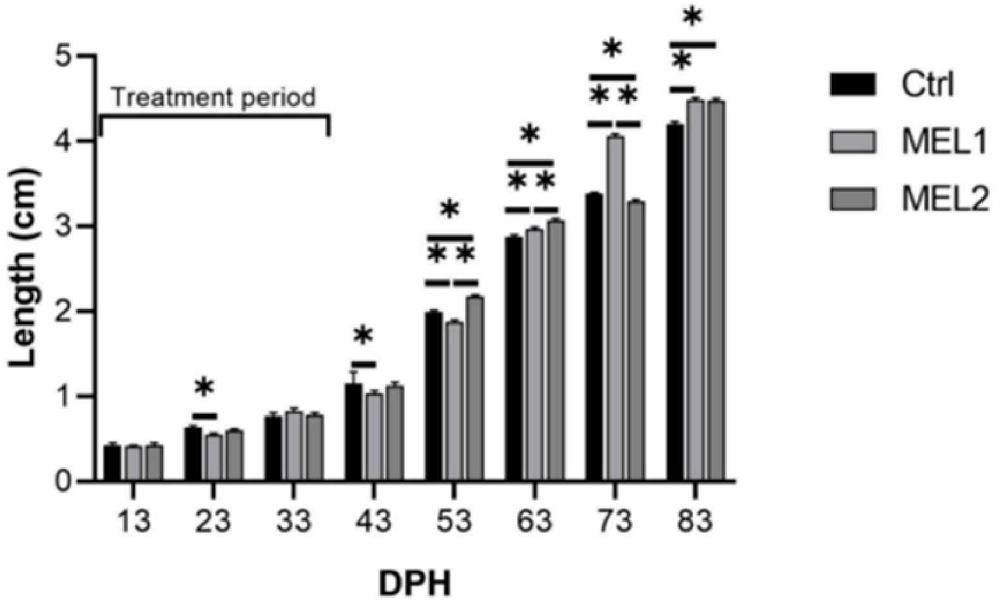
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

μάρτυρα έδειξε την υψηλότερη ανάπτυξη, ενώ η ομάδα της MEL1 κατέγραψε τη χαμηλότερη τιμή βάρους. Ωστόσο, αυτές οι διαφορές απουσίαζαν για την ανάπτυξη σε μήκος (Σχήμα 5-1). Στις 43 DPH, το μήκος έδειξε μια στατιστικά σημαντική διαφορά μόνο μεταξύ της ομάδας του μάρτυρα και της ομάδας της MEL1 (Mann-Whitney U Test, $p<0.05$). Η ομάδα της MEL2 παρουσίασε την υψηλότερη αύξηση βάρους (0.0179 ± 0.001148 g), ενώ η ομάδα της MEL1 κατέγραψε τη χαμηλότερη τιμή. Στατιστικά σημαντικές διαφορές σημειώθηκαν μεταξύ των τριών ομάδων προνυμφών για την αύξηση του βάρους (Mann-Whitney U Test, $p<0.05$), (Σχήμα 5-1). Στις 53 DPH, οι προνύμφες της ομάδας της MEL2 παρουσίασαν το μεγαλύτερο μήκος (2.17±0.0163 cm), ενώ οι προνύμφες της ομάδας της MEL1 παρουσίασαν τη χαμηλότερη ανάπτυξη σε μήκος μεταξύ των τριών ομάδων των προνυμφών (Σχήμα 5-1). Σε αυτή την ηλικία, η κατανομή βάρους μεταξύ των τριών ομάδων αντιστοιχούσε καλά στην ανάπτυξη τους σε μήκος. Οι διαφορές μεταξύ των τριών ομάδων τόσο για το βάρος όσο και το μήκος ήταν στατιστικά σημαντικές (Mann-Whitney U Test, $p<0.05$), (Σχήμα 5-1). Δέκα ημέρες αργότερα, η ανάπτυξη των προνυμφών της ομάδας της MEL1 ξεπέρασε αυτή της ομάδας του μάρτυρα αλλά ήταν χαμηλότερη από αυτή της ομάδας της MEL2 (Mann-Whitney U Test, $p<0.05$). Στις 73 DPH, το μήκος στην ομάδα της MEL1 συνέχισε να αυξάνεται και έφτασε τα 4.06 ± 0.0224 cm ενώ της ομάδας του μάρτυρα και της ομάδας της MEL2 δεν ξεπέρασε τα 3.380 ± 0.0197 cm και τα 3.295 ± 0,197 cm, αντίστοιχα (Σχήμα 5-1). Το μέγιστο του βάρους στη ομάδα της MEL1 είχε μια μέγιστη τιμή στα 1.021±0.0196 g, που ήταν 44.47% και 50.66% υψηλότερο αντίστοιχα, από αυτό της ομάδας του μάρτυρα και της ομάδας της MEL2, (Mann–Whitney U Test, $p<0.05$). Στο τέλος της σχετικής μελέτης, αποδείχθηκε ότι οι προνύμφες της MEL1 και της MEL2 έδειξαν σχεδόν τον ίδιο ρυθμό ανάπτυξης (4.48 cm/1.323 g– 4.47 cm/1.342 g) και ήταν στατιστικά 6.40% μεγαλύτερη και 22.38% βαρύτερο από αυτό της ομάδας ελέγχου (Mann–Whitney U Test, $p<0.05$).

Η σχέση μήκους-βάρους που εκφράζεται από την εξίσωση $W=a\cdot L\cdot b$ υπολογίστηκε στις τρεις ομάδες από το φυσικό λογαριθμικό ισοδύναμο $logW=b\cdot logL+x$. Η εξίσωση παλινδρόμησης για την ομάδα του μάρτυρα, και τις ομάδες MEL1 και MEL2 ήταν αντίστοιχα, $logW=3.055\cdot logL–4.383|logW=1.087\cdot logL–1.18|logW=0.954\cdot logL–0.992$. Και στις δύο ομάδες προνυμφών με τη χορήγηση συμπληρώματος μελατονίνης, οι προνύμφες κέρδισαν λιγότερο βάρος από τον κύβο του μήκους τους, αντανακλώντας αρνητική αλλομετρική ανάπτυξη, με αποτέλεσμα οι προνύμφες να είναι πιο αδύνατες με αυξημένο μήκος. Από την άλλη πλευρά, οι προνύμφες της

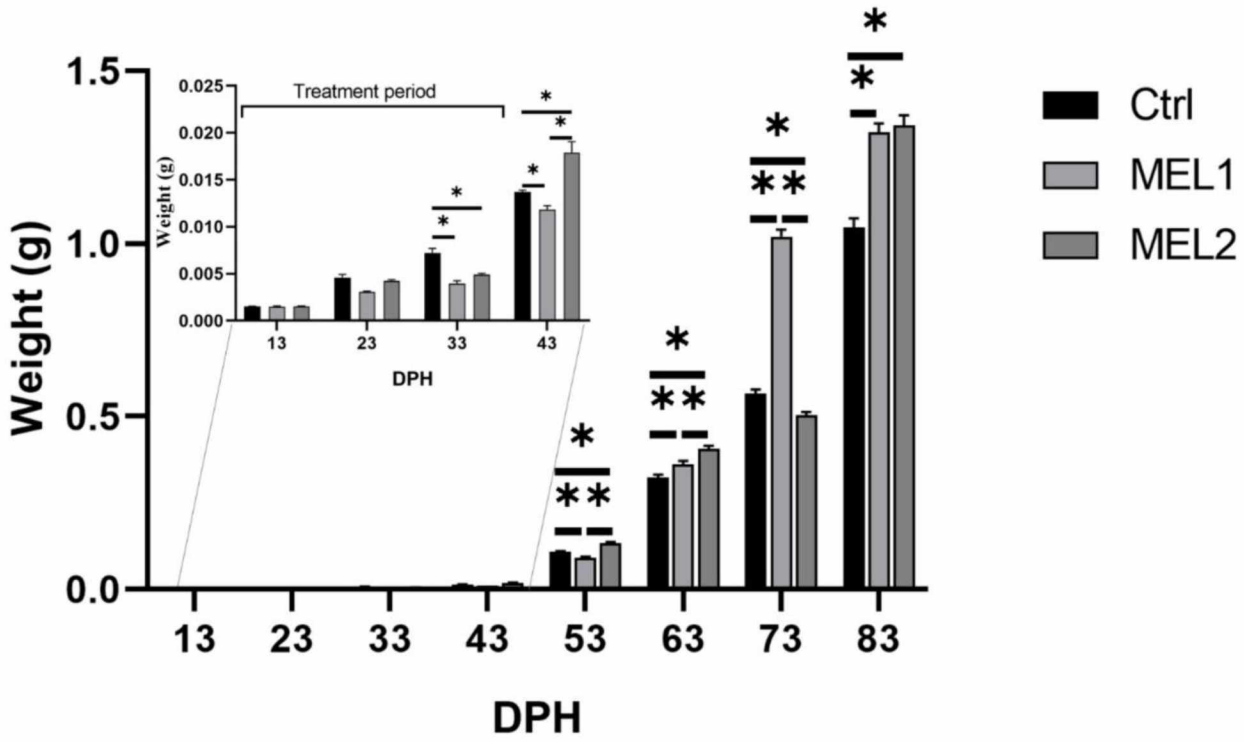
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

ομάδας των μαρτύρων εμφάνισαν θετικό αλλομετρικό μοτίβο ανάπτυξης, που σημαίνει ότι ενώ το βάρος εξακολουθούσε να αυξάνει, η ανάπτυξη ως προς το μήκος σταμάτησε [140], [142]



Σχήμα 5-1: *Διακύμανση συνολικού μήκους σε προνύμφες τσιπούρας που τρέφονται με rotifers (Brachionus picatilis) και Αρτέμια (Artemia salina) εμπλουτισμένες με δύο διαβαθμισμένα επίπεδα μελατονίνης (MEL1 και MEL2, (περίοδος θεραπείας: από 3 έως 38 ημέρες μετά την εκκόλαψη (DPH). Τα δεδομένα εκφράζονται ως μέσος όρος ± τυπικό σφάλμα μέτρησης (SEM). Οι αστερίσκοι υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων θεραπείας και ελέγχου (Mann–Whitney U Test, $p<0.05$). (Kamel Mhalhel et al., 2020).[249]*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38



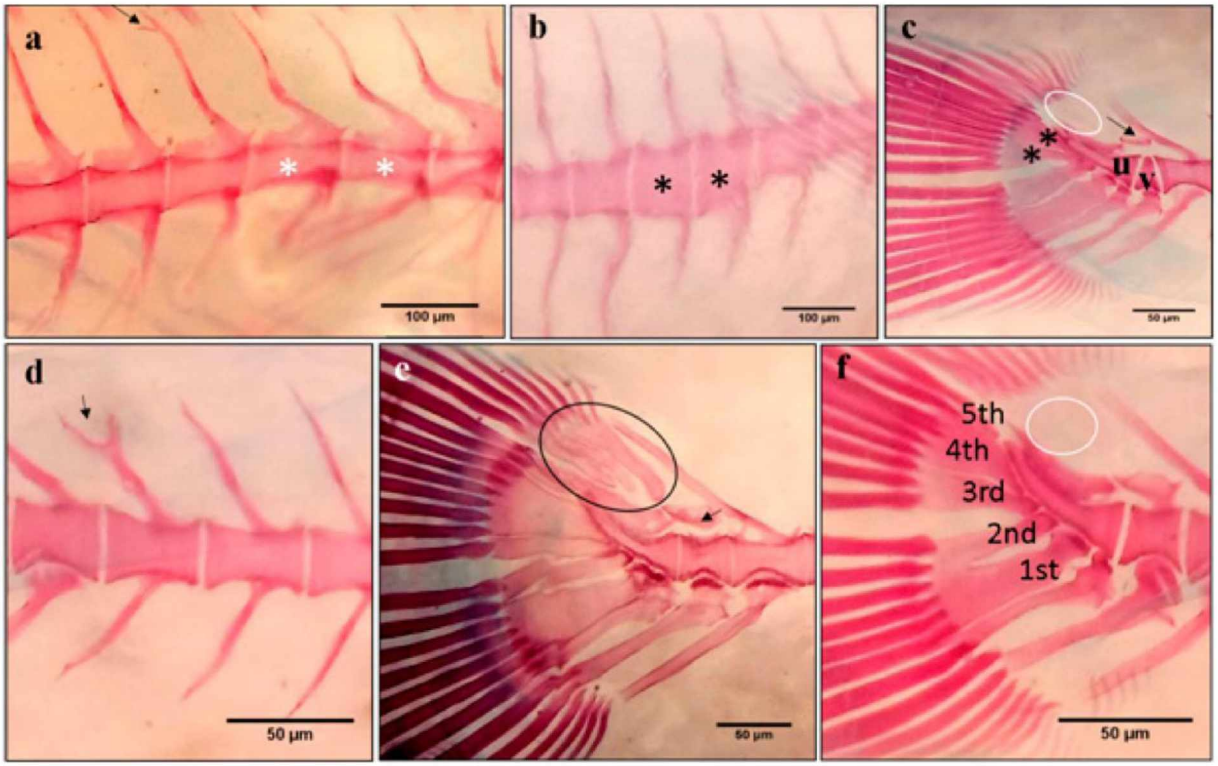
Σχήμα 5-2: *Διακύμανση του βάρους σε προνύμφες τσιπούρας που τρέφονται με rotifers (Brachionus picatilis) και Αρτέμια (Artemia salina) εμπλουτισμένες με δύο διαβαθμισμένα επίπεδα μελατονίνης (MEL1 και MEL2,(περίοδος θεραπείας: από 3 έως 38 ημέρες μετά την εκκόλαψη (DPH). Τα δεδομένα εκφράζονται ως μέσος όρος ± τυπικό σφάλμα μέτρησης (SEM). Οι αστερίσκοι υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων θεραπείας και ελέγχου (Mann–Whitney U Test, p<0.05).* (*Kamel Mhalhel et al., 2020).[249]*

5.4 ΣΚΕΛΕΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

Η έγκαιρη ανίχνευση σκελετικών παραμορφώσεων σε προνύμφες τσιπούρας μελετήθηκε χρησιμοποιώντας τη διπλή χρώση χωρίς οξύ (Σχήμα 5-3), (Kamel Mhalhel et al., 2020) [249]. Η παρατήρηση προνυμφών με διπλή χρώση (πρωτόκολλο των Walker και Kimmel [245]), κάτω από ένα στερεομικροσκόπιο αποκάλυψε πολλές τυπολογίες οστικών παραμορφώσεων (Σχήμα 5-3). Οι ανιχνευμένες παραμορφώσεις επηρέασαν τα μεριστικά και τα κατώφλια χαρακτηριστικά της σπονδυλικής στήλης (σπόνδυλοι, νευρική και αιμική περιστροφή) και το σύμπλεγμα του ουραίου πτερυγίου. Η σπονδυλική στήλη διατήρησε την κανονική της καμπυλότητα (δεν καταγράφηκαν περιπτώσεις λόρδωσης ή κύφωσης), τα μεριστικά χαρακτηριστικά της αποτελούνταν από 24 σπονδύλους σε όλες τις προνύμφες των τριών πειραματικών ομάδων. Ωστόσο, αρκετές δυσπλασίες επηρέασαν τους σπονδύλους και απέκτησαν ένα ορθογώνιο λεπτό σπονδυλικό σώμα (Σχήμα 5-3a), ένα κυβικό παχύ σπονδυλικό σώμα (Σχήμα 5-3b) και τους

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

σπονδύλους με τριγωνικό σχήμα (Σχήμα 5-3c). Η νευρική και η αιμική σπονδυλική στήλη παρουσίασαν επίσης ανωμαλίες όπως: διχαλωτή νευρική σπονδυλική στήλη (Σχήμα 5-3a,d) και αποκολλημένη νευρική και αιμική σπονδυλική στήλη (Σχήμα 5-3c,e). Ανιχνεύθηκαν επίσης σκελετικές παραμορφώσεις στο ουραίο τμήμα, όπως η απουσία ενός ή και των τριών επουραλίων (Σχήμα 5-3c,f) και η έλλειψη ή η σύντηξη της υπουρικής (Σχήμα 5-3c). Σε πολλές περιπτώσεις, καταγράφηκαν πολλαπλές παραμορφώσεις στο ίδιο δείγμα (Σχήμα 5-3a). Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι καταγράφηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των διαφορετικών ομάδων [140], [142].



Σχήμα 5.3. Αντιπροσωπευτικές μορφές ανωμαλιών του σκελετού σε προνύμφες τσιπούρας από τις διάφορες πειραματικές ομάδες σε 53 DPH. (a) Ορθογώνιο λεπτό σπονδυλικό σώμα (λευκοί αστερίσκοι) και διχοτόμος νευρική σπονδυλική στήλη (βέλος), (b) κυβικό παχύ σπονδυλικό σώμα (μαύροι αστερίσκοι), (c) τελευταίος ουραίος σπόνδυλος (v) Το προηγούμενο urostyle (u) έχει τριγωνικό σχήμα με αποκομμένη νευρική σπονδυλική στήλη (βέλος) και απουσία των τριών επουράλιων (λευκός κύκλος), η έλλειψη του πέμπτου υπουρικού και η σύντηξη του τρίτου και τέταρτου υπουραλίου (μαύροι αστερίσκοι), (d) διχαλωτή νευρική ράχη (μαύρο βέλος), (e) αποκομμένη νευρική σπονδυλική στήλη (βέλος). Ο κύκλος υποδηλώνει κανονική υπουρική διάταξη, (f) κανονική υπουρική διάταξη (1η έως 5η υπουρική) και απουσία των τριών επουραλίων (λευκός κύκλος). Ράβδοι κλίμακας (a,b): 100 μm. Ράβδοι κλίμακας (c–f): 50 μm. (Kamel Mhalhel et al., 2020).[249]

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Συμπεράσματα

Μέχρι σήμερα καμία μελέτη δεν έχει αξιολογήσει τις εξωγενείς επιδράσεις της μελατονίνης στη σκελετογένεση και την ανάπτυξη των προνυμφών της τσιπούρας. Στην παρούσα μελέτη, οι τρεις ομάδες προνυμφών (ομάδα μάρτυρα και οι δύο ομάδες που υποβλήθηκαν σε θεραπεία με διαφορετικές συγκεντρώσεις μελατονίνης) τοποθετήθηκαν σε κοινό εκκολαπτήριο σε συνθήκες υπό συνεχές φως για τη διερεύνηση των επιδράσεων της μελατονίνης στις σκελετικές ανωμαλίες και το ρυθμό ανάπτυξης της τσιπούρας. Στους τελεόστεους, η σύνθεση μελατονίνης στην επίφυση και το έντερο έχει καθημερινούς ρυθμούς που προσαρμόζονται στη σχετική φωτοπερίοδο [14-16]. Επιπλέον, η μελατονίνη του αμφιβληστροειδούς δρα ως τοπικός νευροδιαμορφωτής και μεταβολίζεται in situ. Με βάση αυτό, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι όλες οι διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ της ομάδας του μάρτυρα και των άλλων δύο ομάδων προνυμφών που υποβλήθηκαν σε θεραπεία με διαφορετικές συγκεντρώσεις μελατονίνης οφείλονταν μόνο στην εξωγενή μελατονίνη που ενσωματώθηκε στην εμπορική παρασκευή του γαλακτώματος εμπλουτισμού.

Το κύριο εύρημα από αυτή τη μελέτη είναι η ικανότητα της εξωγενούς μελατονίνης να επιδρά στη ανάπτυξη των προνυμφών τσιπούρας και στη συχνότητα εμφάνισης σκελετικών παραμορφώσεων. Έτσι, η εξωγενής μελατονίνη επηρέασε τη φυσιολογική σκελετογένεση αλλά προκάλεσε οστικές παραμορφώσεις. Το σύμπλεγμα του οπίσθιου πτερυγίου και το σύμπλεγμα του ουραίου πτερυγίου ήταν οι δομές που επηρεάστηκαν περισσότερο.

Η εξωγενής μελατονίνη επηρέασε την ανάπτυξη των προνυμφών σε μήκος και βάρος με δοσοεξαρτώμενο τρόπο. Πράγματι, η συγκέντρωση της MEL2 μπορεί να εξασφαλίσει υψηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης από εκείνους των ομάδων MEL1 και του μάρτυρα. Επιπλέον, και οι δύο συγκεντρώσεις μελατονίνης συμβάλλουν σε ένα αρνητικό αλλομετρικό σχέδιο ανάπτυξης, που σημαίνει ότι οι προνύμφες με αυξανόμενο μήκος ήταν οι πιο αδύνατες. Στις 63

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

DPH, η ομάδα του μάρτυρα είχε υψηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης από αυτούς που καταγράφηκαν σε προηγούμενες μελέτες [7,39]. Οι πολλά υποσχόμενες τιμές που καταγράφονται στην ομάδα του μάρτυρα (υψηλή ανάπτυξη, απουσία της λορδοτικής κυφωτικής καμπύλης της σπονδυλικής στήλης, και οι παραμορφώσεις του κατώτερου οφθαλμικού συμπλέγματος), σε σύγκριση με το αποτέλεσμα που έχει ήδη δημοσιευτεί για αυτό το είδος [9,30,33,35], έδειξε ότι οι συνθήκες εκτροφής που ίσχυσαν στα εκκολαπτήρια ήταν βέλτιστες σε σύγκριση με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στις προαναφερθείσες μελέτες.

Η έρευνα σχετικά με τη χρήση της μελατονίνης στην ανάπτυξη των προνυμφών και νυμφών τσιπούρας πρέπει να συνεχιστεί για τη διερεύνηση της καταλληλότερης συγκέντρωσης μελατονίνης, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη αλλομετρική ανάπτυξη και τη μείωση των σκελετικών παραμορφώσεων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

Βιβλιογραφία

[1] Bell, G.J., Sargent, J.R. (2003). Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities. Aquaculture, 218:491-499.

[2] Fernández-Palacios, H., Izquierdo, M.S., Robaina, L., Valencia, A., Salhi, M., Vergara, J.M. (1995). Effect of n−3 HUFA level in broodstock diets on egg quality of gilthead sea bream (Sparus aurata L.). Aquaculture, 132, 325-337.

[3] Cejas, J.R., Almansa, E., Villamandos, J.E., Badia, P.B., Bolanos, A., Lorenzo, A. (2003). Lipid and fatty acid composition of wild fish and ovaries and eggs from captive fish of white sea bream (Diplodus sargus). Aquaculture 216, 299-313.

[4] Hamre, K., Srivastava, A., Rønnestad, I., Mangor-Jensen, A. and Stoss, J. (2008a). Several micronutrients in the rotifer Brachionus plicatilis may be limiting for growth, survival and normal development of cod larvae. Aquaculture Nutrition, 14, 51-60.

[5] Bruce, M., Oyen, F., Bell, G., Asturiano, J.F., Farndale, B., Carrillo, M., Zanuy, S., Ramos, J., Bromage, N. (1999). Development of broodstock diets for the European Sea Bass (Dicentrarchus labrax) with special emphasis on the importance of n−3 and n−6 highly unsaturated fatty acid to reproductive performance. Aquaculture, 177:85-97.

[6] Cahu, C., Zambonino Infante, J.L., Quazuguel, P. & Le Gall, M.M. (1999). Protein hydrolysate vs. fish meal in compound diets for 10-day old sea bass (Dicentrarchus labrax) larvae. Aquaculture, 171, 109-119.

[7] Brüning A, Kloas W, Preuer T, Hölker F. Influence of artificially induced light pollution on the hormone system of two common fish species, perch and roach, in a rural habitat. Conserv Physiol. (2018) 6:1–12. doi: 10.1093/conphys/coy016.

[8] Deane EE, Woo NYS. Modulation of fish growth hormone levels by salinity, temperature, pollutants and aquaculture related stress: a review. Rev Fish Biol Fish. (2009) 19:97–120. doi: 10.1007/s11160-008-9091-0.

[9] Klein DC, Moore RY. Pineal N-acetyltransferase and hydroxyindoleO-methyltransferase: control by the retinohypothalamic tract and the suprachiasmatic nucleus. Brain Res. (1979) 174:245–62. doi: 10.1016/0006-8993(79)90848-5.

[10] Meany MJ, Szyf M. Environmental programming of stress responses through DNA methylation: life at the interface between a dynamic environment and a fixed ge-nome. Dialogues Clin Neurosci. (2005) 7:103–23.

[11] Takeuchi Y, Imamura S, Sawada Y, Hur S-P, Takemura A. Effects of dif-ferent colors of light on melatonin suppression and expression analysis of Aanat1 and melanopsin in the eye of a tropical damselfish. Gen Comp Endocrinol. (2014) 204:158–65. doi: 10.1016/j.ygcen.2014.05.015.

[12] López-Patiño MA, Alonso-Gómez AL, Guijarro A, Isorna E, Delgado MJ. Melatonin receptors in brain areas and ocular tissues of the teleost Tinca tinca: characterization and effect of temperature. Gen Comp Endocrinol. (2008) 155:847–56. doi: 10.1016/j.ygcen.2007.11.011.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

[13] Falcon J, Guerlotte JF, Voisin P, Collin JP. Rhythmic melatonin biosynthesis in a photoreceptive pineal organ: a study in the pike. Neuroendocrinology. (1987) 45:479–86. doi: 10.1159/000124778.

[14] Di Rosa V, Frigato E, López-Olmeda JF, Sánchez-Vázquez FJ, Bertolucci C. The light wavelength affects the ontogeny of clock gene expression and activity rhythms in zebrafish larvae. PLOS ONE. (2015) 10:e0132235. doi: 10.1371/journal.pone.0132235.

[15] Cahill GM. Circadian regulation of melatonin production in cultured zebrafish pineal and retina. Brain Res. (1996) 708:177–81. doi: 10.1016/0006-8993(95)01365-2.

[16] Ziv L, Levkovitz S, Toyama R, Falcón J, Gothilf Y. Functional development of the zebrafish pineal gland: light-induced expression of period2 is required for onset of the circadian clock. J Neuroendocrinol. (2005) 17:314–20. doi: 10.1111/j.1365-2826.2005.01315.x.

[17] Hamre, K., Mollan, T.A., Sæle, Ø., Erstad, B. (2008b). Rotifers enriched with iodine and selenium increase survival in Atlantic cod (Gadus morhua) larvae. Aquaculture, 284, 190-195.

[18] Imsland, A. K., Foss, A., Koedijk, R. M., Folkvord, A., Stefansson, S. O., Jonassen, T. M. (2006). Short- and long-term differences in growth, feed conversion efficiency and deformities in juvenile Atlantic cod (Gadus morhua) startfed on rotifers or zooplankton. Aquaculture Research, 37, 1015-1027.

[19] Fernández, I.; Hontoria, F.; Ortiz-Delgado, J.B.; Kotzamanis, Y.; Estévez, A.; Zambonino-Infante, J.L.; Gisbert, E. Larval performance and skeletal deformities in farmed gilthead sea bream (Sparus aurata) fed with graded levels of Vitamin A enriched rotifers (Brachionus plicatilis). Aquaculture 2008, 283, 102–115.

[20] Izquierdo, M.S.; Scolamacchia, M.; Betancor, M.; Roo, J.; Caballero, M.J.; Terova, G.; Witten, P.E. Effects of dietary DHA and α-tocopherol on bone development, early mineralisation and oxidative stress in Sparus aurata (Linnaeus, 1758) larvae. Br. J. Nutr. 2013, 109, 1796–1805.

[21] N. Ma, J. Zhang, R.J. Reiter, X. Ma, Melatonin mediates mucosal immune cells, microbial metabolism, and rhythm crosstalk: a therapeutic target to reduce intestinal inflammation, Med. Res. Rev. 40 (2) (2020) 606–632,

[22] Sánchez-Vázquez, F.J.; López-Olmeda, J.F.; Vera, L.M.; Migaud, H.; López-Patiño, M.A.; Míguez, J.M. Environmental Cycles, Melatonin, and Circadian Control of Stress Response in Fish. Front. Endocrinol. 2019, 10, 279.

[23] Prestinicola, L.; Boglione, C.; Makridis, P.; Spanò, A.; Rimatori, V.; Palamara, E.; Scardi, M.; Cataudella, S. Environmental conditioning of skeletal anomalies typology and frequency in gilthead seabream (Sparus aurata L., 1758) juveniles. PLoS ONE 2013, 8, e55736.

[24] Villamizar, N.; Blanco-Vives, B.; Migaud, H.; Davie, A.; Carboni, S.; Sánchez-Vázquez, F.J. Effects of light during early larval development of some aquacultured teleosts: A review. Aquaculture 2011, 315, 86–94.

[25] Velarde, E.; Cerdá-Reverter, J.M.; Alonso-Gómez, A.L.; Sánchez, E.; Isorna, E.; Delgado, M.J. Melatoninsynthesizing enzymes in pineal, retina, liver, and gut of the goldfish (Carassius): mRNA expression pattern and regulation of daily rhythms by lighting conditions. Chronobiol. Int. 2010, 27, 1178–1201.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

[26] Georgiou, S.; Makridis, P.; Dimopoulos, D.; Power, D.M.; Mamuris, Z.; Moutou, K.A. Myosin light chain 2 isoforms in gilthead sea bream (Sparus aurata L.): Molecular growth markers at early stages. Aquaculture 2014, 432, 434–442.

[27] Boulineau, C. F. 1974. Ponte naturelle et ponte induite par injektions hormonales chez Dicentrarchus labrax en Captiuite Collog. Aquaculture, 151–156.

[28] Bromage, N.R., and R. Roberts. 1995 Broodstock Management and Egg and Larval Quality. Blackwell Science, USA, 424 pp.

[29] Jennings, S., M., and G. Pawson. 1991. The Development of sea bass, Dicentrarchus labrax, eggs in relation to temperature. Journal of Marine Biology, 71:107-116.

[30] Kamacı, H.O.; Saka, S.; Fırat, K.; The Cleavage and Embryonic Phase of Gilthead Sea Bream (Sparus aurata Linnaeus, 1758) Eggs. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences 2005, 1-2:205-209.

[31] Uçal, O. 1983. Embriyonic development of gilthead sea bream (Sparus aurata) eggs. Journal of the Faculty of Science. Series B: 11:87-88.

[32] Camus, P., and C. Koutsikopoulos. 1984. Incubation experimentale et developpement embryonnaire de la daurade royale, Sparus aurata, a differant temperatures. Aquaculture, 42:117-128.

[33] Polo, A., M. Yufera, and E. Pascual. 1990. Effects of temperature on egg and larval development of Sparus aurata L. European Aquaculture Society Special Publication 1989, Bredene, Belgium; No:10, pp. 207-208.

[34] Martínez-Llorens S, Baeza-Ariño R, Nogales-Mérida S, Cerdá MJ, Tomás-Vidal A (2012) Carob seed germ meal as a partial substitute in gilthead sea bream (Sparus aurata) diets: amino acid retention, digestibility, gut and liver histology. Aquaculture. 338–341:124–133.

[35] Martin-Perez M, Fernandez-Borras J, Ibarz A, Felip O, Fontanillas R, Gutierrez J, Blasco J (2013) Naturally, occurring stable isotopes reflect changes in protein 618 turnover and growth in gilthead sea bream (Sparus aurata) juveniles under different dietary protein levels. J Agric Food Chem 61:8924–8933.

[36] Asaikkutti A, Bhavan P, Vimala K (2016b) (b). Effect of different levels dietary folic acid on growth performance, muscle composition, antioxidant and enzyme activity of freshwater prawn, Macrobrachium malcolmsonii. Aquaculture. 334: 229–236.

[37] Sesay DF, Habte-Tsion HM, Zhou QL, Ren MC, Xie J, Liu B, Pan LK (2016). Effects of dietary folic acid on the growth, digestive enzyme activity, immune response and antioxidant enzyme activity of blunt snout bream (Megalobrama amblycephala) fingerling. Aquaculture. 452:142–150.

[38] Ying YYB, Dai-wen C, Gang T, Xiang-bing M, Ping Z, Jing-Bo L (2013). Effects of dietary folic acid supplementation on growth performance and hepatic protein metabolism in early-weaned intrauterine growth retardation piglets. Intensiv Agric 12:862–868.

[39] Kim BH, Hur SP, Hur SW, Takeuchi Y, Takemura A, Lee Y (2017) Circadian rhythm of melatonin secretion and growthrelated gene expression in the tiger puffer Takifugu rubripes. Can J Fish Aquat Sci 20:17.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

[40] Falcón, J., Migaud, H., Muñoz-Cueto, JA., Carrillo, M., 2010. Current knowledge on the melatonin system in teleost fish. General and comparative Endocrinology.165, 469–482.

[41] Piccinetti CC, Migliarini B, Olivotto I, Coletti G, Amici A, Carnevali O (2010) Appetite regulation: the central role of melatonin in Danio rerio. Horm Behav 58:780–785.

[42] Conde-Sieira, M.; Muñoz, J.L.P.; López-Patiño, M.A.; Gesto, M.; Soengas, J.L.; Míguez, J.M. Oral administration of melatonin counteracts several of the effects of chronic stress in rainbow trout. Domest. Anim. Endocrinol. 2014, 46, 26–36. [CrossRef] [PubMed]

[43] Mondal P, Hasan KN, Kumar Pal P, Maitra SK (2017). Influences of exogenous melatonin on the oocyte growth and oxidative status of ovary during different reproductive phases of an annual cycle in carp Catla catla. Theriogenology 87:349–359.

[44] Nawaz MA, Huang Y, Bie Z et al (2016). Melatonin: current status and future perspectives in plant science. Front Plant Sci 6:12–30.

[45] Gesto M, Álvarez-Otero R, Conde-Sieira M, Otero-Rodiño C, Usandizaga S, Soengas JL, Míguez JM, López-Patiño MA (2016). A simple melatonin treatment protocol attenuates the response to acute stress in the sole Solea senegalensis. Aquaculture 452:272–282.

[46] Ebaid H, Bashandy SA, Alhazza IM, Rady A, EI-Shehry S (2013) Folic acid and melatonin ameliorate carbon tetrachlorideinduced hepatic injury, oxidative stress and inflammation in rats. Appl Physiol Nutr Metab 10:20–31.

[47] Taylor JF, Migaud H, Porter MJR, Bromage NR (2005) Photoperiod influences growth 1137 rate and plasma insulin-like growth factor-I levels in juvenile rainbow trout, 1138 Oncorhynchus mykiss. Gen Comp Endocrinol 142: 169–185.

[48] Alvarado MV, Carrillo M, Felip A (2015) Melatonin-induced changes in kiss/gnrh gene expression patterns in the brain of male sea bass during spermatogenesis. Comparative biochemistry and physiology. Part A 185:69–79.

[49] Rubio, V.C. Sánchez-Vázquez, J., Madrid, J.A., 2004. Oral administration of melatonin reduces food intake and modifies macronutrient selection in European sea bass (Dicentrarchus labrax, L.). J. Pineal Res. 37:42–47.

[50] Azpeleta, C., Martínez-Álvarez, RM., Delgado, MJ., Isorna, E., De Pedro, N., 2010. Melatonin reduces locomotor activity and circulating cortisol in goldfish. Hormones and Behaviour.57, 323-329.

[51] Azizi S, Nematollahi MA, Amiri BM, Vélez EJ, Salmerón C, Chan SJ, Navarro I, Capilla E, Gutierréz J (2015) IGF-I and IGF-II effects on local IGF system and signaling pathways in gilthead sea bream (Sparus aurata L.) cultured myocytes. Gen Comp Endocrinol.

[52] Valaroutsou E, Voudanta E, Mente E, Berillis P (2013) A microscopy and image analysis study of the liver and exocrine pancreas of sea bream Sparus aurata fed different diets. Int J Zool Res 3:54–58.

[53] Datta SN, Kaur VI, Dhawan A, Jassal G (2013) Estimation of length-weight relationship and condition factor of spotted snakehead Channa punctata (Bloch) under different feeding regimes. SpringerPlus 2:436.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

[54] Biswas S, Chakraborty S, Ghosh I, Chandra S (2018) Saturation Flow Model for Signalized Intersection under Mixed Traffic Condition. In: Saturation flow model for signalized intersection under mixed traffic condition. Journal of the Transportation Research Board, Transportation Research Record.

[55] Lizama M, De Los AP, Ambroso AM (2002) Condition factor in nine species of fish of the Characidae family in the upper Paraná river floodplain, Brazil. Rev Bras Biol 62(1):113–124.

[56] Attal M, Attou F, Baha M, Arab A (2017) Impact of abiotic factors on some biological indices of Cyprinus carpio (L., 1758) in Ghrib dam lake, (Algeria). Afr J Ecol 92:16308.

[57] Akbulut KG, Gonul B, Akbulut H (2009) The role of melatonin on gastric mucosal cell proliferation and telomerase activity in ageing. J Pineal Res 47:308–312.

[58] Ravi R, Bedi GC, Engstrom LW, Zeng Q, Mookerjee B, Gelinas C, Fuchs EJ, Bedi A (2001) Regulation of death receptor expression and TRAIL/Apo2L-induced apoptosis by NFKB. Nat Cell Biol 3:409–416.

[59] Dröge W (2002) Free radicals in the physiological control of cell function. Physiol Rev 82:47–95.

[60] Lopez–Olmeda JF, Madrid JA, Sanchez–Vazquez FJ (2006) Melatonin effects on food intake and activity rhythms in two fish species with different activity patterns: diurnal (goldfish) and nocturnal (tench). Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol 144(2):180–187.

[61] Crivello NA, Blusztajn JLP, Joseph JA, Shukitt-Hale B, Smith DE (2009) Short-term nutritional folate deficiency in rats has a greater effect on choline and acetylcholine metabolism in the peripheral nervous system than in the brain, and this effect escalates with age. Nutr Res 30(10):722–730.

[62] Petrovic M, Zivkovic S, Velinovic M, Krstic D (2009) Folic acid effects on the acyl cholinesterase activities in different tissues of a rat. Serbian Journal of Experimental and Clinical Research 10(3):85–88.

[63] Tao YF, Giang J, Bao JW, Chen DJ, Yin GJ, Xu P, Zhy HJ (2018) Changes in physiological parameters, lipid metabolism, and expression of microRNAs in genetically improved farmed Tilapia (Oreochromisniloticus) with fatty liver induced by a high-fat diet. Diet.Front.Physiology. 9:1521.

[64] Hatzis G, Ziakas P, Kavantzas N, Triantafyllou A, Sigalas P, Andreadou I, Ioannidis K, Chatzis S, Filis K, Papalampros A, Sigala F (2013) Melatonin attenuates high fat diet-induced fatty liver disease in rats. World J Hepatol 5(4):160–169.

[65] L.C. Manchester, A. Coto-Montes, J.A. Boga, L.P. Andersen, Z. Zhou, A. Galano, J. Vriend, D.X. Tan, R.J. Reiter, Melatonin: an ancient molecule that makes oxygen metabolically tolerable, J. Pineal Res. 59 (4) (2015) 403–419.

[66] G. Ji, W. Zhou, X. Li, J. Du, X. Li, H. Hao, Melatonin inhibits proliferation and viability and promotes apoptosis in colorectal cancer cells via upregulation of the microRNA-34a/449a cluster, Mol. Med. Rep. 23 (3) (2021) 187.

[67] W.M. Al-Ghoul, M.D. Herman, M.L. Dubocovich, Melatonin receptor subtype expression in human cerebellum, Neuroreport 9 (18) (1998) 4063–4068.

[68] B. Poeggeler, R.J. Reiter, D.X. Tan, L.D. Chen, L.C. Manchester, Melatonin, hydroxyl radical-mediated oxidative damage, and aging: a hypothesis, J. Pineal Res. 14 (4) (1993) 151–168.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

[69] D.X. Tan, L.C. Manchester, M.P. Terron, L.J. Flores, R.J. Reiter, One molecule, many derivatives: a never-ending interaction of melatonin with reactive oxygen and nitrogen species? J. Pineal Res. 42 (1) (2007) 28–42.

[70] L. Tesoriere, G. Avellone, L. Ceraulo, D. D'Arpa, M. Allegra, M.A. Livrea, Oxidation of melatonin by oxoferryl hemoglobin: a mechanistic study, Free Radic. Res. 35 (6) (2001) 633–642.

[71] H. Zhang, G.L. Squadrito, R. Uppu, W.A. Pryor, Reaction of peroxynitrite with melatonin: a mechanistic study, Chem. Res. Z7Toxicol. 12 (6) (1999) 526–534.

[72] M. Valko, D. Leibfritz, J. Moncol, M.T. Cronin, M. Mazur, J. Telser, Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease, Int. J. Biochem. Cell Biol. 39 (1) (2007) 44–84.

[73] J.A. Barritt, C.A. Brenner, J. Cohen, D.W. Matt, Mitochondrial DNA rearrangements in human oocytes and embryos, Mol. Hum. Reprod. 5 (10) (1999) 927–933.

[74] Y. Cao, R. Li, W. Li, H. Liu, Y. Cai, Melatonin attenuates peroxynitrite-induced meiosis dysfunction in porcine oocytes, Reprod. Sci. (Thousand Oaks, Calif.) 28 (5) (2021) 1281–1289.

[75] R.S. Barberino, V.G. Menezes, A. Ribeiro, R.C. Palheta, X. Jiang Jr., J. Smitz, M. Matos, Melatonin protects against cisplatin-induced ovarian damage in mice via the MT1 receptor and antioxidant activity, Biol. Reprod. 96 (6) (2017) 1244–1255.

[76] J. Qu, M. Sun, X. Wang, X. Song, H. He, Y. Huan, Melatonin enhances the development of porcine cloned embryos by improving DNA methylation reprogramming, Cell. reprogramming 22 (3) (2020) 156–166.

[77] Y.J. Niu, W. Zhou, Z.W. Nie, K.T. Shin, X.S. Cui, Melatonin enhances mitochondrial biogenesis and protects against rotenone-induced mitochondrial deficiency in early porcine embryos, J. Pineal Res. 68 (2) (2020) 12627.

[78] Vatine G, Vallone D, Gothilf Y, Foulkes NS. It's time to swim! Zebrafish and the circadian clock. FEBS Lett. (2011) 585:1485–94.

[79] Falcón J, Migaud H, Mu-oz-Cueto JA, Carrillo M. Current knowledge on the melatonin system in teleost fish. Gen Comp Endocrinol. (2010) 165:469–82.

[80] Di Rosa V, Frigato E, López-Olmeda JF, Sánchez-Vázquez FJ, Bertolucci C. The light wavelength affects the ontogeny of clock gene expression and activity rhythms in zebrafish larvae. PLOS ONE. (2015) 10:e0132235.

[81] Falcón J. The photosensory function of the pineal organ of the pike (Esox lucius L.) correlation between structure and function. J Comp Physiol. (1981) 144:127–37.

[82] Velarde E, Cerdá-Reverter JM, Alonso-Gómez AL, Sánchez E, Isorna E, Delgado MJ. Melatonin-synthesizing enzymes in pineal, retina, liver, and gut of the goldfish (Carassius): mRNA expression pattern and regulation of daily rhythms by lighting conditions. Chronobiology Int. (2010) 27:1178–201.

[83] Klein DC. Arylalkylamine N-Acetyltransferase: "the Timezyme". J Biol Chem. (2007) 282:4233–7.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

[84] Ziv L, Levkovitz S, Toyama R, Falcón J, Gothilf Y. Functional development of the zebrafish pineal gland: light-induced expression of period2 is required for onset of the circadian clock. J Neuroendocrinol. (2005) 17:314–20.

[85] Ziv L, Muto A, Schoonheim PJ, Meijsing SH, Strasser D, Ingraham HA, et al. An affective disorder in zebrafish with mutation of the glucocorticoid receptor. Mol Psychiatr. (2013) 18:681–91.

[86] Montoya A, López-Olmeda JF, Garayzar ABS, Sánchez-Vázquez FJ. Synchronization of daily rhythms of locomotor activity and plasma glucose, cortisol and thyroid hormones to feeding in Gilthead seabream (Sparus aurata) under a light-dark cycle. Physiol Behav. (2010) 101:101–7.

[87] Chang HC, Guarente L. SIRT1 mediates central circadian control in the SCN by a mechanism that decays with aging. Cell. (2013) 153:1448–60.

[88] Velasco C, Moreiras G, Conde-Sieira M, Leao JM, Míguez JM, Soengas JL. Ceramide counteracts the effects of ghrelin on the metabolic control of food intake in rainbow trout. J Exp Biol. (2016) 220:2563–76.

[89] López-Patiño MA, Rodríguez-Illamola A, Gesto M, Soengas JL, Míguez JM. Changes in plasma melatonin levels and pineal organ melatonin synthesis following acclimation of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) to different water salinities. J Exp Biol. (2011) 214:928–36.

[90] Munro AD. Effects of melatonin, serotonin, and naloxone on aggression in isolated cichlid fish (Aequidens pulcher). J Pineal Res. (1986) 3:257–62.

[91] Larson ET, Winberg S, Mayer I, Lepage O, Summers CH, Øverli Ø. Social stress affects circulating melatonin levels in rainbow trout. Gen Comp Endocrinol. (2004) 136:322–7.

[92] Gesto M, Álvarez-Otero R, Conde-Sieira M, Otero-Rodi-o C, Usandizaga S, Soengas JL, et al. A simple melatonin treatment protocol attenuates the response to acute stress in the sole Solea senegalensis. Aquaculture. (2016) 452:272–82.

[93] Touitou Y, Bogdan A, Auzéby A, Touitou C. Activity of melatonin and other pineal indoles on the in vitro synthesis of cortisol, cortisone, and adrenal androgens. J Pineal Res. (1989) 6:341–50.

[94] Volpato GL, Duarte CRA, Luchiari AC. Environmental color affects Nile tilapia reproduction. Braz J Med Biol Res. (2004) 37:479–83.

[95] Kanazawa A. Effects of docosahexaenoic acid and phospholipids on stress tolerance of fish. Aquaculture. (1997) 155:129–34.

[96] Spieler RE, Noeske TA, Devlaming V, Meier AH. Effects of thermocycles on body weight gain and gonadal growth in the goldfish, Carassius auratus. Trans Am Fish Soc. (1977) 106:440–4.

[97] Schaefer J, Ryan A. Developmental plasticity in the thermal tolerance of zebrafish Danio rerio. J Fish Biol. (2006) 69:722–34.

[98] Lankford SE, Adams TE, Cech JJ. Time of day and water temperature modify the physiological stress response in green sturgeon, Acipenser medirostris. Comp Biochem Physiol A. (2003) 135:291–302.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

[99] Kynard B, Parker E, Parker T. Behavior of early life intervals of Klamath River green sturgeon, Acipenser medirostris, with a note on body color. Environ Biol Fishes. (2005) 72:85–97.

[100] Manuel R, Boerrigter JGJ, Cloosterman M, Gorissen M, Flik G, van den Bos R, et al. Effects of acute stress on aggression and the cortisol re-sponse in the African sharptooth catfish Clarias gariepinus: differences between day and night. J Fish Biol. (2016) 88:2175–87.

[101] Chalmers L, Vera LM, Taylor JF, Adams A, Migaud H. Comparative ploidy response to experimental hydrogen peroxide exposure in Atlantic salmon (Salmo salar). Fish Shellfish Immunol. (2018) 81:354–67.

[102] Carmona-Antoñanzas G, Santi M, Migaud H, Vera LM. Light- and clockcontrol of genes involved in detoxification. Chronobiol Int. (2017) 34:1026– 41.

[103] Vera LM, Bello C, Paredes JF, Carmona-Antoñanzas G, Sánchez-Vázquez FJ. Ethanol toxicity differs depending on the time of day. PLoS ONE. (2018) 13:e0190406.

[104] Stefansson SO, Nilsen TO, Ebbesson LOE, Wargelius A, Madsen SS, Björnsson B, et al. Molecular mechanisms of continuous light inhibition of Atlantic salmon parr-smolt transformation. Aquaculture. (2007) 273:235–45.

[105] Davie A, Porter M, Bromage N, Migaud H. The role of seasonally altering photoperiod in regulating physiology in Atlantic cod (Gadus morhua). Part I. Sexual maturation. Can J Fish Aquatic Sci. (2007) 64:84–97.

[106] Migaud H, Cowan M, Taylor J, Ferguson HW. The effect of spectral composition and light intensity on melatonin, stress and retinal damage in post-smolt Atlantic salmon, Salmo salar. Aquaculture. (2007) 270:390–404.

[107] Rajaram K, Harding RL, Bailey T, Patton JG, Hyde DR. Dynamic miRNA expression patterns during retinal regeneration in zebrafish: reduced dicer or miRNA expression suppresses proliferation of Müller Glia-derived neuronal progenitor cells. Dev Dynam. (2014) 243:1591–605.

[108] Del Valle Bessone C, Diaz Fajreldines H, Diaz de Barboza GE, Tolosa de Talamoni NG, Allemandi DA, Carpentieri AR, et al. Protective role of melatonin on retinal ganglionar cell: in vitro an in vivo evidences. Life Sci. (2019) 218:233–40.

[109] Iigo M, Furukawa K, Nishi G, Tabata M, Aida K. Ocular melatonin rhythms in teleost fish. Brain Behav Evol. (2007) 69:114–21.

[110] Falcon J. Cellular circadian clocks in the pineal. Prog Neurobiol 1999; 58: 121–162.

[111] Coon SL, Be´gay V, Deurloo D, Falco´n J, Klein DC. Two Arylalkylamine N-acetyltransferase genes mediate melatonin synthesis in fish. J Biol Chem 1999; 274: 9076–9082.

[112] Falcon J, Bolliet V, Collin JP. Partial characterization of serotonin Nacetyltransferases from northern pike (Esox lucius, L.) pineal organ and retina. Effects of temperature. Pflu¨gers Arch 1996; 342: 386–396.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

[113] Forsell J, Holmqvist B, Ekstro¨m P. Molecular identification and developmental expression of UV and green opsin mRNAs in the pineal organ of the Atlantic halibut. Brain Res Dev Brain Res 2002; 136: 51–62.

[114] Benyassi A, Schwartz C, Coon SL, Klein DC, Falco´n J. Melatonin synthesis: arylalkylamine N-acetyltransferases in trout retina and pineal organ are different. Neuroreport 2000; 11: 255–258.

[115] Falcon J, Galarneau KM, Weller JL, Ron B, Chen G, Coon SL, Klein DC. Regulation of arylalkylamine N-acetyltransferase-2 (AANAT2, EC 2.3.1.87) in the fish pineal organ: evidence for a role of proteasomal proteolysis. Endocrinology 2001; 142: 1804–1813.

[116] Falcon J, Collin JP. Pineal-retinal relationships: rhythmic biosynthesis and immunocytochemical localization of melatonin in the retina of the pike (Esox lucius, L.). Cell Tissue Res 1991; 265: 601–609.

[117] Hill C. Development of the epiphysis in Coregonus albus. J Morph 1891; 5: 503–510.

[118] Ekstro¨m P, Meissl H. The pineal organ of teleost fishes. Rev Fish Biol Fish 1997; 7: 199–284.

[119] Falcon J, Besseau L, Sauzet S et al. Melatonin effects on the hypothalamo-pituitary axis in fish. Trends Endocrinol Metab 2007; 18:81–88.

[120] Appelbaum L, Vallone D, Anzulovich A et al. Zebrafish arylalkylamine-N-acetyltransferase genes – targets for regulation of the circadian clock. J Mol Endocrinol 2006; 36:337–347.

[121] Venegas C, Garcia JA, Doerrier C et al. Analysis of the daily changes of melatonin receptors in the rat liver. J Pineal Res 2013; 54:313–321.

[122] Cahill GM, Hurd MW, Batchelor MM. Circadian rhythmicity in the locomotor activity of larval zebrafish. NeuroReport 1998; 9:3445–3449.

[123] Kazimi N, Cahill GM. Development of a circadian melatonin rhythm in embryonic zebrafish. Brain Res Dev Brain Res 1999; 117:47–52.

[124] Zilberman-Peled B, Appelbaum L, Vallone D et al. Transcriptional regulation of arylalkylamine-N-acetyltransferase-2 gene in the pineal gland of the gilthead seabream. J Neuroendocrinol 2007; 19:46–53.

[125] Ziv L, Muto A, Schoonheim PJ, Meijsing SH, Strasser D, Ingraham HA, et al. An affective disorder in zebrafish with mutation of the glucocorticoid receptor. Mol Psychiatr. (2013) 18:681–91.

[126] Zhdanova IV, Wang SY, Leclair OU et al. Melatonin promotes sleep-like state in zebrafish. Brain Res 2001; 903:263–268.

[127] Danilova N, Krupnik VE, Sugden D et al. Melatonin stimulates cell proliferation in zebrafish embryo and accelerates its development. FASEB J 2004; 18:751–753.

[128] Kaneko M, Hernandez-Borsetti N, Cahill GM. Diversity of zebrafish peripheral oscillators revealed by luciferase reporting. Proc Natl Acad Sci USA 2006; 103:14614–14619.

[129] Burgess HA, Granato M. Modulation of locomotor activity in larval zebrafish during light adaptation. J Exp Biol 2007; 210:2526–2539.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

[130] Reppert SM, Weaver DR, Cassone VM et al. Melatonin receptors are for the birds: molecular analysis of two receptor subtypes differentially expressed in chick brain. Neuron 1995; 15:1003–1015.

[131] Rawashdeh O, de Borsetti NH, Roman G et al. Melatonin suppresses nighttime memory formation in zebrafish. Science 2007; 318:1144–1146.

[132] Piccinetti CC, Migliarini B, Olivotto I et al. Appetite regulation: the central role of melatonin in Danio rerio. Horm Behav 2010; 58:780–785.

[133] Pinillos ML, de Pedro N, Alonso-Gomez AL et al. Food intake inhibition by melatonin in goldfish (Carassius auratus). Physiol Behav 2001; 72:629–634.

[134] Mustonen AM, Nieminen P, Hyvarinen H et al. Exogenous melatonin elevates the plasma leptin and thyroxine concentrations of the mink (Mustela vison). Z Naturforsch C 2000; 55:806–813.

[135] Carnevali O, Gioacchini G, Maradonna F et al. Melatonin induces follicle maturation in Danio rerio. PLoS One 2011; 6:e19978.

[136] Giorgini E, Conti C, Ferraris P et al. Effects of Lactobacillus rhamnosus on zebrafish oocyte maturation: an FTIR imaging and biochemical analysis. Anal Bioanal Chem 2010; 398:3063–3072.

[137] Howe K, Clark MD, Torroja CF et al. The zebrafish reference genome sequence and its relationship to the human genome. Nature 2013; 496:498–503.

[138] Laird AS, Robberecht W. Modeling neurodegenerative diseases in zebrafish embryos. Methods Mol Biol 2011; 793:167–184.

[139] Noche RR, Lu PN, Goldstein-Kral L et al. Circadian rhythms in the pineal organ persist in zebrafish larvae that lack ventral brain. BMC Neurosci 2011; 12:7.

[140] Wang J, Liu C, Ma F et al. Circadian clock mediates light/ dark preference in zebrafish (Danio Rerio). Zebrafish 2014; 11:115–121.

[141] Dekens MP, Santoriello C, Vallone D et al. Light regulates the cell cycle in zebrafish. Curr Biol 2003; 13:2051– 2057.

[142] Ben-Moshe Z, Alon S, Mracek P et al. The light-induced transcriptome of the zebrafish pineal gland reveals complex regulation of the circadian clockwork by light. Nucleic Acids Res 2014; 42:3750–3767.

[143] Vatine G, Vallone D, Gothilf Y et al. It's time to swim! Zebrafish and the circadian clock. FEBS Lett 2011; 585:1485–1494.

[144] Ortiz-Delgado JB, Fernandez I, Sarasquete C, Gisbert E. Normal and histopathological organization of the opercular bone and vertebrae in gilthead sea bream Sparus aurata. Aquat. Biol. 2014, 21, 67–84.

[145] Galeotti M, Beraldo P, de Dominis S, D'Angelo L, Ballestrazzi R, Musetti R, Pizzolito S, Pinosa M. A preliminary histological and ultrastructural study of opercular anomalies in gilthead sea bream larvae (Sparus aurata). Fish Physiol. Biochem. 2000, 22, 151–157.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

[146] Faustino M, Power DM. Osteologic development of the viscerocranial skeleton in sea bream: Alternative ossification strategies in teleost fish. J. Fish Biol. 2001, 58, 537–572.

[147] Saka S, Çoban D, Kamacı HO, Süzer C, Fırat K. Early development of cephalic skeleton in hatchery-reared gilthead seabream, Sparus aurata. Turk. J. Fish. Aquat. Sci. 2008, 8, 341–345.

[148] Can E. Effects of Intensive and Semi-Intensive Rearing on Growth, Survival, and V-Shaped (Lordotic) Skeletal Deformities in Juvenile Gilthead Sea Bream (Sparus aurata). Isr. J. Aquac. Bamidgeh 2013, 65, 1–7, IJA_65.2013.798.

[149] Abbink W, Kulczykowska E, Kalamarz H, Guerreiro PM, Flik G. Melatonin synthesis under calcium constraint in gilthead sea bream (Sparus auratus L.). Gen. Comp. Endocrinol. 2008, 155, 94–100.

[150] Kvetnoy IM, Ingel IE, Kvetnaia TV, Malinovskaya NK, Rapoport SI, Raikhlin NT, Trofimov AV, Yuzhakov VV (2002). Gastrointestinal Melatonin: cellular identification and biological role. Neuroendocrinology Letters 23, 121–132.

[151] Lamosova D, Zeman M, Jurani M. (1997). In ´ fluence of melatonin on chick skeletal muscle cell growth. Comparative Biochemistry and Physiology C 118, 375–379.

[152] Gothilf, Y., Coon, S. L., Toyama, R., Chitnis, A., Namboodiri, M. A. & Klein, D. C. (1999). Zebrafish serotonin N-acetyltransferase-2: marker for development of pineal photoreceptors and circadian clock function. Endocrinology 140, 4895–4903.

[153] Roberts, D., Okimoto, D. K., Parsons, C., Straume, M. & Stetson, M. H. (2003). Development of rhythmic melatonin secretion from the pineal gland of embryonic mummichog (Fundulus heteroclitus). Journal of Experimental Zoology A 296, 56–62.

[154] Leatherland JF. (1994). Reflection on the thyroidology of fishes: from molecules to humankind. Guelph Ichthyology Reviews 2, 1–67.

[155] Yamano K. (2005). The role of thyroid hormone in fish development with reference to aquaculture. Japan Agricultural Research Quarterly 3, 161–168.

[156] Dunlap JC, Loros JJ. Making time: conservation of biological clocks from fungi to animals. Microbiol Spectr. (2017) 5:515–34. doi: 10.1128/microbiolspec.FUNK-0039-2016

[157] Vatine G, Vallone D, Gothilf Y, Foulkes NS. It's time to swim! Zebrafish and the circadian clock. FEBS Lett. (2011) 585:1485–94. doi: 10.1016/j.febslet.2011.04.007

[158] Zhdanova IV, Reebs SG. Circadian rhythms in fish. Behav Physiol Fish. (2006) 24:197–238. doi: 10.1016/S1546-5098(05)24006-2

[159] Falcón J, Migaud H, Mu-oz-Cueto JA, Carrillo M. Current knowledge on the melatonin system in teleost fish. Gen Comp Endocrinol. (2010) 165:469–82. doi: 10.1016/j.ygcen.2009.04.026

[160] Takeuchi Y, Imamura S, Sawada Y, Hur S-P, Takemura A. Effects of dif-ferent colors of light on melatonin suppression and expression analysis of Aanat1 and melanopsin in the eye of a tropical damselfish. Gen Comp Endocrinol. (2014) 204:158–65. doi: 10.1016/j.ygcen.2014.05.015

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

[161] López-Olmeda JF, Sánchez-Vázquez FJ. Zebrafish temperature selection and synchronization of locomotor activity circadian rhythm to ahemeral cycles of light and temperature. Chronobiol Int. (2009) 26:200–18. doi: 10.1080/07420520902765928

[162] Dodt E. Photosensitivity of the pineal organ in the teleost, Salmo irideus (Gib-bons). Experientia. (1963) 19:642–3. doi: 10.1007/BF02151295

[163] Omura Y, Oguri M. Histological studies on the pineal organ of 15 species of teleosts. Bull Jpn Soc Scient Fish. (1969) 35:991–1000. doi: 10.2331/suisan.35.991

[164] Falcón J. The photosensory function of the pineal organ of the pike (Esox lucius L.) correlation between structure and function. J Comp Physiol. (1981) 144:127–37. doi: 10.1007/BF00612806

[165] Collin JP, Oksche A. Structural and functional relationships in the non mammalian pineal gland. In: Reiter RJ, editor. The Pineal Gland: Anatomy and Biochemistry. Vol. I. Boca Raton, FL: CRC (1981). p. 27–67.

[166] Collin JP, Voisin P, Falcón J, Faure JP, Brisson P, Defayé JR. Pineal transducers in the course of evolution: molecular organization, rhythmic metabolic activity and role. Arch Histol Cytol. (1989) 52:441–9. doi: 10.1679/aohc.52.Suppl_441

[167] Ekström P, Meissl H. Intracellular staining of physiologically identified photoreceptor cells and hyperpolarizing interneurons in the teleost pineal organ. Neuroscience. (1988) 25:1061–70. doi: 10.1016/0306-4522(88)90059-0

[168] Ekström P, Meissl H. Evolution of photosensory pineal organs in new light: the fate of neuroendocrine photoreceptors. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. (2003) 358:1679–700. doi: 10.1098/rstb.2003.1303

[169] Falcón J, Besseau L, Fuentès M, Sauzet S, Magnanou E, Boeuf G. Struc-tural and functional evolution of the pineal melatonin system in vertebrates. Ann N Y Acad Sci. (2009) 1163:101–11. doi: 10.1111/j.1749-6632.2009.04435.x

[170] Falcon J. Photosensitivity and biosynthesis of indole compounds in the cells of the receptor line of the pineal organ of the pike. Ophthalmic Res. (1984) 16:123–8. doi: 10.1159/000265306

[171] Bégay V, Falcón J, Thibault C, Ravault JP, Collin JP. Pineal photoreceptor cells: photoperiodic control of melatonin production after cell dissociation and culture. J Neuroendocrinol. (1992) 4:337–45. doi: 10.1111/j.1365-2826.1992.tb00177.x

[172] Bolliet V, Ali MA, Lapointe FJ, Falcón J. Rhythmic melatonin secretion in different teleost species: an in vitro study. J Comp Physiol B. (1996) 165:677–83. doi: 10.1007/BF00301136

[173] Ekström P, Meissl H. Electron microscopic analysis of S-antigenand serotonin-immunoreactive neural and sensory elements in the photosensory pineal organ of the salmon. J Comp Neurol. (1990) 292:73–82. doi: 10.1002/cne.902920105

[174] Falcón J, Bégay V, Besse C, Ravault JP, Collin JP. Pineal photoreceptor cells in culture: fine structure and light control of cyclic nucleotide levels. J Neuroen-docrinol. (1992) 4:641–51. doi: 10.1111/j.1365-2826.1992.tb00214.x

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

[175] Falcón J, Bolliet V, Ravault JP, Chesneau D, Ali MA, Collin JP. Immunocytochemical localisation of hydroxyindole-O-methyltransferase in pineal photoreceptor cells of several fish species. J Comp Neurol. (1994) 341:559–66. doi: 10.1002/cne.903410410

[176] Falcón J. Cellular circadian clocks in the pineal. Prog Neurobiol. (1999) 58:121–62. doi: 10.1016/S0301-0082(98)00078-1

[177] Omura Y, Korf HW, Oksche A. Vascular permeability (problem of the bloodbrain barrier) in the pineal organ of the rainbow trout, Salmo gairdneri. Cell Tissue Res. (1985) 239:599–610. doi: 10.1007/BF00219238

[178] Cahill GM. Circadian regulation of melatonin production in cultured zebrafish pineal and retina. Brain Res. (1996) 708:177–81. doi: 10.1016/0006-8993(95)01365-2

[179] Besseau L, Benyassi A, Møller M, Coon SL, Weller JL, Boeuf G, et al. Melatonin pathway: breaking the 'high-at-night' rule in trout retina. Exp Eye Res. (2006) 82:620–7. doi: 10.1016/j.exer.2005.08.025

[180] Vuilleumier R, Boeuf G, Fuentes M, Gehring WJ, Falcón J. Cloning and early expression pattern of two melatonin biosynthesis enzymes in the turbot (Scoph-thalmus maximus). Eur J Neurosci. (2007) 25:3047–57. doi: 10.1111/j.1460-9568.2007.05578.x

[181] Cahill GM, Grace MS, Besharse JC. Rhythmic regulation of retinal melatonin: metabolic pathways, neurochemical mechanisms, and the ocular circadian clock. Cell Mol Neurobiol. (1991) 11:529–59. doi: 10.1007/BF00734814

[182] Iigo M, Tabata M, Aida K. Ocular melatonin rhythms in a cyprinid teleost, oikawa Zacco platypus, are driven by light-dark cycles. Zool Sci. (1997) 14:237–42. doi: 10.2108/zsj.14.243

[183] García-Allegue R, Madrid JA, Sánchez-Vázquez FJ. Melatonin rhythms in European sea bass plasma and eye: influence of seasonal photoperiod and water temperature. J Pineal Res. (2001) 31:68–75. doi: 10.1034/j.1600-079X.2001.310110.x

[184] Falcón J, Gothilf Y, Coon SL, Boeuf G, Klein DC. Genetic, temporal and developmental differences between melatonin rhythm generating systems in the tel-eost fish pineal organ and retina. J Neuroendocrinol. (2003) 15:378–82. doi: 10.1046/j.1365-2826.2003.00993.x

[185] Huang H, Lee SC, Yang XL. Modulation by melatonin of glutamatergic synaptic transmission in the carp retina. J Physiol. (2005) 569:857–71. doi: 10.1113/jphysiol.2005.098798

[186] Ping Y, Huang H, Zhang XJ, Yang XL. Melatonin potentiates rod signals to ON type bipolar cells in fish retina. J Physiol. (2008) 586:2683–94. doi: 10.1113/jphysiol.2008.152959

[187] Grace MS, Cahill GM, Besharse JC. Melatonin deacetylation: retinal vertebrate class distribution and Xenopus laevis tissue distribution. Brain Res. (1991) 559:56–63. doi: 10.1016/0006-8993(91)90286-5

[188] Lepage O, Larson ET, Mayer I, Winberg S. Tryptophan affects both gastrointestinal melatonin production and interrenal activity in stressed and nonstressed rainbow trout. J Pineal Res. (2005) 38:264–71. doi: 10.1111/j.1600-079X.2004.00201.x

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

[189] Mukherjee S, Maitra SK. Gut melatonin in vertebrates: chronobiology and physiology. Front Endocrinol. (2015) 6:112. doi: 10.3389/fendo.2015.00112

[190] Muñoz-Pérez JL, López-Patiño MA, Álvarez-Otero R, Gesto M, Soengas JL, Míguez JM. Characterization of melatonin synthesis in the gastrointestinal tract of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss): distribution, relation with serotonin, daily rhythms and photoperiod regulation. J Comp Physiol B. (2016) 186:471–84. doi: 10.1007/s00360-016-0966-4

[191] Velarde E, Cerdá-Reverter JM, Alonso-Gómez AL, Sánchez E, Isorna E, Delgado MJ. Melatonin-synthesizing enzymes in pineal, retina, liver, and gut of the goldfish (Carassius): mRNA expression pattern and regulation of daily rhythms by lighting conditions. Chronobiology Int. (2010) 27:1178–201. doi: 10.3109/07420528.2010.496911

[192] Mukherjee S, Moniruzzaman M, Maitra SK. Daily and seasonal profiles of gut melatonin and their temporal relationship with pineal and serum melatonin in carp Catla catla under natural photo-thermal conditions. Biol Rhythms Res. (2014) 45:301–15. doi: 10.1080/09291016.2013.817139

[193] Bayarri MJ, Rol de Lama MA, Madrid JA, Sánchez-Vázquez FJ. Both pineal and lateral eyes are needed to sustain daily circulating melatonin rhythms in sea bass. Brain Res. (2003) 969:175–82. doi: 10.1016/S0006-8993(03)02297-2

[194] Kulczykowska E, Hanna Kalamarz H, Warne JM, Balment RJ. Day-night specific binding of 2-[125I]Iodomelatonin and melatonin content in gill, small intestine and kidney of three fish species. J Comp Physiol B. (2006) 176:277–85. doi: 10.1007/s00360-005-0049-4

[195] Park YJ, Park JG, Hiyakawa N, Lee YD, Kim SJ, Takemura A. Diurnal and circadian regulation of a melatonin receptor, MT1, in the olden rabbitfish, Siganus guttatus. Gen Comp Endocrinol. (2006) 150:253–61. doi: 10.1016/j.ygcen.2006.08.011

[196] López-Patiño MA, Alonso-Gómez AL, Guijarro A, Isorna E, Delgado MJ. Melatonin receptors in brain areas and ocular tissues of the teleost Tinca tinca: characterization and effect of temperature. Gen Comp Endocrinol. (2008) 155:847–56. doi: 10.1016/j.ygcen.2007.11.011

[197] Sauzet S, Besseau L, Herrera Perez P, Covès D, Chatain B, Peyric E, et al. Cloning and retinal expression of melatonin receptors in the Europeansea sea bass, Dicentrarchus labrax. Gen Comp Endocrinol. (2008) 157:186–95. doi: 10.1016/j.ygcen.2008.04.008

[198] Falcon J, Besseau L, Sauzet S, Boeuf G. Melatonin effects on the hypothalamo-pituitary axis in fish. Trends Endocrinol Metab. (2007) 18:81–8. doi: 10.1016/j.tem.2007.01.002

[199] Migaud H, Davie A, Taylor JF. Current knowledge on the photoneuroendocrine regulation of reproduction in temperate fish species. J Fish Biol. (2010) 76:27–68. doi: 10.1111/j.1095-8649.2009.02500.x

[200] Klein DC, Moore RY. Pineal N-acetyltransferase and hydroxyindoleO-methyltransferase: control by the retinohypothalamic tract and the suprachiasmatic nucleus. Brain Res. (1979) 174:245–62. doi: 10.1016/0006-8993(79)90848-5

[201] Pévet P, Challet E. Melatonin: both master clock output and internal timegiver in the circadian clocks network. J Physiol Paris. (2011) 105:170–82. doi: 10.1016/j.jphysparis.2011.07.001

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

[202] Klein DC, Coon SL, Roseboom PH, Weller JL, Bernard M, Gastel JA, et al. The melatonin rhythm-generating enzyme: molecular regulation of serotonin N-acetyltransferase in the pineal gland. Recent Prog Horm Res. (1997) 52:307–57; discussion 357–8.

[203] Klein DC. Arylalkylamine N-Acetyltransferase: "the Timezyme". J Biol Chem. (2007) 282:4233–7. doi: 10.1074/jbc.R600036200

[204] Jaillon O, Aury JM, Brunet F, Petit JL, Stange-Thomann N, Mauceli E, et al. Genome duplication in the teleost fish Tetraodon nigroviridis reveals the early vertebrate protokaryotype. Nature. (2004) 431:946–57. doi: 10.1038/nature03025

[205] Li J, You X, Bian C, Yu H, Coon SL, Shi Q. Molecular evolution of aralkylamine N-acetyltransferase in fish: a genomic survey. Int J Mol Sci. (2015) 17:E51. doi: 10.3390/ijms17010051

[206] Saha S, Singh KM, Gupta BBP. Melatonin synthesis and clock gene regulation in the pineal organ of teleost fish compared to mammals: similarities and differ-ences. Gen Comp Endocrinol. (2018). doi: 10.1016/j.ygcen.2018.07.010. [Epub ahead of print].

[207] Coon SL, Bégay V, Deurloo D, Falcón J, Klein DC. Two arylalkylamine Nacetyltransferase genes mediate melatonin synthesis in fish. J Biol Chem. (1999) 274:9076–82. doi: 10.1074/jbc.274.13.9076

[208] Falcón J, Marmillon JB, Claustrat B, Collin JP. Regulation of melatonin secretion in a photoreceptive pineal organ: an in vitro study in the pike. J Neurosci. (1989) 9:1943–50. doi: 10.1523/JNEUROSCI.09-06-01943.1989

[209] Bolliet V, Bégay V, Taragnat C, Ravault JP, Collin JP, Falcón J. Photoreceptor cells of the pike pineal organ as cellular circadian oscillators. Eur J Neurosci. (1997) 9:643–53. doi: 10.1111/j.1460-9568.1997.tb01413.x

[210] Falcon J, Guerlotte JF, Voisin P, Collin JP. Rhythmic melatonin biosynthesis in a photoreceptive pineal organ: a study in the pike. Neuroendocrinology. (1987) 45:479–86. doi: 10.1159/000124778

[211] Kezuka H, Aida H, Hanyu A. Melatonin secretion from goldfish pineal gland in organ culture. Gen Comp Endocrinol. (1989) 75:217–21. doi: 10.1016/0016-6480(89)90073-7

[212] Iigo M, Kezuka H, Aida K, Hanyu I. Circadian rhythms of melatonin secretion from superfused goldfish (Carassius auratus) pineal glands in vitro. Gen Comp Endocrinol. (1991) 83:152–8. doi: 10.1016/0016-6480(91)90115-M

[213] Ziv L, Levkovitz S, Toyama R, Falcón J, Gothilf Y. Functional development of the zebrafish pineal gland: light-induced expression of period2 is required for onset of the circadian clock. J Neuroendocrinol. (2005) 17:314–20. doi: 10.1111/j.1365-2826.2005.01315.x

[214] McStay E, Migaud H, Vera L, Sanchez-Vazquez FJ, Davie A. Comparative study of pineal clock gene and AANAT2 expression in relation to melatonin synthesis in Atlantic salmon (Salmo salar) and European seabass (Dicentrarchus labrax). Comp Biochem Physiol A. (2014) 169:77–89. doi: [210] 1016/j.cbpa.2013.12.011

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

[215] Gern WA, Greenhouse SS. Examination of in vitro melatonin secretion from superfused trout (Salmo gairdneri) pineal organs maintained under diel illumination or continuous darkness. Gen Comp Endocrinol. (1988) 71:163–74. doi: 10.1016/0016-6480(88)90307-3

[216] Zachmann A, Falcón J, Knijff SC, Bolliet V, Ali MA. Effects of photoperi-od and temperature on rhythmic melatonin secretion from the pineal organ of the white sucker (Catostomus commersoni) in vitro. Gen Comp Endocrinol. (1992) 86:26–33. doi: 10.1016/0016-6480(92) 90122-Z

[217] Thibault C, Falcón J, Greenhouse SS, Lowery CA, Gern WA, Collin JP. Regulation of melatonin production by pineal photoreceptor cells: role of cyclic nucleotides in the trout (Oncorhynchus mykiss). J Neurochem. (1993) 61:332–9. doi: 10.1111/j.1471-4159.1993.tb03572.x

[218] Iigo M, Azuma T, Iwata M. Lack of circadian regulation of melatonin rhythms in the Sockeye Salmon (Oncorhynchus nerka) in vivo and in vitro. Zool Sci. (2007) 24:67–70. doi: 10.2108/zsj.24.67

[219] Randall CF, Bromage NR, Thorpe JE, Miles MS, Muir JS. Melatonin rhythms in Atlantic salmon (Salmo salar) maintained under natural and out-of-phase photoperiods. Gen Comp Endocrinol. (2005) 98:73–86. doi: 10.1006/gcen.1995.1045

[220] Ceinos RM, Rábade S, Soengas JL, Míguez JM. Indoleamines and 5-methoxyindoles in trout pineal organ in vivo: daily changes and influence of photoperiod. Gen Comp Endocrinol. (2005) 144:67–77. doi: 10.1016/j.ygcen.2005.04.010

[221] Porter MJR, Duncan N, Handeland SO, Stafansson SO, Bromage NR. Temperature, light intensity and plasma melatonin levels in juvenile Atlantic salmon. J Fish Biol. (2001) 58:431–8. doi: 10.1111/j.1095-8649.2001.tb02262.x

[222] Negrín-Báez, D.; Navarro, A.; Lee-Montero, I.; Soula, M.; Afonso, J.M.; Zamorano, M.J. Inheritance of skeletal deformities in gilthead seabream (Sparus aurata)–lack of operculum, lordosis, vertebral fusion and LSK complex1. J. Anim. Sci. 2015, 93, 53–61. [CrossRef] [PubMed]

[223] Verhaegen, Y.; Adriaens, D.; Wolf, T.D.; Dhert, P.; Sorgeloos, P. Deformities in larval gilthead sea bream (Sparus aurata): A qualitative and quantitative analysis using geometric morphometrics. Aquaculture 2007, 268, 156–168. [CrossRef]

[224] Thuong, N.P.; Verstraeten, B.; Kegel, B.D.; Christiaens, J.; Wolf, T.D.; Sorgeloos, P.; Bonte, D.; Adriaens, D. Ontogenesis of opercular deformities in gilthead sea bream Sparus aurata: A histological description. J. Fish Biol. 2017, 91, 1419–1434. [CrossRef]

[225] Peruzzi, S.; Westgaard, J.-I.; Chatain, B. Genetic investigation of swimbladder inflation anomalies in the European sea bass, Dicentrarchus labrax L. Aquaculture 2007, 265, 102–108. [CrossRef]

[226] Fernández, I.; Hontoria, F.; Ortiz-Delgado, J.B.; Kotzamanis, Y.; Estévez, A.; Zambonino-Infante, J.L.; Gisbert, E. Larval performance and skeletal deformities in farmed gilthead sea bream (Sparus aurata) fed with graded levels of Vitamin A enriched rotifers (Brachionus plicatilis). Aquaculture 2008, 283, 102–115. [CrossRef]

[227] Georgakopoulou, E.; Katharios, P.; Divanach, P.; Koumoundouros, G. Effect of temperature on the development of skeletal deformities in Gilthead seabream (Sparus aurata Linnaeus, 1758). Aquaculture 2010, 308, 13–19. [CrossRef]

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

[228] Ortiz-Delgado, J.B.; FernÃƒÂ¡ndez, I.; Sarasquete, C.; Gisbert, E. Normal and histopathological organization of the opercular bone and vertebrae in gilthead sea bream Sparus aurata. Aquat. Biol. 2014, 21, 67–84. [CrossRef]

[229] Berillis, P. Skeletal Deformities in Seabreams. Understanding the Genetic Origin Can-Improve Production? J. FisheriesSciences.com 2017, 11, 57–59. [CrossRef]

[230] Villamizar, N.; Blanco-Vives, B.; Migaud, H.; Davie, A.; Carboni, S.; Sánchez-Vázquez, F.J. Effects of light during early larval development of some aquacultured teleosts: A review. Aquaculture 2011, 315, 86–94. [CrossRef]

[231] Villamizar, N.; García-Alcazar, A.; Sánchez-Vázquez, F.J. Effect of light spectrum and photoperiod on the growth, development and survival of European sea bass (Dicentrarchus labrax) larvae. Aquaculture 2009, 292, 80–86. [CrossRef]

[232] Falcón, J.; Besseau, L.; Sauzet, S.; Boeuf, G. Melatonin effects on the hypothalamo-pituitary axis in fish. Trends Endocrinol. Metab. 2007, 18, 81–88. [CrossRef] [PubMed]

[233] Sánchez-Vázquez, F.J.; López-Olmeda, J.F.; Vera, L.M.; Migaud, H.; López-Patiño, M.A.; Míguez, J.M. Environmental Cycles, Melatonin, and Circadian Control of Stress Response in Fish. Front. Endocrinol. 2019, 10, 279. [CrossRef]

[234] Tordjman, S.; Chokron, S.; Delorme, R.; Charrier, A.; Bellissant, E.; Jaafari, N.; Fougerou, C. Melatonin: Pharmacology, Functions and Therapeutic Benefits. Curr. Neuropharmacol. 2017, 15, 434–443. [CrossRef]

[235] Velarde, E.; Cerdá-Reverter, J.M.; Alonso-Gómez, A.L.; Sánchez, E.; Isorna, E.; Delgado, M.J. Melatoninsynthesizing enzymes in pineal, retina, liver, and gut of the goldfish (Carassius): mRNA expression pattern and regulation of daily rhythms by lighting conditions. Chronobiol. Int. 2010, 27, 1178–1201. [CrossRef]

[236] Falcón, J.; Migaud, H.; Muñoz-Cueto, J.A.; Carrillo, M. Current knowledge on the melatonin system in teleost fish. Gen. Comp. Endocrinol. 2010, 165, 469–482. [CrossRef]

[237] Danilova, N.; Krupnik, V.E.; Sugden, D.; Zhdanova, I.V. Melatonin stimulates cell proliferation in zebrafish embryo and accelerates its development. FASEB J. 2004, 18, 751–753. [CrossRef]

[238] Fjelldal, P.G.; Grotmol, S.; Kryvi, H.; Gjerdet, N.R.; Taranger, G.L.; Hansen, T.; Porter, M.J.R.; Totland, G.K. Pinealectomy induces malformation of the spine and reduces the mechanical strength of the vertebrae in Atlantic salmon, Salmo salar. J. Pineal Res. 2004, 36, 132–139. [CrossRef]

[239] Maria, S.; Samsonraj, R.M.; Munmun, F.; Glas, J.; Silvestros, M.; Kotlarczyk, M.P.; Rylands, R.; Dudakovic, A.; van Wijnen, A.J.; Enderby, L.T.; et al. Biological effects of melatonin on osteoblast/osteoclast cocultures, bone, and quality of life: Implications of a role for MT2 melatonin receptors, MEK1/2, and MEK5 in melatonin-mediated osteoblastogenesis. J. Pineal Res. 2018, 64. [CrossRef]

[240] Zhu, G.; Ma, B.; Dong, P.; Shang, J.; Gu, X.; Zi, Y. Melatonin promotes osteoblastic differentiation and regulates PDGF/AKT signaling pathway. Cell Biol. Int. 2020, 44, 402–411. [CrossRef] [PubMed]

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38

[241] Sun, T.; Li, J.; Xing, H.L.; Tao, Z.S.; Yang, M. Melatonin improves the osseointegration of hydroxyapatite-coated titanium implants in senile female rats. Z. Gerontol. Geriat. 2019, 53, 770–777. [CrossRef] [PubMed]

[242] Kalamarz, H.; Nietrzeba, M.; Fuentes, J.; Martinez-Rodriguez, G.; Mancera, J.M.; Kulczykowska, E. Melatonin concentrations during larval and postlarval development of gilthead sea bream Sparus auratus: More than a time-keeping molecule? J. Fish Biol. 2009, 75, 142–155. [CrossRef]

[243] Herrero-Turrión, M.J.; Rodríguez, R.E.; Velasco, A.; González-Sarmiento, R.; Aijón, J.; Lara, J.M. Growth hormone expression in ontogenic development in gilthead sea bream. Cell Tissue Res. 2003, 313, 81–91. [CrossRef]

[244] Herrero-Turrion, M.J.; Rodriguez, R.E.; Aijon, J.; Lara, J.M. Transient expression pattern of prolactin in Sparus aurata. J. Mol. Endocrinol. 2003, 30, 69–84. [CrossRef]

[245] Deane, E.E.; Kelly, S.P.; Collins, P.M.; Woo, N.Y.S. Larval development of silver sea bream (Sparus sarba): Ontogeny of RNA-DNA ratio, GH, IGF-I, and Na+-K+-ATPase. Mar. Biotechnol. 2003, 5, 79–91. 57. [246] Walker, M.B.; Kimmel, C.B. A two-color acid-free cartilage and bone stain for zebrafish larvae. Biotech. Histochem. 2007, 82, 23–28. [CrossRef] [CrossRef]

[246] Guardiola-Lemaître, B. Toxicology of melatonin. J. Biol. Rhythm. 1997, 12, 697–706. [CrossRef] [PubMed]

[247] Amano, M.; Iigo, M.; Ikuta, K.; Kitamura, S.; Okuzawa, K.; Yamada, H.; Yamamori, K. Disturbance of plasma melatonin profile by high dose melatonin administration inhibits testicular maturation of precocious male masu salmon. Zool. Sci. 2004, 21, 79–85. [CrossRef]

[248] López-Olmeda, J.F.; Bayarri, M.J.; Rol de Lama, M.A.; Madrid, J.A.; Sánchez-Vázquez, F.J. Effects of melatonin administration on oxidative stress and daily locomotor activity patterns in goldfish. J. Physiol. Biochem. 2006, 62, 17–25. [CrossRef]

[249] Kamel Mhalhel ;Antonino Germanà;Francesco Abbate; Maria Cristina Guerrera; Maria Levanti; Rosaria Laurà and Giuseppe Montalbano 2020, The Effect of Orally Supplemented Melatonin on Larval Performance and Skeletal Deformities in Farmed Gilthead Seabream (Sparus aurata).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
02/05/2026 07:03:16 EEST - 216.73.217.38