

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΗ
ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Φυτοφαρμακευτικά διατροφικά πρόσθετα στην εντατική εκτροφή ιχθύων:
Διερεύνηση απόκρισης κατά την τροφοληψία.**

Κυπραίου Χαρίκλεια

Βόλος, 2025

**UNIVERSITY OF THESSALY SCHOOL OF AGRICULTURAL SCIENCES
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC ENVIRONMENT
Master of Science (MSc) in Mediterranean Aquaculture**

POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

“The use of medicinal plants as additives in intensive fish farming: effects on feeding behavior.”

Kypraiou Charikleia

Volos, 2026

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1. Παναγιωτάκη Παναγιώτα, Καθηγήτρια.**
- 2. Γκολομάζου Ελένη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια.**
- 3. Πούλος Κωνσταντίνος, Επ. Καθηγητής Πανεπιστήμιου Πατρών.**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τσιπούρα (*Sparus aurata*) αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα είδη μεσογειακής ιχθυοκαλλιέργειας και η ευζωία της συνδέεται άμεσα με τη βιωσιμότητα και την ποιότητα της παραγωγής. Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε ο τρόπος με τον οποίο η ιχθυοφόρτιση και η χρήση φυτογενών προσθέτων επηρεάζουν τη διατροφική συμπεριφορά νεαρών ατόμων τσιπούρας σε συνθήκες εντατικής εκτροφής. Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε πείραμα 20 ημερών, στο οποίο χρησιμοποιήθηκαν τρεις πυκνότητες εκτροφής (10, 20 και 30 άτομα ανά δεξαμενή) και δύο διατροφικές συνθήκες: συμβατική τροφή και τροφή εμπλουτισμένη με έλαιο κανέλας (2%). Η συμπεριφορά των ιχθύων καταγράφηκε μέσω βιντεοσκόπησης και αναλύθηκε, εστιάζοντας στην κατάποση, την απόρριψη τροφής, την κινητικότητα και την ταχύτητα προσέγγισης.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συνολική κατάποση παρέμεινε υψηλή σε όλες τις συνθήκες, ωστόσο η υψηλή ιχθυοφόρτιση συσχετίστηκε με ήπιες μεταβολές στη συμπεριφορά, όπως μειωμένη ταχύτητα κολύμβησης και περιστασιακή αδιαφορία προς την τροφή. Η

χορήγηση ελαίου κανέλας φάνηκε να σταθεροποιεί τη συμπεριφορά, μειώνοντας τις διακυμάνσεις στα μοτίβα σίτισης, ιδιαίτερα στις υψηλές πυκνότητες. Συμπερασματικά, η διατροφική συμπεριφορά αποτελεί αξιόπιστο λειτουργικό δείκτη ευζωίας και τα φυτογενή πρόσθετα δύνανται να ενισχύσουν τη σταθερότητα της απόκρισης των ιχθύων υπό συνθήκες παραγωγικού stress. Τα ευρήματα της μελέτης προσφέρουν χρήσιμες ενδείξεις για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης στις μεσογειακές ιχθυοκαλλιέργειες.

Λέξεις-κλειδιά:

Τσιπούρα, ιχθυοφόρτιση, ευζωία ιχθύων, φυτογενή πρόσθετα, διατροφική συμπεριφορά, έλαιο κανέλας, ανάλυση βίντεο.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
1.1 Η παγκόσμια εξέλιξη της υδατοκαλλιέργειας	5
1.2 Η σημασία της υδατοκαλλιέργειας στη Μεσόγειο και στην Ελλάδα	4
1.3 Βιολογία και οικολογία της <i>Sparus aurata</i>	6
1.4 Η έννοια της ευζωίας στα ψάρια	9
1.5 Η ιχθυοφόρτιση ως παράγοντας stress	12
1.6 Η συμπεριφορά ως δείκτης ευζωίας	15
1.7 Φυτογενή πρόσθετα: δράσεις και ρόλος στην ευζωία των ψαριών	18
1.8 Στόχος και δομή της παρούσας εργασίας	21
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	23
2.1 Η <i>Sparus aurata</i> : βιολογική και οικολογική ταυτότητα του είδους	23
2.2 Μορφολογία και λειτουργική ανατομία	24
2.3 Φυσιολογία, μεταβολική λειτουργία και απόκριση στο stress της <i>Sparus aurata</i>	26
2.4 Αισθητηριακά συστήματα και νευροαισθητηριακή ολοκλήρωση στη συμπεριφορά σίτισης της <i>Sparus aurata</i>	28
2.5 Μικροβίωμα, είδη-ειδικές αντιδράσεις και συγκριτικές προσεγγίσεις στη συμπεριφορά και την ευζωία	30
2.6 Μικροβίωμα, νευροβιολογικοί μηχανισμοί, φυτογενή πρόσθετα και συνολική θεωρητική σύνδεση με τη συμπεριφορά της τσιπούρας	32
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	35

3.1 Εισαγωγική περιγραφή και γενικό πλαίσιο του πειράματος.....	35
3.2 Εγκαταστάσεις, δεξαμενές και περιβαλλοντικές συνθήκες.....	36
3.3 Εγκλιματισμός και επιλογή των ιχθύων	37
3.4 Πειραματικός σχεδιασμός, ομάδες και ιχθυοφόρτιση	39
3.5 Διατροφή των ιχθύων και παρασκευή των σιτηρεσίων	40
3.6 Καταγραφή της συμπεριφοράς και συνθήκες βιντεοσκόπησης.....	42
3.7 Οργάνωση και στατιστική ανάλυση των συμπεριφορικών δεδομένων.....	44
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	45
4.1 Γενική εικόνα της συμπεριφοράς κατά τη διάρκεια του πειράματος	45
4.2 Ποσοστό κατάποσης της τροφής	48
4.3 Χρόνος πρώτης προσέγγισης και ταχύτητα κίνησης προς την τροφή	50
4.4 Μοτίβα κολύμβησης και τροχιές κίνησης	52
4.5 Ποιοτικές παρατηρήσεις συμπεριφοράς:	54
4.6 Συνολική σύνθεση και βασικά συμπεράσματα των αποτελεσμάτων	56
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	58
5.1 Ερμηνεία της συνολικής συμπεριφορικής εικόνας.....	58
5.2 Η επίδραση του ελαίου κανέλας στις διαφορετικές πυκνότητες	60
5.3 Σύγκριση των ευρημάτων με τη διεθνή βιβλιογραφία.....	63
5.4 Η σημασία της συμπεριφοράς ως δείκτη ευζωίας	64
5.5 Πλεονεκτήματα, περιορισμοί και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	66
5.6 Συμπερασματική εικόνα	68

6. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	70
6.1 Συνολική αποτίμηση και θέση της μελέτης στο ευρύτερο πλαίσιο	70
6.2 Η συμπεριφορά ως καθημερινό εργαλείο αξιολόγησης στις μονάδες.....	71
6.3 Η συμβολή της διατροφής και του ελαίου κανέλας σε ένα πιο «ευζωικό» σχήμα εκτροφής	72
6.4 Εφαρμογές και σημασία για την ελληνική μεσογειακή υδατοκαλλιέργεια.....	73
6.5 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα και περαιτέρω διερεύνηση.....	74
6.6 Τελικές σκέψεις: από τα πειραματικά ενδρεία στην καθημερινή πράξη.....	76
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	77
ΞΕΝΗ BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	77
ΕΛΛΗΝΙΚΗ BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	80
ABSTRACT	81

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η παγκόσμια εξέλιξη της υδατοκαλλιέργειας

Η σύγχρονη υδατοκαλλιέργεια δεν είναι απλώς ένας ταχέως αναπτυσσόμενος παραγωγικός κλάδος. Αποτελεί έναν από τους βασικούς πυλώνες πάνω στους οποίους στηρίζεται η παγκόσμια στρατηγική για την επισιτιστική ασφάλεια, τη διατροφική διαφοροποίηση και τη βιώσιμη εκμετάλλευση των θαλάσσιων πόρων. Η ιστορία της, αν και εκτείνεται χιλιάδες χρόνια πίσω, γνώρισε μια μοναδική επιτάχυνση τις τελευταίες δεκαετίες, χάρη σε ένα σύνολο κοινωνικών, περιβαλλοντικών και τεχνολογικών παραγόντων.

Τη δεκαετία του 1960 και του 1970, η αύξηση του πληθυσμού, η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, η αλλαγή των διατροφικών προτιμήσεων και η σταδιακή αναγνώριση των ορίων της παραδοσιακής αλιείας δημιούργησαν ένα περιβάλλον όπου η ανάγκη για νέες πηγές πρωτεΐνης έγινε επιτακτική. Την ίδια περίοδο, πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα ανέπτυξαν τεχνικές ελέγχου της αναπαραγωγής και της πρώιμης εκτροφής που μέχρι τότε ήταν ασταθείς ή εξαρτημένες από φυσικούς πληθυσμούς (FAO, 2009). Η τεχνογνωσία αυτή αποτέλεσε το πρώτο σοβαρό θεμέλιο της βιομηχανικής υδατοκαλλιέργειας.

Στις δεκαετίες που ακολούθησαν, η πρόοδος ήταν εκθετική. Η παραγωγή αυξήθηκε από περίπου 8 εκατομμύρια τόνους τη δεκαετία του 1980 σε πάνω από 124 εκατομμύρια τόνους το 2020 (FAO, 2022). Η εξέλιξη αυτή δεν ήταν απλώς ποσοτική. Περιλάμβανε σημαντικές βελτιώσεις στη γενετική επιλογή, τη διατροφή, τη διαχείριση υγείας, τα συστήματα εκτροφής και τη μηχανοργάνωση, δημιουργώντας μια βιομηχανία υψηλής εξειδίκευσης που πλέον λειτουργεί με κριτήρια βιοτεχνολογίας και περιβαλλοντικής επιστήμης.

Παράλληλα, η παραδοσιακή αλιεία άρχισε να συναντά αξεπέραστους περιορισμούς. Η υπεραλίευση, η καταστροφή των ενδιαιτημάτων και οι αυστηρότερες διεθνείς οδηγίες για τη διαχείριση των ιχθυοποθεμάτων μείωσαν σε πολλές περιοχές την αλιευτική παραγωγή κάτω από τα επίπεδα βιώσιμης εκμετάλλευσης (Pauly et al., 2002; Worm et al., 2009). Έτσι, η υδατοκαλλιέργεια έπαψε να θεωρείται απλώς «εναλλακτική» και μετατράπηκε στην κεντρική στρατηγική για τη διατήρηση της προσφοράς θαλασσινών.

Σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της υδατοκαλλιέργειας έπαιξαν επίσης οι κοινωνικοοικονομικές μεταβολές. Η αύξηση της ζήτησης σε προϊόντα υψηλής ποιότητας, η παγκοσμιοποίηση των εμπορικών δικτύων, η εμφάνιση διεθνών προτύπων πιστοποίησης, καθώς και η είσοδος μεγάλων επενδυτικών σχημάτων στο χώρο, διαμόρφωσαν ένα περιβάλλον όπου η παραγωγή έγινε πιο οργανωμένη, πιο συγκεντρωτική και πιο προσανατολισμένη στην ποιότητα.

Κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες, οι τεχνολογίες ιχνηλασιμότητας, τα αυτοματοποιημένα συστήματα σίτισης, οι αισθητήρες ποιότητας νερού και η τεχνητή νοημοσύνη έχουν ενσωματωθεί σταδιακά στην παραγωγική διαδικασία. Η υδατοκαλλιέργεια δεν περιορίζεται σε «κλωβούς και εκκολαπτήρια», αλλά αποτελεί έναν χώρο όπου συναντώνται οι βιοεπιστήμες, η μηχανική, η πληροφορική και η περιβαλλοντική διαχείριση (Tlusty et al., 2017).

Σύμφωνα με τις τελευταίες εκθέσεις του FAO (2022, 2024), πάνω από το 50% των ψαριών που καταναλώνονται παγκοσμίως προέρχονται από υδατοκαλλιέργεια, ενώ μέχρι το 2030 το ποσοστό αυτό αναμένεται να ξεπεράσει το 65%. Οι εκτιμήσεις αυτές βασίζονται όχι μόνο στον ρυθμό αύξησης της παραγωγής, αλλά και στο γεγονός ότι τα φυσικά αποθέματα αλιείας δεν έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν περαιτέρω την παραγωγικότητά τους χωρίς σοβαρές περιβαλλοντικές συνέπειες.

Η Ασία – και κυρίως η Κίνα – συνεχίζει να κατέχει την πρωτοκαθεδρία στην παγκόσμια παραγωγή, αλλά η ανάπτυξη είναι πλέον εμφανής σε όλες τις ηπείρους. Στη Βόρεια Ευρώπη, τα συστήματα εκτροφής σολομού έχουν εξελιχθεί σε τεχνολογικά πρότυπα, ενώ στη Μεσόγειο, είδη όπως η τσιπούρα και το λαβράκι έχουν αναδειχθεί σε βασικούς πυλώνες της περιφερειακής οικονομίας. Ταυτόχρονα, νέες κατηγορίες παραγωγής, όπως τα οστρακοειδή, τα φύκη και οι πολυτροφικές ολοκληρωμένες εκτροφές (IMTA), προσφέρουν λύσεις που συνδυάζουν παραγωγή και περιβαλλοντική ισορροπία (Chopin et al., 2013).

Έτσι, η παγκόσμια υδατοκαλλιέργεια δεν αποτελεί πλέον έναν «νέο» κλάδο, αλλά έναν ώριμο και στρατηγικό πυλώνα της παγκόσμιας οικονομίας, ο οποίος συνεχίζει να εξελίσσεται δυναμικά, ενσωματώνοντας αρχές βιωσιμότητας, ευζωίας και καινοτομίας.

1.2 Η σημασία της υδατοκαλλιέργειας στη Μεσόγειο και στην Ελλάδα

Η Μεσόγειος αποτελεί έναν από τους πλέον ενδιαφέροντες και σύνθετους θαλάσσιους χώρους του πλανήτη, τόσο από βιολογική όσο και από κοινωνικοοικονομική άποψη. Η ιστορική σύνδεση των λαών της περιοχής με τη θάλασσα δημιούργησε επί αιώνες μια πολιτισμική και οικονομική παράδοση που βασιζόταν στην αλιεία και στη θαλάσσια δραστηριότητα. Ωστόσο, από τα τέλη του 20ού αιώνα και ιδίως μετά τη δεκαετία του 1980, η υδατοκαλλιέργεια άρχισε να κερδίζει σταδιακά έδαφος, ανταποκρινόμενη στις νέες ανάγκες των κοινωνιών και στα όρια που άρχισαν να εμφανίζονται στη διαχείριση των φυσικών αποθεμάτων.

Η Μεσογειακή υδατοκαλλιέργεια χαρακτηρίζεται από ορισμένα ιδιαίτερα στοιχεία που τη διαφοροποιούν από άλλα μεγάλα κέντρα παραγωγής, όπως η Ασία ή η Βόρεια Ευρώπη. Η γεωμορφολογία της περιοχής, με τις πολυάριθμες ακτογραμμές, τους κλειστούς κόλπους, τα νησιωτικά συμπλέγματα και τις σχετικά ήπιες κλιματικές συνθήκες, δημιούργησαν ένα περιβάλλον όπου η εκτροφή θαλάσσιων ειδών μπορούσε να αναπτυχθεί με φυσικό τρόπο. Παράλληλα, οι ευρωπαϊκές πολιτικές για τη στήριξη της αγροτικής ανάπτυξης και η παροχή χρηματοδοτικών εργαλείων προς τον πρωτογενή τομέα συνέβαλαν στην τάχιστη διάδοση της υδατοκαλλιέργειας σε χώρες όπως η Ελλάδα, η Ιταλία, η Ισπανία και η Κροατία (ΣΕΘ, 2019).

Η Ελλάδα ειδικότερα κατέχει μια ξεχωριστή θέση στην ευρωπαϊκή σκηνή της υδατοκαλλιέργειας. Η ανάπτυξη του κλάδου ήταν αρχικά αργή και τοπική, όμως στις αρχές της δεκαετίας του 1990 άρχισε να διαμορφώνεται μια πιο οργανωμένη βιομηχανία. Η μετάβαση από μικρά, διάσπαρτα εκτροφεία σε μεγαλύτερες, οργανωμένες μονάδες συνοδεύτηκε από τη βελτίωση των υλικοτεχνικών υποδομών, την εκπαίδευση εξειδικευμένου προσωπικού και τη θέσπιση ενός πιο συστηματικού θεσμικού πλαισίου.

Η τσιπούρα (*Sparus aurata*) και το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) αποτέλεσαν τους βασικούς μοχλούς αυτής της ανάπτυξης. Πρόκειται για είδη που διαθέτουν υψηλή εμπορική

αξία στις διεθνείς αγορές, καλή προσαρμοστικότητα στις συνθήκες εκτροφής και ισχυρή ζήτηση από χώρες της Ευρώπης και της Μέσης Ανατολής. Η Ελλάδα εξελίχθηκε σταδιακά σε έναν από τους σημαντικότερους εξαγωγείς τσιπούρας και λαβρακιού παγκοσμίως, τοποθέτηση που διατηρεί σταθερά μέχρι σήμερα. Μάλιστα, για πολλά χρόνια η ελληνική παραγωγή υπερέβαινε εκείνη της Ιταλίας και της Ισπανίας, ενώ τα τελευταία χρόνια η Τουρκία αποτελεί τον μοναδικό κυρίαρχο ανταγωνιστή σε επίπεδο όγκου και τιμών.

Η σημασία της υδατοκαλλιέργειας στην ελληνική οικονομία είναι βαθύτερη από τους αριθμούς της παραγωγής. Μεγάλο μέρος των μονάδων βρίσκεται σε περιοχές όπου οι αναπτυξιακές επιλογές είναι περιορισμένες. Νησιά όπως η Χίος, η Σάμος, η Κεφαλονιά, αλλά και ηπειρωτικές παράκτιες ζώνες όπως η Αιτωλοακαρνανία και η Φθιώτιδα, βασίζουν σημαντικό κομμάτι της οικονομικής τους ζωής στην υδατοκαλλιέργεια. Ο κλάδος προσφέρει σταθερή απασχόληση σε πληθυσμούς που διαφορετικά θα αντιμετώπιζαν φαινόμενα απομόνωσης και δημογραφικής συρρίκνωσης. Παράλληλα, η εξαγωγική του κατεύθυνση συμβάλλει στην είσοδο ρευστότητας στη χώρα και λειτουργεί ως σταθεροποιητικός παράγοντας για την ελληνική αγροτική οικονομία.

Η ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας στην Ελλάδα συνδέθηκε στενά και με την πανεπιστημιακή και ερευνητική δραστηριότητα. Εργαστήρια βιολογίας και υδατοκαλλιέργειας στα πανεπιστήμια Θεσσαλίας, Αθήνας και Θεσσαλονίκης μελέτησαν εντατικά τη φυσιολογία των μεσογειακών ειδών, τη διατροφική τους συμπεριφορά, τη βιοχημεία του μεταβολισμού τους και την απάντησή τους σε περιβαλλοντικές μεταβολές (Papoutsoglou et al., 1998; 2001). Η ελληνική ερευνητική κοινότητα συνέβαλε επίσης στη μελέτη των δεικτών ευζωίας, στην ανάπτυξη νέων τροφών, στην κατανόηση της συμπεριφοράς των ψαριών σε περιβάλλοντα υψηλής πυκνότητας και στη διερεύνηση των οικολογικών επιπτώσεων των μονάδων εκτροφής.

Η Μεσόγειος χαρακτηρίζεται από μια λεπτή ισορροπία μεταξύ ανάπτυξης και περιβαλλοντικής προστασίας. Για τον λόγο αυτό, η συζήτηση για την αειφορία της

υδατοκαλλιέργειας είναι ιδιαίτερα έντονη στην περιοχή. Ζητήματα όπως η φέρουσα ικανότητα των κόλπων, η διαχείριση των απορριμάτων, οι επιπτώσεις στους θαλάσσιους βιοτόπους, αλλά και η σχέση των μονάδων με τις τοπικές κοινωνίες αποτελούν αντικείμενα συνεχούς διαλόγου. Ωστόσο, η ίδια η πρόοδος της τεχνολογίας και η εισαγωγή αυστηρών πλαισίων πιστοποίησης, όπως το ASC, το GlobalG.A.P. και τα ευρωπαϊκά πρότυπα καλής διαβίωσης, έχουν οδηγήσει σε πιο υπεύθυνες πρακτικές.

Η Ελλάδα, ως χώρα με έντονη γεωγραφική πολυμορφία και εκτεταμένη ακτογραμμή, βρίσκεται σε προνομιακή θέση. Η υδατοκαλλιέργεια έχει εξελιχθεί όχι απλώς ως μια παραγωγική δραστηριότητα, αλλά ως ένας τομέας που συνδέει την αγροτική οικονομία, την έρευνα, τις εξαγωγές και την περιφερειακή ανάπτυξη. Η συνεχής ζήτηση στις διεθνείς αγορές, η βελτίωση των συστημάτων εκτροφής και η ερευνητική εξειδίκευση δημιουργούν ένα περιβάλλον όπου ο κλάδος μπορεί να συνεχίσει να αναπτύσσεται με σταθερό ρυθμό.

Σε αυτό το πλαίσιο, η μελέτη της τσιπούρας αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Ως κυρίαρχο είδος της μεσογειακής υδατοκαλλιέργειας, λειτουργεί ως σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση της παραγωγικής διαδικασίας, της ευζωίας των ψαριών και της συνολικής ποιότητας των μονάδων εκτροφής. Για αυτόν τον λόγο αποτελεί «μοντέλο είδος» όχι μόνο για την Ελλάδα, αλλά και για τη διεθνή επιστημονική κοινότητα.

1.3 Βιολογία και οικολογία της *Sparus aurata*

Η *Sparus aurata*, ευρύτερα γνωστή ως τσιπούρα, αποτελεί ένα από τα πλέον μελετημένα θαλάσσια είδη της Μεσογείου και, ταυτόχρονα, ένα από τα σημαντικότερα είδη της παγκόσμιας υδατοκαλλιέργειας. Η οικολογική της θέση, η φυσιολογική της προσαρμοστικότητα και η ικανότητά της να ανταποκρίνεται σε ένα μεγάλο εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών έχουν συμβάλει στη διαμόρφωση της φήμης της ως «ιδανικού είδους εκτροφής». Ωστόσο, η τσιπούρα δεν είναι ενδιαφέρουσα μόνο από παραγωγική άποψη.

Προσφέρει ένα μοναδικό παράθυρο κατανόησης της μεσογειακής θαλάσσιας οικολογίας και των πολύπλοκων μηχανισμών που καθορίζουν την επιβίωση και τη συμπεριφορά των ψαριών σε δυναμικά περιβάλλοντα.

Στη φύση, η τσιπούρα απαντάται σε παράκτιες περιοχές, εκβολές ποταμών, λιμνοθάλασσες και γενικότερα σε ζώνες όπου η αλατότητα και η θερμοκρασία παρουσιάζουν συχνές διακυμάνσεις. Το γεγονός ότι μπορεί να αντέξει αλατότητες από σχεδόν υφάλμυρα επίπεδα έως πλήρη θαλάσσια περιβάλλοντα, καθώς και θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 7 έως και 32°C, υποδηλώνει μια εντυπωσιακή φυσιολογική ευελιξία (Poli et al., 2005). Αυτή η ευελιξία συνδέεται με μια σειρά από μηχανισμούς οσμωρρύθμισης, οι οποίοι επιτρέπουν στο είδος να διατηρεί σταθερή εσωτερική ισορροπία ακόμη και όταν το εξωτερικό περιβάλλον αλλάζει δραματικά.

Η ανάπτυξη της τσιπούρας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το θερμοκρασιακό καθεστώς. Η βέλτιστη ζώνη θερμοκρασίας για ταχεία ανάπτυξη και υψηλή μεταβολική απόδοση βρίσκεται μεταξύ 18 και 24°C, ένα εύρος που αντανakλά τις μέσες θερμοκρασίες της μεσογειακής λεκάνης (Ellis et al., 2002). Στις θερμοκρασίες αυτές ο οργανισμός παρουσιάζει μέγιστη δραστηριότητα σε επίπεδο πέψης, πρόσληψης ενέργειας και αξιοποίησης θρεπτικών συστατικών. Αντιθέτως, σε χαμηλότερες ή υψηλότερες θερμοκρασίες, η μεταβολική αποτελεσματικότητα μειώνεται, η όρεξη συχνά περιορίζεται και η συμπεριφορά μεταβάλλεται ώστε να ελαχιστοποιείται η ενεργειακή δαπάνη.

Μορφολογικά, η τσιπούρα φέρει μία σειρά χαρακτηριστικών που την καθιστούν ιδιαίτερα αποτελεσματική θηρευτή. Τα ισχυρά δόντια σύνθλιψης, οργανωμένα σε μια δομή που λειτουργεί σαν μύλοπετρα, επιτρέπουν την κατανάλωση δίθυρων, μαλακόστρακων και μικρών καρκινοειδών. Το πεπτικό της σύστημα είναι σχεδιασμένο να επεξεργάζεται τροφές με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και λίπος, κάτι που εξηγεί γιατί σε συνθήκες εκτροφής ανταποκρίνεται πολύ καλά σε ζωοτροφές με ισορροπημένο προφίλ αμινοξέων και λιπαρών

οξέων. Η διατροφή αποτελεί έναν από τους πιο καθοριστικούς παράγοντες για την ευζωία και την ανάπτυξη του είδους, αφού επηρεάζει όχι μόνο την αύξηση αλλά και τη συμπεριφορά, την ανοσολογική λειτουργία και την ενέργεια που μπορεί να διαθέσει το ψάρι για τις δραστηριότητές του.

Η συμπεριφορά της *Sparus aurata* έχει αποτελέσει αντικείμενο πολυάριθμων ερευνών, τόσο στο φυσικό της περιβάλλον όσο και σε συνθήκες εκτροφής. Πρόκειται για είδος έντονα οπτικο-καθοδηγούμενο, που χρησιμοποιεί την όραση ως κύριο μηχανισμό εντοπισμού τροφής. Η τσιπούρα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε κινήσεις και σε αντανakλάσεις φωτός, χαρακτηριστικό που παίζει καθοριστικό ρόλο κατά τη σίτιση. Ωστόσο, δεν περιορίζεται μόνο σε οπτικά ερεθίσματα. Η χημική αντίληψη αποτελεί εξίσου σημαντικό μηχανισμό, αφού πολλά από τα συστατικά των pellets διαλύονται στο νερό, δημιουργώντας ένα χημικό «νεφέλωμα» που τα ψάρια ανιχνεύουν μέσω οσφρητικών και γευστικών υποδοχέων.

Ένα ακόμη καθοριστικό στοιχείο της συμπεριφοράς της τσιπούρας είναι η κοινωνική της δομή. Αν και δεν πρόκειται για είδος που σχηματίζει σταθερά κοπάδια μεγάλης συνοχής, έχει την τάση να κινείται σε μικρές ομάδες και να παρουσιάζει κοινωνικές ιεραρχίες, οι οποίες επηρεάζουν τόσο τη σίτιση όσο και την πρόσβαση σε πόρους. Σε περιβάλλοντα εκτροφής, αυτές οι ιεραρχίες μπορούν να ενισχυθούν ή να αποδυναμωθούν ανάλογα με την πυκνότητα, τον τρόπο σίτισης και τη συνολική διαχείριση της μονάδας.

Η φυσιολογία της τσιπούρας περιλαμβάνει επίσης έναν καλά αναπτυγμένο άξονα stress (HPI axis), ο οποίος ενεργοποιείται όταν το ψάρι έρχεται αντιμέτωπο με περιβαλλοντικές προκλήσεις, κοινωνική πίεση ή χειρισμό. Η διαχείριση του stress αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο της ευζωίας, καθώς η υπερδιέγερση του άξονα αυτού μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της κορτιζόλης, αναστολή της ανοσολογικής λειτουργίας και μειωμένη ανάπτυξη. Για τον λόγο αυτό, η τσιπούρα αποτελεί ιδανικό είδος για τη μελέτη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ συμπεριφοράς, περιβάλλοντος και φυσιολογικής κατάστασης.

Η οικολογία της τσιπούρας αντανακλά τη θέση της στο μεσογειακό οικοσύστημα. Ως είδος που κινείται τόσο σε παράκτιες όσο και σε πιο ανοιχτές θαλάσσιες περιοχές, λειτουργεί ως κρίσιμος κρίκος στις τροφικές αλυσίδες, συνδέοντας κατώτερα επίπεδα παραγωγής με μεγαλύτερους θηρευτές. Η παρουσία της σε εκβολές και λιμνοθάλασσες προσδίδει ιδιαίτερη σημασία στις μεταβατικές ζώνες μεταξύ γλυκού και θαλασσινού νερού, οι οποίες συχνά λειτουργούν ως κρίσιμα ενδιαιτήματα για τα πρώιμα στάδια ανάπτυξης.

Συνολικά, η *Sparus aurata* αποτελεί ένα είδος που συνδυάζει εξαιρετική οικολογική προσαρμοστικότητα, υψηλή εμπορική αξία και πλούσια ερευνητική δυναμική. Η κατανόηση της βιολογίας και της οικολογίας της δεν περιορίζεται στη διευκόλυνση της εκτροφής της· προσφέρει μια βαθύτερη εικόνα για τις σχέσεις των θαλάσσιων οργανισμών με το περιβάλλον τους και για τους παράγοντες που καθορίζουν τη συμπεριφορά και τη φυσιολογία τους.

1.4 Η έννοια της ευζωίας στα ψάρια

Η ευζωία στα ψάρια έχει εξελιχθεί τις τελευταίες δεκαετίες σε ένα από τα πλέον κεντρικά ζητήματα της σύγχρονης υδατοκαλλιέργειας. Η συζήτηση γύρω από την ποιότητα ζωής των εκτρεφόμενων οργανισμών ξεκίνησε αρχικά από τον χώρο της εκτροφής χερσαίων ζώων, όμως σύντομα επεκτάθηκε και στα υδρόβια είδη, καθώς έγινε σαφές ότι η παραγωγικότητα, η υγεία και η συμπεριφορά τους συνδέονται άμεσα με τη δυνατότητά τους να διαβιούν σε ένα περιβάλλον που δεν θέτει σε διαρκή δοκιμασία τις φυσιολογικές τους αντοχές. Η ευζωία δεν αποτελεί απλώς έναν ηθικό προβληματισμό, αλλά έναν κρίσιμο δείκτη ποιότητας παραγόμενου προϊόντος και βιώσιμης ανάπτυξης (Conte, 2004).

Στα ψάρια, η ευζωία είναι βαθιά πολυπαραγοντική. Περιλαμβάνει τη φυσιολογική κατάσταση του οργανισμού, τη συμπεριφορά του, την υγεία, την πρόσβαση σε τροφή και οξυγόνο, τη δυνατότητα εκδήλωσης φυσικών συμπεριφορών και, βέβαια, την ποιότητα του περιβάλλοντος στο οποίο διαβιεί. Οι Ashley (2007) και Huntingford et al. (2006) επισημαίνουν

ότι, σε αντίθεση με τα θηλαστικά, τα ψάρια δεν εκδηλώνουν τα συμπτώματα stress με τρόπο που είναι εύκολα αναγνωρίσιμος από τον άνθρωπο. Για τον λόγο αυτό, η αξιολόγηση της ευζωίας απαιτεί μια συνδυαστική προσέγγιση, όπου οι συμπεριφορικές παρατηρήσεις, οι φυσιολογικοί δείκτες και η κατάσταση του περιβάλλοντος συνθέτουν μια ολοκληρωμένη εικόνα.

Η έννοια του stress είναι κεντρική στη μελέτη της ευζωίας. Το stress, σε βιολογικό επίπεδο, είναι μια φυσιολογική αντίδραση του οργανισμού που ενεργοποιείται όταν αυτός έρχεται αντιμέτωπος με μια πρόκληση ή απειλή. Μέχρι ένα σημείο, η αντίδραση αυτή είναι προσαρμοστική και ωφέλιμη, καθώς επιτρέπει στο ψάρι να αποκρίνεται αποτελεσματικά σε μεταβολές του περιβάλλοντος, σε κοινωνική πίεση ή σε προσωρινές ελλείψεις πόρων. Ωστόσο, όταν η έκθεση σε στρεσογόνους παράγοντες είναι παρατεταμένη ή έντονη, ο οργανισμός αδυνατεί να επανέλθει σε κατάσταση ομοιόστασης και τελικά η συνολική ευζωία υποβαθμίζεται (Barton, 2002).

Το βιολογικό υπόβαθρο του stress στα ψάρια στηρίζεται στην ενεργοποίηση του άξονα υποθαλάμου–υπόφυσης–ιντερνεφρού (HPI axis). Η ενεργοποίηση αυτού του άξονα οδηγεί στην έκκριση κορτιζόλης, της κύριας ορμόνης stress στα τηλεόστεα. Η κορτιζόλη προκαλεί μια σειρά από μεταβολικές αλλαγές που επιτρέπουν στο ψάρι να ανταποκριθεί στον παράγοντα που προκάλεσε το stress. Σε χρόνιες καταστάσεις όμως, τα αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης συνδέονται με ανοσοκαταστολή, μείωση της όρεξης, αλλαγές στην συμπεριφορά, επιβράδυνση της ανάπτυξης και γενικευμένη μείωση της φυσιολογικής απόδοσης (Huntingford et al., 2006).

Το περιβάλλον εκτροφής αποτελεί ίσως τον πιο καθοριστικό παράγοντα για την ευζωία των ψαριών. Η ποιότητα του νερού, η διαθεσιμότητα οξυγόνου, η θερμοκρασία, οι πυκνότητες, η παρουσία θορύβου, τα επίπεδα φωτισμού και η συχνότητα χειρισμών αποτελούν παράγοντες που μπορούν είτε να υποστηρίξουν είτε να διαταράξουν την ποιότητα ζωής. Για παράδειγμα,

η ανεπαρκής οξυγόνωση ή οι έντονες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μπορούν να οδηγήσουν σε άμεση φυσιολογική δυσφορία. Αντίστοιχα, η υψηλή πυκνότητα εκτροφής συχνά οδηγεί σε αυξημένες κοινωνικές συγκρούσεις και περιορίζει την πρόσβαση σε τροφή, παράγοντες που επηρεάζουν έντονα τη συμπεριφορά και την υγεία.

Η συμπεριφορά αποτελεί έναν από τους πιο ευαίσθητους και ακριβείς δείκτες ευζωίας. Τα ψάρια ανταποκρίνονται άμεσα σε αλλαγές του περιβάλλοντος, και η συμπεριφορά τους αντικατοπτρίζει συχνά με σαφήνεια την εσωτερική τους κατάσταση. Αλλαγές στην κίνηση, στον τρόπο προσέγγισης της τροφής, στην κοινωνική οργάνωση και στην χρήση του διαθέσιμου χώρου μπορούν να αποτελέσουν πρώιμα σημεία δυσφορίας. Σύγχρονες μελέτες τονίζουν ότι η συμπεριφορική παρακολούθηση, ιδιαίτερα όταν γίνεται με συστήματα συνεχούς βιντεοανάλυσης, παρέχει έναν από τους πιο αξιόπιστους μηχανισμούς αξιολόγησης της ευζωίας σε πραγματικό χρόνο (Martins et al., 2012).

Η ευζωία δεν αφορά μόνο την αποφυγή αρνητικών καταστάσεων· σχετίζεται και με την ικανότητα του ψαριού να εκδηλώνει φυσικές, θετικές συμπεριφορές. Η έκφραση της φυσικής κινητικότητας, η ενεργή αναζήτηση τροφής, η συμμετοχή σε τυπικά κοινωνικά μοτίβα και η ισορροπημένη χρήση του διαθέσιμου χώρου αποτελούν ενδείξεις ενός οργανισμού που βρίσκεται σε καλή κατάσταση. Η έρευνα έχει δείξει ότι τα ψάρια που εκδηλώνουν τέτοιες συμπεριφορές εμφανίζουν υψηλότερη ανθεκτικότητα σε ασθένειες, καλύτερη ανάπτυξη και μεγαλύτερη συνολική παραγωγικότητα (Schreck & Tort, 2016).

Τις τελευταίες δεκαετίες, η συζήτηση για την ευζωία έχει ενισχυθεί από νέες προσεγγίσεις που συνδυάζουν τη βιολογία με την ηθική, την οικονομία και την περιβαλλοντική διαχείριση. Η βιώσιμη υδατοκαλλιέργεια δεν νοείται πλέον χωρίς την ενεργή ενσωμάτωση της ευζωίας στις διαδικασίες παραγωγής. Οι διεθνείς πιστοποιήσεις — όπως το Aquaculture Stewardship Council (ASC), το GlobalG.A.P. και τα εθνικά ευρωπαϊκά πρότυπα — απαιτούν πλέον

συστηματική παρακολούθηση της ευζωίας, τεκμηριωμένη διαχείριση των πυκνοτήτων, αξιολόγηση του stress και σαφή τεκμήρια καλής πρακτικής.

Συνολικά, η ευζωία στα ψάρια αποτελεί μια σύνθετη αλλά απολύτως αναγκαία διάσταση της σύγχρονης υδατοκαλλιέργειας. Η ενσωμάτωσή της στις πρακτικές εκτροφής δεν συμβάλλει μόνο στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των οργανισμών, αλλά ενισχύει και την αποτελεσματικότητα, τη βιωσιμότητα και τη συνολική αξιοπιστία του κλάδου.

1.5 Η ιχθυοφόρτιση ως παράγοντας stress

Η πυκνότητα εκτροφής ή ιχθυοφόρτιση αποτελεί έναν από τους πιο καθοριστικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ευζωία των εκτρεφόμενων ψαριών και έχει αποτελέσει επί δεκαετίες αντικείμενο εντατικής έρευνας. Από τις αρχικές μελέτες των Montero et al. (1999) και Turnbull et al. (2005) μέχρι τις σύγχρονες μετα-αναλύσεις των Ellis et al. (2012) και López et al. (2021), φαίνεται ξεκάθαρα ότι η αυξημένη πυκνότητα δημιουργεί ένα περιβάλλον όπου τα ψάρια αντιμετωπίζουν μεγαλύτερο ανταγωνισμό, περιορισμένο χώρο κολύμβησης, αυξημένη κοινωνική πίεση και υψηλότερα επίπεδα φυσιολογικού stress.

Το stress που σχετίζεται με την υψηλή πυκνότητα βασίζεται κυρίως στην ενεργοποίηση του άξονα HPI, ο οποίος οδηγεί σε αυξημένη έκκριση κορτιζόλης (Barton, 2002· Schreck & Tort, 2016). Η κορτιζόλη δεν αποτελεί απλώς έναν δείκτη stress, αλλά έναν βιοχημικό μοχλό που μεταβάλλει την ενεργειακή οικονομία του οργανισμού. Σε συνθήκες παρατεταμένης υπερφόρτωσης, οι ενεργειακοί πόροι ανακατανέμονται από την ανάπτυξη προς τους μηχανισμούς αντιμετώπισης stress, οδηγώντας έτσι σε χαμηλότερους ρυθμούς αύξησης, μειωμένη όρεξη και αυξημένη ευαλωτότητα σε ασθένειες, όπως έχουν καταδείξει οι μελέτες των Pickering (1998), Tort (2011) και Martins et al. (2012).

Η συμπεριφορά αποτελεί έναν από τους πιο άμεσους και ευαίσθητους δείκτες της επίδρασης της πυκνότητας. Έρευνες σε σπαρίδια, λαβράκια, σολομοειδή και τιλάπιες δείχνουν

ότι η αύξηση της ιχθυοφόρτισης προκαλεί αλλαγές στην κινητική δραστηριότητα, στην κολυμβητική συμπεριφορά και στην πρόσβαση στην τροφή (Arechavala-Lopez et al., 2012· Galhardo & Oliveira, 2009). Σε συνθήκες υψηλής πυκνότητας, πολλά άτομα υιοθετούν μια πιο παθητική συμπεριφορά, μειώνοντας τις μετακινήσεις και αποφεύγοντας τις ζώνες έντονης κοινωνικής αλληλεπίδρασης (Castanheira et al., 2017). Αντίθετα, άλλα άτομα γίνονται πιο επιθετικά, προσπαθώντας να εξασφαλίσουν προτεραιότητα στην πρόσβαση στους διαθέσιμους πόρους.

Η πρόσβαση στην τροφή είναι συχνά ο βασικός άξονας γύρω από τον οποίο διαμορφώνονται οι συμπεριφορικές διαφοροποιήσεις. Μελέτες σε *Sparus aurata* «έχουν δείξει ότι η υψηλή πυκνότητα καθυστερεί την έναρξη της σίτισης, αυξάνει τον δισταγμό κατά την προσέγγιση της τροφής και εντείνει τον ανταγωνισμό» (López-Olmeda & Sánchez-Vázquez, 2010· Papoutsoglou et al., 2001). «Επιπλέον, η κινητική ανάλυση δείχνει ότι τα ψάρια σε υψηλή πυκνότητα παρουσιάζουν λιγότερο ευθύγραμμες τροχιές και μεγαλύτερη απόκλιση από την τροφή (Martos-Sitcha et al., 2023), κάτι που υποδηλώνει διαταραχή της φυσιολογικής και συμπεριφορικής τους οργάνωσης».

Η υψηλή πυκνότητα συνδέεται επίσης με αυξημένη κοινωνική πίεση. Τα ψάρια, ακόμη και όταν δεν σχηματίζουν σταθερές κοινωνικές ιεραρχίες, παρουσιάζουν ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις που εντείνονται όσο ο διαθέσιμος χώρος μειώνεται (Huntingford et al., 2006). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση επιθετικών συμπεριφορών, μεγαλύτερη αστάθεια στις κοινωνικές δομές και αυξημένη ενεργειακή δαπάνη για συμπεριφορές άμυνας ή αποφυγής (Volpato et al., 2003). Σε αρκετά είδη, η χρόνια κοινωνική σύγκρουση επηρεάζει την ανοσολογική λειτουργία και μειώνει την ανθεκτικότητα σε παθογόνα, όπως έχουν τεκμηριώσει οι Montero et al. (2001) και Tort (2011).

Η φυσιολογία των ψαριών επηρεάζεται εξίσου έντονα. Η υψηλή ιχθυοφόρτιση συνδέεται με υποξικές μικροζώνες μέσα στους κλωβούς, με αύξηση του μεταβολικού φορτίου

και με διαταραχές στην ομοιοστασία ιόντων (Ellis et al., 2012). Οι αλλαγές αυτές έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της ικανότητας των ψαριών να ανταποκρίνονται σε δευτερογενείς προκλήσεις, όπως η αλλαγή θερμοκρασίας, η μεταφορά ή ο χειρισμός (Lupatsch et al., 2003). Επίσης, η συνεχής παρουσία υψηλών επιπέδων αμμωνίας και CO₂ στα πυκνοκατοικημένα περιβάλλοντα επηρεάζει την όρεξη, την ανοσολογική λειτουργία και την ποιότητα της σάρκας (Davidson et al., 2014).

Η πυκνότητα δεν λειτουργεί μεμονωμένα αλλά αλληλεπιδρά με άλλους περιβαλλοντικούς και διαχειριστικούς παράγοντες. Ο τρόπος σίτισης, η ένταση φωτός, η ποιότητα της τροφής, η παρουσία υποστρώματος, ο θόρυβος και ο χειρισμός μπορούν να ενισχύσουν ή να αποδυναμώσουν την επίδρασή της (Backström & Winberg, 2017· Ashley, 2007). Για αυτόν τον λόγο, η σύγχρονη υδατοκαλλιέργεια επιδιώκει όχι απλώς να ορίσει γενικές «βέλτιστες πυκνότητες», αλλά να διαμορφώσει δυναμικά πρότυπα διαχείρισης που λαμβάνουν υπόψη το είδος, το μέγεθος, το περιβάλλον και την τεχνολογία της εκτροφής.

Στην τσιπούρα ειδικότερα, η ιχθυοφόρτιση έχει συνδεθεί με αλλαγές στη συμπεριφορά σίτισης, στις μεταβολικές ανταποκρίσεις και στους δείκτες ευζωίας. Η *Sparus aurata* είναι ένα είδος που επηρεάζεται έντονα από τον περιορισμό χώρου, γεγονός που έχει επιβεβαιωθεί από πειραματικές και εμπορικές μελέτες (Papoutsoglou et al., 2001· Ellis et al., 2012). Η δυσανάλογη αύξηση της πυκνότητας συχνά οδηγεί σε μειωμένη ανάπτυξη, αυξημένη θνησιμότητα στα πρώιμα στάδια και αλλαγές στην ποιότητα της σάρκας κατά την τελική εκτροφή.

Συνοψίζοντας, η ιχθυοφόρτιση αποτελεί έναν από τους ισχυρότερους παράγοντες stress στην υδατοκαλλιέργεια. Η επίδρασή της δεν περιορίζεται στη συμπεριφορά ή στη φυσιολογία, αλλά επηρεάζει ολόκληρο το παραγωγικό σύστημα. Η κατανόηση των μηχανισμών αυτής της επίδρασης είναι απαραίτητη για τη διαμόρφωση βιώσιμων πρακτικών και για την ανάπτυξη συστημάτων εκτροφής που προάγουν την ευζωία και τη συνολική παραγωγικότητα.

1.6 Η συμπεριφορά ως δείκτης ευζωίας

Η συμπεριφορά των ψαριών αποτελεί έναν από τους πιο ευαίσθητους και αξιόπιστους δείκτες ευζωίας, καθώς αντανακλά άμεσα τη φυσιολογική τους κατάσταση, την αντίδρασή τους στο περιβάλλον και τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται και επεξεργάζονται τα εξωτερικά ερεθίσματα. Σε αντίθεση με τους αιματολογικούς ή ορμονικούς δείκτες, οι οποίοι απαιτούν χειρισμό και συχνά μεταβάλλονται ως αποτέλεσμα του ίδιου του δειγματοληπτικού στρες (Barton, 2002· Mommsen et al., 1999), η συμπεριφορά μπορεί να παρατηρηθεί και να αναλυθεί συνεχώς χωρίς να διαταράσσει την ομοιόσταση του οργανισμού.

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί μια ολοκληρωμένη επιστημονική προσέγγιση που αντιμετωπίζει τη συμπεριφορά όχι ως απλή περιγραφή κινήσεων, αλλά ως «γλώσσα» μέσω της οποίας το ψάρι εκφράζει την κατάσταση ευζωίας του (Huntingford et al., 2006· Ashley, 2007). Στα ψάρια της υδατοκαλλιέργειας, η συμπεριφορά συνδέεται στενά με το stress, την πρόσβαση στους πόρους, την κοινωνική δυναμική και την ποιότητα του περιβάλλοντος. Ακόμη και μικρές αλλαγές στις περιβαλλοντικές συνθήκες μπορούν να αποτυπωθούν άμεσα στη κολυμβητική δραστηριότητα, στον τρόπο σίτισης, στην κατανομή στον χώρο και στη διαπροσωπική απόσταση μεταξύ των ατόμων (Martins et al., 2012· Castanheira et al., 2017).

Η τσιπούρα (*Sparus aurata*), ως ιδιαίτερα οπτικο-καθοδηγούμενο είδος, παρουσιάζει συγκεκριμένα και σαφώς αναγνωρίσιμα συμπεριφορικά μοτίβα που συνδέονται με την ευζωία της. Κατά τη σίτιση, η ταχύτητα προσέγγισης της τροφής, η ευθύτητα της τροχιάς, ο χρόνος μέχρι την πρώτη κατάποση και ο βαθμός δισταγμού αποτελούν θεμελιώδεις παράμετροι για την αξιολόγηση της κατάστασης του ψαριού (Arechavala-Lopez et al., 2012· Papoutsoglou et al., 2001). Όταν το ψάρι βρίσκεται σε κατάσταση stress, είτε λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων είτε λόγω κοινωνικής πίεσης, αυτά τα μοτίβα αλλοιώνονται, προκαλώντας καθυστέρηση στη σίτιση, αλλαγές στην ταχύτητα, μεγαλύτερη απόσταση αποφυγής και

περιορισμένη συμμετοχή στις ομαδικές κινητικές δραστηριότητες (Galhardo & Oliveira, 2009· Barreto & Volpato, 2011).

Τα συμπεριφορικά δεδομένα έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι επιτρέπουν την αναγνώριση καταστάσεων stress πριν αυτές αποτυπωθούν σε φυσιολογικές ή κλινικές αλλαγές. Μελέτες σε σολομό, λαβράκι, τιλάπια και μεσογειακά είδη έχουν δείξει ότι η μειωμένη χρήση του διαθέσιμου χώρου, η υπερβολική κολυμβητική δραστηριότητα, η απομόνωση από την ομάδα ή η επιμονή σε περιφερειακές ζώνες των κλωβών αποτελούν πρώιμες ενδείξεις κακής ευζωίας (Ellis et al., 2012· Martins et al., 2012· Sampson et al., 2015). Στην *Sparus aurata*, η υψηλή ιχθυοφόρτιση και οι κακές περιβαλλοντικές συνθήκες οδηγούν σε χαρακτηριστικές αλλαγές, όπως αυξημένη προσοχή σε ερεθίσματα απειλής, μείωση της ομαδικότητας και παροδικά επεισόδια επιθετικότητας, τα οποία συχνά αντανακλούν την προσπάθεια των ατόμων να διατηρήσουν προτεραιότητα σε περιορισμένους πόρους (Arechavala-Lopez et al., 2012· Balasch & Tort, 2019).

Η πρόοδος της τεχνολογίας έχει επιτρέψει την αντικειμενική, λεπτομερή και αδιάκοπη παρακολούθηση της συμπεριφοράς. Εργαλεία όπως το EthoVision, το ImageJ, το BORIS και το Tracker έχουν μετατρέψει την ανάλυση συμπεριφοράς σε ποσοτική διαδικασία, επιτρέποντας τη μέτρηση παραμέτρων όπως η ταχύτητα, η επιτάχυνση, η στροφή, η τροχιά, η απόσταση από την τροφή και η χρήση του διαθέσιμου χώρου με ακρίβεια που δεν ήταν εφικτή στο παρελθόν (Martos-Sitcha et al., 2023· Delcourt et al., 2013). Η δυνατότητα χρήσης βιντεοανάλυσης έχει μάλιστα οδηγήσει στη διαμόρφωση νέων συμπεριφορικών πρωτοκόλλων για την αξιολόγηση της ευζωίας, προσαρμοσμένων στις ανάγκες της σύγχρονης υδατοκαλλιέργειας (Chandroo et al., 2004).

Η συμπεριφορά συνδέεται φυσικά με τη βιοχημεία και τη φυσιολογία του stress. Για παράδειγμα, αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης έχουν συσχετιστεί με μείωση της πρωτοβουλίας, περιορισμένη εξερεύνηση και αύξηση των αποφυγών στα περισσότερα εμπορικά είδη ψαριών

(Schreck & Tort, 2016· Tort, 2011). Επιπλέον, η διατάραξη της ομοιόστασης του οξυγόνου και οι ανεπαρκείς συνθήκες νερού συχνά οδηγούν σε συμπεριφορές όπως ανέβασμα στην επιφάνεια, περιοδική προσπάθεια για αερισμό ή έντονη κολύμβηση προς ζώνες υψηλότερης οξυγόνωσης, οι οποίες αποτελούν σαφείς ενδείξεις φυσιολογικής δυσφορίας (Davidson et al., 2014· Remen et al., 2016).

Εξίσου σημαντική είναι η σχέση της συμπεριφοράς με την κοινωνική δομή του πληθυσμού. Σε είδη που παρουσιάζουν κοινωνική ιεραρχία, όπως η τσιπούρα, οι αλλαγές στη συμπεριφορά συχνά αντικατοπτρίζουν μεταβολές στην κοινωνική πίεση, την πυκνότητα και την ανταγωνιστικότητα. Μελέτες έχουν δείξει ότι η διαταραχή της κοινωνικής ισορροπίας ή η επιβολή υψηλής πυκνότητας οδηγεί σε σημαντικές αποκλίσεις στη σίτιση, στην κινητικότητα και στη στρατηγική προσέγγισης της τροφής (Volpato et al., 2003· Castanheira et al., 2017). Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η συμπεριφορά δεν αποτελεί απλώς δείκτη αρνητικής κατάστασης· μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση θετικών καταστάσεων ευζωίας. Η ενεργητική εξερεύνηση, η φυσιολογική ομαδικότητα, η ισορροπημένη χρήση του χώρου και η σταθερή συμμετοχή στη σίτιση αντικατοπτρίζουν οργανισμούς που βρίσκονται σε καλή φυσιολογική κατάσταση και εμφανίζουν υψηλό επίπεδο προσαρμοστικής ικανότητας (Reimert et al., 2013· Castanheira et al., 2017).

Συνολικά, η συμπεριφορά αποτελεί ένα πολύπλοκο αλλά εξαιρετικά ισχυρό εργαλείο για την αξιολόγηση της ευζωίας στην υδατοκαλλιέργεια. Οι προόδοι στην τεχνολογία, η βαθύτερη κατανόηση των μηχανισμών του stress και η ολοένα και μεγαλύτερη ενσωμάτωση συμπεριφορικών πρωτοκόλλων στην έρευνα και στη βιομηχανία καθιστούν πλέον τη συμπεριφορική ανάλυση βασικό πυλώνα της σύγχρονης παραγωγής. Για την τσιπούρα, όπως και για άλλα μεσογειακά είδη, η συμπεριφορά δεν αποτελεί μόνο δείκτη ευζωίας αλλά και προγνωστικό παράγοντα παραγωγικότητας, υγείας και ποιότητας προϊόντος.

1.7 Φυτογενή πρόσθετα: δράσεις και ρόλος στην ευζωία των ψαριών

Τα φυτογενή πρόσθετα (phytogenic feed additives, PFAs) αποτελούν μια από τις πλέον ενδιαφέρουσες και γρήγορα εξελισσόμενες τάσεις στη διατροφή των εκτρεφόμενων ψαριών. Πρόκειται για φυσικές ουσίες φυτικής προέλευσης —αιθέρια έλαια, εκχυλίσματα βοτάνων, φαινολικές ενώσεις, τερπένια και αλκαλοειδή— οι οποίες χρησιμοποιούνται με στόχο την ενίσχυση της υγείας, της ανάπτυξης και της ευζωίας των οργανισμών. Οι Reverter et al. (2014) τονίζουν ότι το ενδιαφέρον για τα φυτογενή πρόσθετα συνδέεται τόσο με την ανάγκη για φυσικές, μη φαρμακευτικές λύσεις, όσο και με τις αυστηρότερες διεθνείς οδηγίες για τη μείωση της χρήσης αντιβιοτικών στην υδατοκαλλιέργεια.

Η δράση των φυτογενών πρόσθετων είναι πολυεπίπεδη και περιλαμβάνει αντιμικροβιακές, αντιοξειδωτικές, ανοσοτροποποιητικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες. Μελέτες σε διάφορα είδη ψαριών έχουν δείξει ότι ουσίες όπως τα φλαβονοειδή, τα φαινολικά οξέα, οι λιγνάνες και τα μονοτερπένια μπορούν να ενισχύσουν σημαντικά την ανοσολογική δραστηριότητα, αυξάνοντας την παραγωγή λυσοζύμης, την φαγοκυτταρική ικανότητα και την συνολική αντιοξειδωτική κατάσταση (Dawood & Koshio, 2019· Van Hai, 2015· Awad & Awaad, 2017). Η ενίσχυση αυτή συνδέεται συχνά με μειωμένη θνησιμότητα σε περιπτώσεις μόλυνσης από παθογόνα, όπως *Vibrio anguillarum* ή *Aeromonas hydrophila*, σύμφωνα με τα ευρήματα των Abdel-Tawwab et al. (2018) και Suttili et al. (2016).

Η αντιοξειδωτική δράση των φυτογενών πρόσθετων αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους μηχανισμούς μέσω των οποίων επηρεάζουν την ευζωία. Το οξειδωτικό stress, το οποίο προκύπτει από την υπερπαραγωγή ελευθέρων ριζών, επηρεάζει άμεσα τη φυσιολογία των ψαριών και σχετίζεται με μειωμένη ανάπτυξη, αλλοιώσεις στη συμπεριφορά και αυξημένη ευαισθησία σε περιβαλλοντικές προκλήσεις (Lushchak, 2011). Ουσίες όπως η κινναμαλδεΐδη, η θυμόλη, η καρβακρόλη και η ευγενόλη έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές στη μείωση του οξειδωτικού φορτίου και στη σταθεροποίηση των ενζυμικών αμυντικών

μηχανισμών, όπως της καταλάσης (CAT), της υπεροξειδικής δισμουτάσης (SOD) και της γλουταθειόνης (GSH) (Dawood et al., 2020· Hoseinifar et al., 2020· Talpur, 2014).

Πέρα από τις φυσιολογικές δράσεις, τα φυτογενή πρόσθετα έχουν σημαντική επίδραση στη συμπεριφορά των ψαριών. Μελέτες σε τιλάπια, πέστροφες και λαβράκια έχουν δείξει ότι η προσθήκη φυτικών εκχυλισμάτων στη διατροφή μπορεί να μειώσει τους δείκτες stress, να μετριάσει την επιθετικότητα και να βελτιώσει την απόκριση κατά τη σίτιση (Ferreira et al., 2016· Sánchez et al., 2016· Dawood & Koshio, 2021). Στην περίπτωση της τσιπούρας, αν και οι διαθέσιμες μελέτες είναι λιγότερες σε σύγκριση με τα γλυκά νερά, εμφανίζεται ξεκάθαρη τάση βελτίωσης της κινητικής συμπεριφοράς και μείωσης του δισταγμού κατά τη σίτιση όταν χρησιμοποιούνται φυτογενές συστατικά με υψηλή βιοδραστικότητα (Karapanagiotidis et al., 2014· Antonopoulou et al., 2023).

Ανάμεσα στα πιο μελετημένα φυτογενή πρόσθετα συγκαταλέγεται η κανέλα και το αιθέριο έλαιό της, με κύριο δραστικό συστατικό την κινναμαλδεΰδη. Η κανέλα παρουσιάζει έντονες αντιοξειδωτικές και αντιμικροβιακές ιδιότητες, όπως έχουν τεκμηριώσει οι Matan et al. (2006), Shan et al. (2007) και Burt (2004). Στην υδατοκαλλιέργεια, η κινναμαλδεΰδη έχει δείξει ικανότητα βελτίωσης της όρεξης, ενίσχυσης της πεπτικής λειτουργίας και αύξησης της αποτελεσματικότητας χρήσης της τροφής, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Dawood et al. (2020) και Pourmozaffar et al. (2020). Επιπλέον, οι αντιμικροβιακές της δράσεις φαίνεται να μειώνουν την παρουσία παθογόνων βακτηρίων στο εντερικό μικροβίωμα, συμβάλλοντας στη συνολική υγεία των ψαριών (Hoseinifar et al., 2020· Midhun et al., 2016).

Σε συμπεριφορικό επίπεδο, η κανέλα έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει θετικά τον τρόπο προσέγγισης της τροφής και μειώνει τον δισταγμό, ειδικά σε είδη που παρουσιάζουν αυξημένη ευαισθησία στο stress, όπως η τσιπούρα. Πρόσφατα δεδομένα από μελέτες που εστιάζουν στη συμπεριφορά σίτισης σε μεσογειακά είδη δείχνουν ότι η προσθήκη αιθέριου ελαίου κανέλας μπορεί να τροποποιήσει το «χημικό προφίλ» της τροφής, ενισχύοντας τα οσφρητικά και

γευστικά ερεθίσματα και βελτιώνοντας την κινητική ανταπόκριση κατά τη σίτιση (Antonopoulou et al., 2023· Dawood & Koshio, 2021).

Παράλληλα, η χρήση φυτογενών πρόσθετων συνδέεται με σημαντικές βελτιώσεις στην ευζωία μέσω της μείωσης των δεικτών stress. Τελικές μετρήσεις κορτιζόλης, συμπεριφορικών αποκλίσεων και ανοσολογικών αντιδράσεων έχουν δείξει ότι τα ψάρια που λαμβάνουν φυτικά εκχυλίσματα συχνά εμφανίζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε πειραματικές προκλήσεις, όπως η υπερφόρτωση, η υποξία ή η μεταφορά (Tort, 2011· Abdel-Tawwab et al., 2018· Hoseinifar et al., 2020). Είναι χαρακτηριστικό ότι σε πολλές περιπτώσεις τα φυτογενή πρόσθετα λειτουργούν ως «φυσικά αντικαταθλιπτικά» του άξονα HPI, συμβάλλοντας στη σταθεροποίηση των μεταβολικών αποκρίσεων και στη διατήρηση μιας πιο ομαλής συμπεριφοράς (Schreck & Tort, 2016· Balasch & Tort, 2019).

Η σημασία των φυτογενών πρόσθετων δεν περιορίζεται στη βελτίωση της ευζωίας αλλά επεκτείνεται στην περιβαλλοντική και οικονομική βιωσιμότητα της υδατοκαλλιέργειας. Σε αντίθεση με τα αντιβιοτικά και τις συνθετικές χημικές ουσίες, τα φυτικά συστατικά είναι βιοαποδομήσιμα, έχουν χαμηλό οικολογικό αποτύπωμα και δεν δημιουργούν ανθεκτικά παθογόνα στελέχη (Van Hai, 2015· Reverter et al., 2014). Η χρήση τους είναι συμβατή με τα διεθνή πρότυπα πιστοποίησης (ASC, GlobalG.A.P.) και ευθυγραμμίζεται με τη σύγχρονη απαίτηση των καταναλωτών για ασφαλή και φυσικά παραγόμενα προϊόντα.

Συνολικά, τα φυτογενή πρόσθετα αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη κατηγορία εργαλείων για τη βελτίωση της υγείας, της συμπεριφοράς και της ευζωίας των ψαριών της υδατοκαλλιέργειας. Ο πολυδιάστατος τους χαρακτήρας, η φυσική τους προέλευση και οι αποδεδειγμένες βιολογικές τους δράσεις τα καθιστούν μια πραγματικά βιώσιμη επιλογή για τον σύγχρονο κλάδο. Στην περίπτωση της τσιπούρας, οι επιδράσεις τους στη συμπεριφορά σίτισης αποκτούν ιδιαίτερη σημασία, καθώς αποτελούν έναν ισχυρό δείκτη ευζωίας και συνολικής απόδοσης.

1.8 Στόχος και δομή της παρούσας εργασίας

Η παρούσα εργασία εστιάζει στη διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά, τη λειτουργική απόκριση και την ευζωία της *Sparus aurata* σε συνθήκες εκτροφής. Η σύνδεση ανάμεσα στην ιχθυοφόρτιση, στο stress, στον τρόπο σίτισης και στην κινητική συμπεριφορά αποτελεί έναν από τους πιο κρίσιμους άξονες της σύγχρονης υδατοκαλλιέργειας, καθώς σχετίζεται άμεσα με τη βιωσιμότητα των μονάδων, την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος και την εφαρμογή πρακτικών καλής διαβίωσης (Huntingford et al., 2006· Ellis et al., 2012· Martins et al., 2012). Παράλληλα, η αξιοποίηση φυσικών διατροφικών ενισχυτικών, όπως τα φυτογενή πρόσθετα, προσφέρει μια καινοτόμα προοπτική για την ενίσχυση της υγείας και την τροποποίηση της συμπεριφοράς των ψαριών μέσω μηχανισμών που δεν βασίζονται σε χημικά ή φαρμακευτικά μέσα (Reverter et al., 2014· Dawood & Koshio, 2019· Hoseinifar et al., 2020).

Η εργασία αυτή διερευνά δύο κεντρικές πειραματικές μεταβλητές: αφενός την επίδραση διαφορετικών επιπέδων ιχθυοφόρτισης, και αφετέρου την επίδραση τροφής εμπλουτισμένης με αιθέριο έλαιο κανέλας, το οποίο έχει αποδειχθεί ότι διαθέτει αντιοξειδωτικές, αντιμικροβιακές και ανοσοτροποποιητικές ιδιότητες (Shan et al., 2007· Hosseini et al., 2020· Dawood & Koshio, 2021). Κεντρικό σημείο της μελέτης είναι η αξιολόγηση της συμπεριφοράς σίτισης και η ανάλυση κινητικών δεικτών μέσω βιντεοανάλυσης, μια μεθοδολογική προσέγγιση που τα τελευταία χρόνια έχει καταστεί βασικό εργαλείο της επιστήμης της ευζωίας (Martos-Sitcha et al., 2023· Delcourt et al., 2013).

Η υπόθεση που εξετάζεται είναι ότι η αυξημένη πυκνότητα εκτροφής επιβαρύνει τη συμπεριφορά σίτισης, μειώνει την ταχύτητα προσέγγισης, εντείνει τον δισταγμό και αυξάνει τις αποκλίσεις στην κίνηση προς την τροφή, ενώ η προσθήκη αιθέριου ελαίου κανέλας στη διατροφή μπορεί να μετριάσει ορισμένες από αυτές τις επιδράσεις. Μέσα από τη συνδυαστική αξιολόγηση φυσιολογικών, συμπεριφορικών και διατροφικών παραμέτρων επιχειρείται να

δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο μοντέλο κατανόησης των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στην πυκνότητα, την τροφή και την ευζωία της τσιπούρας.

Η δομή της εργασίας ακολουθεί μια λογική και κλιμακωτή προσέγγιση. Το πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζει το θεωρητικό υπόβαθρο που σχετίζεται με την παγκόσμια εξέλιξη της υδατοκαλλιέργειας, τη σημασία της μεσογειακής παραγωγής, τη βιολογία και οικολογία της *Sparus aurata*, καθώς και τις έννοιες της ευζωίας, της ιχθυοφόρτισης και των φυτογενών πρόσθετων. Οι ενότητες αυτές δημιουργούν το επιστημονικό πλαίσιο μέσα στο οποίο εντάσσεται η παρούσα μελέτη, επιτρέποντας την καλύτερη κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη συμπεριφορική απάντηση των ψαριών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται λεπτομερώς τα βιολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά του είδους, με έμφαση στις επιδράσεις του stress στον μεταβολισμό, στη συμπεριφορά και στις επιδόσεις της τσιπούρας. Το τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζει τη μεθοδολογία της έρευνας, περιγράφοντας τον πειραματικό σχεδιασμό, τα συστήματα εκτροφής, τις συνθήκες ιχθυοφόρτισης, τα πρωτόκολλα σίτισης και τα εργαλεία ανάλυσης βίντεο. Το τέταρτο κεφάλαιο αναλύει τα αποτελέσματα, με ιδιαίτερη έμφαση στους κινητικούς δείκτες, ενώ το πέμπτο κεφάλαιο συζητά τα ευρήματα σε σύγκριση με τη διεθνή βιβλιογραφία και εξηγεί τη σημασία τους για τη μελλοντική ανάπτυξη βιώσιμων πρακτικών στην υδατοκαλλιέργεια.

Σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, η έρευνα αυτή επιχειρεί να συμβάλει στη βαθύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η συμπεριφορά μπορεί να λειτουργήσει ως αξιόπιστος και μη επεμβατικός δείκτης ευζωίας, όπως έχουν υποστηρίξει και οι Martins et al. (2012), Castanheira et al. (2017) και Balasch & Tort (2019). Η δυνατότητα αξιοποίησης της συμπεριφορικής ανάλυσης σε πραγματικές συνθήκες εκτροφής μπορεί να ενισχύσει σημαντικά τη βιωσιμότητα του κλάδου, επιτρέποντας στους παραγωγούς να εντοπίζουν έγκαιρα

καταστάσεις stress και να προσαρμόζουν τις πρακτικές τους με τρόπο που προάγει την υγεία, τη φυσιολογική ισορροπία και την παραγωγικότητα των ψαριών.

Με αυτό τον τρόπο, η παρούσα μελέτη επιδιώκει όχι μόνο να εξετάσει συγκεκριμένες πειραματικές παραμέτρους, αλλά και να ενισχύσει τον διάλογο γύρω από τη σημασία της ευζωίας και την ανάγκη ενσωμάτωσης μη επεμβατικών δεικτών στην αξιολόγηση της παραγωγικής διαδικασίας. Η εφαρμογή φυσικών ενισχυτικών όπως το έλαιο κανέλας, σε συνδυασμό με τη διαχείριση των πυκνοτήτων και τη συστηματική ανάλυση συμπεριφοράς, μπορεί να αποτελέσει μια πρακτική και βιώσιμη στρατηγική για την ενίσχυση της ποιότητας ζωής της *Sparus aurata* και τη βελτίωση των συνολικών επιδόσεων των μονάδων υδατοκαλλιέργειας.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Η *Sparus aurata*: βιολογική και οικολογική ταυτότητα του είδους

Η *Sparus aurata*, γνωστή ευρύτερα ως τσιπούρα, αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικότερα θαλάσσια είδη της Μεσογείου και ένα από τα πλέον ερευνημένα είδη της ευρωπαϊκής υδατοκαλλιέργειας. Η σταθερή παρουσία της σε παράκτιες ζώνες, εκβολές και λιμνοθάλασσες, σε περιοχές όπου οι παράμετροι του περιβάλλοντος μεταβάλλονται έντονα, προσδίδει στο είδος μια εντυπωσιακή οικολογική πλαστικότητα (Poli et al., 2005). Η φυσική της εξάπλωση εκτείνεται σε όλη τη Μεσόγειο και τον ανατολικό Ατλαντικό, από τις Κανάριες Νήσους έως τον Κόλπο της Γασκώνης, γεγονός που έχει επιτρέψει τη βαθιά μελέτη τόσο της βιολογίας όσο και της συμπεριφοράς της.

Η τσιπούρα χαρακτηρίζεται από πρωτογενή ερμαφροδιτία: τα περισσότερα άτομα ωριμάζουν αρχικά ως αρσενικά και αργότερα μετατρέπονται σε θηλυκά, συνήθως μεταξύ δεύτερου και τρίτου έτους ζωής. Η διαδικασία της φυλετικής αναστροφής εξαρτάται από

παράγοντες όπως η ηλικία, το μέγεθος και σε κάποιο βαθμό η κοινωνική δομή του πληθυσμού (Zohar et al., 2010). Το φαινόμενο αυτό παρέχει στο είδος σημαντικά εξελικτικά πλεονεκτήματα, επιτρέποντας προσαρμογή της αναπαραγωγικής στρατηγικής σε περιβαλλοντικές και δημογραφικές συνθήκες.

Οικολογικά, η τσιπούρα είναι ευρύαλο και ευρύθερμο είδος, ικανό να επιβιώνει σε αλατότητες μεταξύ 5 και 40‰ και σε θερμοκρασίες από 12 έως 28°C, με βέλτιστο εύρος τους 18–22°C (Saka et al., 2004). Η ευρεία αυτή ανοχή αποτελεί έναν από τους λόγους για τους οποίους η τσιπούρα προσαρμόζεται τόσο καλά σε συστήματα εκτροφής. Στη φύση τρέφεται με δίθυρα, μαλάκια και καρκινοειδή, εκμεταλλευόμενη τα ισχυρά δόντια σύνθλιψης που αποτελούν χαρακτηριστικό του είδους.

Η συστηματική εκτροφή της *Sparus aurata* ξεκίνησε τη δεκαετία του 1980, όταν η τεχνολογία παραγωγής γόνου έγινε επαρκώς σταθερή (FAO, 2016). Έκτοτε, η τσιπούρα μετατράπηκε σε ένα από τα σημαντικότερα εμπορικά είδη της Μεσογείου, με την Ελλάδα, την Ισπανία και την Τουρκία να αποτελούν τους κυριότερους παραγωγούς (Karapanagiotidis et al., 2014). Πέρα από την οικονομική της αξία, η τσιπούρα έχει καθιερωθεί ως πρότυπο οργανισμό για ερευνητικές μελέτες ευζωίας, συμπεριφοράς και περιβαλλοντικών επιδράσεων, λόγω της σαφούς και προβλέψιμης συμπεριφορικής της απόκρισης σε περιβαλλοντικές μεταβολές (Arechavala-Lopez et al., 2012).

Το παρόν κεφάλαιο αναλύει εκείνα τα βιολογικά, φυσιολογικά και συμπεριφορικά στοιχεία που είναι αναγκαία για την κατανόηση της επίδρασης περιβαλλοντικών και διατροφικών παραγόντων στην ευζωία της τσιπούρας και στη συμπεριφορά σίτισής της.

2.2 Μορφολογία και λειτουργική ανατομία

Η μορφολογία της τσιπούρας αντικατοπτρίζει μια εξελικτική πορεία που την έχει καταστήσει άριστο θηρευτή παράκτιων και ημι-κλειστών οικοσυστημάτων. Το σώμα της είναι

πλευρικά συμπιεσμένο, χαρακτηριστικό που επιτρέπει ευέλικτη κίνηση σε περιβάλλοντα με μεταβαλλόμενα υποστρώματα, όπως λιβάδια Ποσειδωνίας και περιοχές με βραχώδεις σχηματισμούς. Η κολυμβητική της συμπεριφορά παρουσιάζει διακριτά μοτίβα: γρήγορες επιταχύνσεις, απότομες αλλαγές πορείας και ικανότητα διατήρησης στάσης με ελάχιστη ενεργειακή δαπάνη. Τα χαρακτηριστικά αυτά έχουν παρατηρηθεί τόσο σε φυσικούς πληθυσμούς όσο και σε εκτρεφόμενα άτομα, υπογραμμίζοντας την καλή προσαρμογή του είδους σε μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες (Fines et al., 2001).

Το στοματογναθικό σύστημα είναι εξαιρετικά ανεπτυγμένο. Η παρουσία ισχυρών δοντιών σύνθλιψης, σε συνδυασμό με ένα στιβαρό προγναθικό τόξο, εξηγεί την ικανότητά της να σπάζει κελύφη δίθυρων και καρκινοειδών, γεγονός που καθόρισε σημαντικά τη φυσική της οικολογία. Αυτή η ανατομική εξειδίκευση έχει συνέπειες και στη διατροφή της σε συνθήκες εκτροφής, όπου το είδος ανταποκρίνεται πολύ καλά σε πυκνές, υψηλής ενεργειακής αξίας pellet-τροφές.

Το αναπνευστικό της σύστημα λειτουργεί επαρκώς σε συνθήκες μέτριας υποξίας, χωρίς ωστόσο να κατατάσσεται στα πιο ανθεκτικά είδη. Σε συνθήκες υψηλής ιχθυοφόρτισης η απαίτηση οξυγόνου αυξάνεται σημαντικά, με αποτέλεσμα η σταθερή οξυγόνωση να αποτελεί κρίσιμη παράμετρο ευζωίας (Remen et al., 2016).

Το πεπτικό σύστημα παρουσιάζει υψηλή αποτελεσματικότητα στη διάσπαση πρωτεϊνών και λιπών, αλλά περιορισμένη ικανότητα μεταβολισμού υδατανθράκων, χαρακτηριστικό κοινό στα περισσότερα σαρκοφάγα θαλάσσια είδη (Lupatsch et al., 2003). Η μορφολογική και λειτουργική ανατομία της τσιπούρας, συνολικά, καταδεικνύει ένα είδος ιδιαίτερα προσαρμοσμένο σε περιβάλλοντα με μεταβλητότητα αλλά και αρκετά ευαίσθητο στις περιβαλλοντικές πιέσεις όταν αυτές ξεπερνούν τα φυσιολογικά του όρια.

2.3 Φυσιολογία, μεταβολική λειτουργία και απόκριση στο stress της *Sparus aurata*

Η φυσιολογία της *Sparus aurata* χαρακτηρίζεται από μια δυναμική ισορροπία ανάμεσα στη μεταβολική λειτουργία, την ορμονική ρύθμιση και τη συμπεριφορική της κατάσταση. Ως ποικιλόθερμο είδος, η τσιπούρα εξαρτά άμεσα τον μεταβολικό της ρυθμό από τη θερμοκρασία του νερού, η οποία καθορίζει την κατανάλωση οξυγόνου, την όρεξη, την κινητικότητα και τελικά την ενεργειακή της κατανομή (Brett, 1979). Όταν η θερμοκρασία βρίσκεται εντός του βέλτιστου εύρους για ανάπτυξη, η μεταβολική δραστηριότητα είναι σταθερή και η ανταπόκριση στη σίτιση υψηλή. Αντίθετα, ακόμη και μικρές αποκλίσεις 2–3°C μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές μεταβολές στη διατροφική πρόσληψη, στην ανάπτυξη και στη συμπεριφορά, καθώς ο οργανισμός ανακατανέμει ενεργειακούς πόρους για να διατηρήσει την ομοιόσταση.

Η θερμοκρασία αλληλεπιδρά στενά με την κατανάλωση οξυγόνου. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες, οι ανάγκες για οξυγόνο αυξάνονται, ενώ η διαθεσιμότητά του στο νερό μειώνεται — ένα φαινόμενο που επιβαρύνει ιδιαίτερα τη συμπεριφορά και τη διάθεση σίτισης της τσιπούρας. Το είδος, γνωστό για τη σχετική ευαισθησία του στις μεταβολές του περιβάλλοντος, μπορεί να παρουσιάσει μείωση της όρεξης, πιο προσεκτική κολύμβηση και τάσεις υποχώρησης σε περιοχές χαμηλότερης έντασης, όταν το θερμικό φορτίο υπερβεί το ιδανικό.

Στο κέντρο όλων αυτών των φυσιολογικών αποκρίσεων βρίσκεται ο μηχανισμός του stress. Η *Sparus aurata*, όπως και τα περισσότερα θαλασσινά είδη, ενεργοποιεί τον άξονα HPI (Hypothalamus–Pituitary–Interrenal), ο οποίος είναι αντίστοιχος του HPA άξονα στα θηλαστικά. Το stress διεγείρει την ταχεία απελευθέρωση κορτιζόλης, της κύριας ορμόνης μεσολάβησης της απόκρισης σε περιβαλλοντικές πιέσεις όπως υψηλή πυκνότητα, απότομες αλλαγές στις φυσικοχημικές παραμέτρους ή χειρισμούς στο πλαίσιο της εκτροφής (Barton, 2002· Schreck & Tort, 2016). Η κορτιζόλη κινητοποιεί άμεσα ενεργειακά αποθέματα για την

κάλυψη των βραχυπρόθεσμων αναγκών επιβίωσης, αλλά όταν παραμένει αυξημένη για μεγάλα χρονικά διαστήματα, επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξη, την ανοσολογική απόδοση και την ευζωία των ιχθύων.

Η συμπεριφορά αποτελεί συχνά το πρώτο «εξωτερικό» αποτύπωμα αυτής της φυσιολογικής διαταραχής. Τα ψάρια που βιώνουν αυξημένο stress μπορεί να εμφανίσουν είτε υπερδραστηριότητα είτε υποδραστηριότητα, ανάλογα με τον χαρακτήρα του stressor και το ατομικό «προφίλ» της κάθε τσιπούρας. Στην πράξη, η τσιπούρα —που θεωρείται είδος με μετριοπαθή κοινωνική συμπεριφορά— παρουσιάζει συχνότερα δισταγμούς, διακοπτόμενη κολύμβηση, επιφυλακτικότητα στην προσέγγιση της τροφής και μείωση του διαθέσιμου χώρου που χρησιμοποιεί όταν οι συνθήκες γίνουν πιεστικές.

Η φυσιολογική εξέλιξη του stress περιγράφεται κλασικά ως μια διαδικασία τριών σταδίων:

- άμεση νευροενδοκρινική αντίδραση, όπου κυριαρχούν οι ορμόνες stress,
- στάδιο αντιστάθμισης, στο οποίο ο οργανισμός επιχειρεί να επανέλθει στην ομοιόσταση,
- στάδιο εξάντλησης, όταν η πίεση είναι παρατεταμένη και οι μηχανισμοί προσαρμογής καταρρέουν.

Στην υδατοκαλλιέργεια, η πρόκληση είναι να διατηρείται το ψάρι στο δεύτερο στάδιο, αποφεύγοντας τη μετάβαση στην εξάντληση, όπου πλέον εμφανίζονται σοβαρές επιπτώσεις στην ανάπτυξη, στο ανοσοποιητικό και στη συνολική ευζωία.

Τελικά, η αλληλεπίδραση μεταξύ θερμοκρασίας, μεταβολισμού, ορμονικής ρύθμισης και συμπεριφοράς δημιουργεί ένα σύνθετο σύστημα ισορροπίας. Σε αυτό το πλαίσιο, η συμπεριφορά —ιδίως η συμπεριφορά σίτισης— λειτουργεί ως άμεσος και ιδιαίτερα ευαίσθητος δείκτης της φυσιολογικής κατάστασης της τσιπούρας, επιτρέποντας την έγκαιρη

αναγνώριση υποκείμενων μεταβολικών ή ενδοκρινικών πιέσεων πριν αυτές εκδηλωθούν σε πιο σοβαρές μορφές.

2.4 Αισθητηριακά συστήματα και νευροαισθητηριακή ολοκλήρωση στη συμπεριφορά σίτισης της *Sparus aurata*

Η συμπεριφορά σίτισης της *Sparus aurata* αποτελεί αποτέλεσμα μιας εξαιρετικά συντονισμένης λειτουργίας πολλαπλών αισθητηριακών συστημάτων, τα οποία συνεργάζονται για την ανίχνευση, αναγνώριση και προσέγγιση της τροφής. Η τσιπούρα, ως αρπακτικό που στηρίζεται τόσο στην όραση όσο και στη χημική αντίληψη, παρουσιάζει μια λεπτομερώς ρυθμισμένη αισθητηριακή απόκριση η οποία επηρεάζεται έντονα από το περιβάλλον και από παράγοντες stress.

Η όραση αποτελεί το κυρίαρχο αισθητήριο κατά τη σίτιση όταν οι συνθήκες φωτισμού είναι επαρκείς. Το είδος έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει γρήγορα κινούμενα ή επιπλέοντα αντικείμενα στο νερό και να προσαρμόζει άμεσα την τροχιά του ώστε να τα προσεγγίσει. Η τιμή του φωτισμού, η οπτική καθαρότητα του νερού και η θέση της πηγής φωτός επηρεάζουν την ταχύτητα αντίδρασης, κάτι που γίνεται ιδιαίτερα εμφανές όταν οι συνθήκες περιβαλλοντικού stress μεταβάλλονται. Σε χαμηλό φωτισμό, η απόκριση καθυστερεί και οι τροχιές γίνονται λιγότερο ευθύγραμμες, υποδηλώνοντας αυξημένο αισθητηριακό φορτίο.

Παράλληλα, η όσφρηση διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα με μειωμένη ορατότητα. Το οσφρητικό επιθήλιο της τσιπούρας χαρακτηρίζεται από υψηλή ευαισθησία σε διαλυμένες οργανικές και ανόργανες ενώσεις, επιτρέποντας στο ψάρι να ανιχνεύει την παρουσία τροφής ακόμη και πριν αυτή γίνει οπτικά αντιληπτή. Η ικανότητα αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν η τροφή περιέχει πτητικές ουσίες, όπως φυτογενή πρόσθετα και αιθέρια έλαια. Σύμφωνα με τον Hara (1994), η χημειοαντίληψη στα ψάρια αποτελεί

θεμελιώδες εργαλείο πλοήγησης και σίτισης, με μετρήσιμη επίδραση στο latency και στην ταχύτητα προσέγγισης των pellets.

Η πλευρική γραμμή, ένα από τα πλέον χαρακτηριστικά αισθητήρια συστήματα των ψαριών, συμπληρώνει τις ανωτέρω λειτουργίες. Αποτελείται από σειρά νευροαισθητήρων (νευρομάστια) που ανιχνεύουν αλλαγές στην πίεση και στην κίνηση του νερού. Χάρη σε αυτό το σύστημα, η τσιπούρα «αντιλαμβάνεται» τις κινήσεις των άλλων ατόμων του κοπαδιού, καθώς και τις μικρές διαταραχές που προκαλούνται από την πτώση της τροφής στο νερό ή από απότομα ρεύματα. Η λειτουργία της πλευρικής γραμμής είναι καθοριστική για τη διατήρηση της συνοχής του κοπαδιού και για την αποφυγή συγκρούσεων, ιδιαίτερα σε συνθήκες υψηλής πυκνότητας όπου το αισθητηριακό περιβάλλον είναι πολύ πιο «θορυβώδες».

Η συμπεριφορά σίτισης προκύπτει λοιπόν από τη συνεργασία όλων αυτών των αισθητηριακών μηχανισμών. Η τσιπούρα, όταν εντοπίσει την τροφή, συνδυάζει τις οπτικές, οσφρητικές και υδροδυναμικές πληροφορίες για να προσαρμόσει την κινησιολογία της. Σε περιβάλλον χωρίς stress, η απόκριση είναι άμεση, οι τροχιές ευθύγραμμες και η συνοχή του κοπαδιού σταθερή. Αντίθετα, σε συνθήκες πίεσης —όπως υψηλή ιχθυοφόρτιση, ανεπαρκής φωτισμός ή περιβαλλοντικές διαταραχές— ακόμη και μικρές μεταβολές σε ένα από τα αισθητήρια συστήματα μεταφράζονται σε καθυστέρηση στη σίτιση, αυξημένο δισταγμό, πιο σύνθετες τροχιές και διακοπτόμενη κινητικότητα.

Η άμεση αυτή σχέση ανάμεσα στη λειτουργία των αισθητηρίων συστημάτων και στη συμπεριφορά αποτελεί έναν από τους βασικούς λόγους για τους οποίους η σίτιση θεωρείται ευαίσθητος δείκτης ευζωίας. Η τσιπούρα, όπως και άλλα μεσογειακά είδη, εμφανίζει ταχύτερες και πιο εμφανείς συμπεριφορικές μεταβολές όταν διαταράσσεται η αισθητηριακή της αντίληψη σε σχέση με τις αντίστοιχες φυσιολογικές αλλαγές, οι οποίες συχνά καθυστερούν να εμφανιστούν.

Συνεπώς, η σίτιση δεν αποτελεί απλώς μια διαδικασία πρόσληψης τροφής, αλλά έναν ολοκληρωμένο συμπεριφορικό μηχανισμό, ο οποίος αντικατοπτρίζει την ψυχοφυσιολογική κατάσταση του οργανισμού. Γι' αυτό και η λεπτομερής ανάλυση παραμέτρων όπως το latency, η ταχύτητα προσέγγισης και ο τρόπος κίνησης αποτελεί κομβικό εργαλείο για τη μελέτη της ευζωίας της *Sparus aurata*.

2.5 Μικροβίωμα, είδη-ειδικές αντιδράσεις και συγκριτικές προσεγγίσεις στη συμπεριφορά και την ευζωία

Το εντερικό μικροβίωμα των ψαριών αποτελεί έναν από τους πιο κρίσιμους αλλά συχνά «σιωπηλούς» παράγοντες που επηρεάζουν τη φυσιολογία, την ανοσολογική λειτουργία και τελικά τη συμπεριφορά. Στην τσιπούρα, όπως και σε πολλά θαλασσινά είδη, το μικροβίωμα δεν είναι ένα στατικό σύνολο οργανισμών· αντίθετα μεταβάλλεται δυναμικά ως απόκριση στη διατροφή, την ποιότητα νερού, τη θερμοκρασία και – κυρίως – την ιχθυοφόρτιση. Μελέτες έχουν δείξει ότι όταν τα ψάρια εκτίθενται σε συνθήκες υψηλότερης πίεσης, το μικροβίωμα τείνει να χάνει μέρος της ποικιλοτήτάς του και να αποκτά προφίλ με μεγαλύτερη παρουσία βακτηρίων που σχετίζονται με φλεγμονώδεις διεργασίες (Barnes et al., 2018). Αυτή η μεταβολή δεν παραμένει «τοπική». Μέσω του άξονα εντέρου–εγκεφάλου μπορεί να επηρεάσει νευροενδοκρινικούς μηχανισμούς, επηρεάζοντας έμμεσα τη συμπεριφορά, την όρεξη, ακόμη και την κινητική σταθερότητα του κοπαδιού (Borrelli et al., 2016).

Η σχέση μεταξύ μικροβιώματος και συμπεριφοράς δεν είναι γραμμική. Ένα σταθερό και λειτουργικό μικροβίωμα ενισχύει την πεπτική αποτελεσματικότητα, μειώνει την ανάγκη για ενεργειακά κοστοβόρες αντισταθμιστικές αντιδράσεις και συμβάλλει στη φυσιολογική ομοιόσταση. Αντίθετα, ένα μικροβίωμα που βρίσκεται υπό πίεση λειτουργεί σαν μια «σιωπηλή πηγή stress», καθώς επηρεάζει την παραγωγή μεταβολιτών, την φλεγμονώδη κατάσταση του εντέρου και ενδεχομένως νευροδιαβιβαστές που σχετίζονται με την όρεξη και τη

δραστηριότητα. Η συμπεριφορά, επομένως, παρότι δεν αποτελεί άμεση μέτρηση του μικροβιώματος, συχνά αντικατοπτρίζει αυτές τις βαθύτερες βιολογικές διεργασίες.

Η ιχθυοφόρτιση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που μπορούν να τροποποιήσουν αυτή τη λεπτή ισορροπία. Σε υψηλές πυκνότητες, η αυξημένη κοινωνική πίεση, η μεγαλύτερη έκθεση σε φερμονούχους παράγοντες και η παρουσία υψηλότερων επιπέδων κορτιζόλης (εξαιτίας του stress) δημιουργούν ένα περιβάλλον που επηρεάζει άμεσα την εντερική φυσιολογία. Αυτές οι μεταβολές μπορούν να μεταφραστούν σε μικροβιοτικές αλλαγές που με τη σειρά τους επηρεάζουν τη συμπεριφορά: μειωμένη συνοχή κοπαδιού, μεγαλύτερος δισταγμός στη σίτιση, συχνότερες αλλαγές κατεύθυνσης ή πιο «σφιχτές» τροχιές.

Σε αυτό το πλαίσιο, η σύγκριση της τσιπούρας με άλλα μεσογειακά είδη μπορεί να φωτίσει το γιατί το συγκεκριμένο είδος αποτελεί καλό μοντέλο έρευνας συμπεριφοράς και ευζωίας. Το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*), για παράδειγμα, εμφανίζει υψηλότερη επιθετικότητα και σχηματισμό κοινωνικών ιεραρχιών. Αυτή η κοινωνική δομή δημιουργεί εντονότερες συμπεριφορικές αποκλίσεις υπό stress, καθιστώντας το είδος λιγότερο «καθαρό» μοντέλο για την αποτύπωση μικρο-μεταβολών στη συμπεριφορά (Øverli et al., 2004). Το φαγκρί (*Pagrus pagrus*), από την άλλη, θεωρείται πιο ανθεκτικό στο stress, αλλά παρουσιάζει μικρότερη προβλεψιμότητα συμπεριφοράς, γεγονός που δυσκολεύει την παρακολούθηση λεπτών κινητικών αλλαγών.

Η τσιπούρα βρίσκεται ακριβώς στο ενδιάμεσο: είναι αρκετά ανθεκτική ώστε να εκτρέφεται σε μεγάλες μονάδες, αλλά ταυτόχρονα αρκετά ευαίσθητη, ώστε οι μεταβολές στη συμπεριφορά της να εμφανίζονται με καθαρό, επαναλαμβανόμενο τρόπο. Αυτό την καθιστά εξαιρετικό οργανισμό για να μελετηθεί πώς οι παράγοντες ευζωίας – ιχθυοφόρτιση, διατροφή, αισθητηριακή πίεση – «γράφουν» πάνω στην κινητική της δραστηριότητα και στο επίπεδο της συμπεριφορικής ευκολίας ή δισταγμού.

Παράλληλα, οι θεωρητικές προσεγγίσεις ευζωίας, όπως το μοντέλο των Five Domains (Mellor, 2017) και οι οδηγίες της EFSA (2017), αναγνωρίζουν όλο και πιο συχνά ότι η συμπεριφορά αποτελεί το αρχικό σημείο όπου αποτυπώνονται οι επιδράσεις περιβαλλοντικών και φυσιολογικών παραγόντων. Το μικροβίωμα, η φυσιολογία του stress και η είδος-ειδική νευροβιολογία λειτουργούν σαν υποδομές που υποστηρίζουν τη συμπεριφορική έκφραση· η ίδια η συμπεριφορά όμως είναι συχνά η πιο άμεση και «ειλικρινής» ένδειξη ότι κάτι στο σύστημα αρχίζει να αλλάζει.

Για τον λόγο αυτό, η παρούσα μελέτη, η οποία εστιάζει στη συμπεριφορά ως βασικό δείκτη ευζωίας, πατάει πάνω σε μια σύγχρονη, διεπιστημονική κατανόηση της βιολογίας της τσιπούρας: ένα είδος όπου η φυσιολογία, το μικροβίωμα και η κοινωνική δυναμική αλληλεπιδρούν στενά και εκδηλώνονται μέσα από τη λεπτή κινητική συμπεριφορά κατά τη σίτιση.

2.6 Μικροβίωμα, νευροβιολογικοί μηχανισμοί, φυτογενή πρόσθετα και συνολική θεωρητική σύνδεση με τη συμπεριφορά της τσιπούρας

Η συμπεριφορά της *Sparus aurata* δεν μπορεί να εξηγηθεί επαρκώς αν εξεταστεί απομονωμένα. Αντίθετα, αποτελεί το τελικό αποτέλεσμα μιας σύνθετης αλληλεπίδρασης φυσιολογικών, νευροβιολογικών, μικροβιακών και περιβαλλοντικών μηχανισμών, οι οποίοι ενεργοποιούνται ταυτόχρονα και διαμορφώνουν τον τρόπο με τον οποίο το άτομο αντιδρά στην πυκνότητα, στη διατροφή και στους καθημερινούς stressors της εκτροφής. Το παρόν υποκεφάλαιο συνδυάζει τις σχετικές θεωρητικές προσεγγίσεις σε μια ενιαία εξήγηση που επιτρέπει τη βαθύτερη κατανόηση των συμπεριφορικών αποκρίσεων που εξετάζονται στο πειραματικό μέρος.

Ένας από τους πιο καθοριστικούς παράγοντες ευζωίας είναι το εντερικό μικροβίωμα. Η σύστασή του επηρεάζει την πέψη, τη μεταβολική σταθερότητα, την ανοσολογική λειτουργία

και –μέσω του άξονα εντέρου–εγκεφάλου– ακόμη και τη συμπεριφορά των ιχθύων (Borrelli et al., 2016). Στην τσιπούρα, η πυκνότητα εκτροφής έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να μειώσει την ποικιλότητα του μικροβιώματος και να ενισχύσει βακτηριακές ομάδες συνδεδεμένες με φλεγμονώδεις διεργασίες, ιδιαίτερα όταν το άτομο βρίσκεται σε παρατεταμένο stress. Η αυξημένη κορτιζόλη – ως αποτέλεσμα κοινωνικών και περιβαλλοντικών πιέσεων – επηρεάζει την εντερική ομοιόσταση, δημιουργώντας ένα υπόστρωμα που προδιαθέτει σε μειωμένη μεταβολική αποδοτικότητα και πιθανές αλλαγές στη συμπεριφορά (Barnes et al., 2018).

Η νευροβιολογία της τσιπούρας προσφέρει μια εξίσου σημαντική διάσταση. Ο υποθάλαμος και ο άξονας HPI (υποθάλαμος–υπόφυση–ενδονεφρικό σύστημα) ρυθμίζουν την απόκριση στο stress, ενεργοποιώντας μηχανισμούς άμεσης αντιμετώπισης περιβαλλοντικών πιέσεων (Barton, 2002). Νευροδιαβιβαστές όπως η σεροτονίνη και η ντοπαμίνη επηρεάζουν την όρεξη, τη διάθεση, τον κινητικό τόνο και τη συνοχή του κοπαδιού (Winberg & Nilsson, 1993). Όταν η πυκνότητα είναι υψηλή, τα αισθητηριακά συστήματα – όραση, οσμή, πλευρική γραμμή – δέχονται πολύ περισσότερα ερεθίσματα, δημιουργώντας ένα περιβάλλον αισθητηριακής «υπερφόρτωσης». Αυτό εξηγεί τη συχνότερη εμφάνιση δισταγμού, πιο σύνθετων τροχιών και μειωμένης ταχύτητας προσέγγισης της τροφής σε συνθήκες αυξημένης κοινωνικής πίεσης. Το ψάρι καλείται ταυτόχρονα να επεξεργαστεί πολλά, συχνά αντικρουόμενα σήματα, με αποτέλεσμα πιο ασταθείς και κομματιασμένες κινήσεις.

Η αξία της τσιπούρας ως πειραματικού μοντέλου στη μελέτη της ευζωίας οφείλεται στο ότι παρουσιάζει έναν ισορροπημένο συνδυασμό ανθεκτικότητας και ευαισθησίας. Δεν είναι τόσο επιθετική και ιεραρχικά «άκαμπτη» όσο το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*), αλλά ούτε και τόσο απρόβλεπτη όσο το φαγκρί (*Pagrus pagrus*). Εμφανίζει καθαρές, αναπαραγώγιμες συμπεριφορικές αλλαγές όταν οι συνθήκες μεταβάλλονται, γεγονός που την καθιστά εξαιρετικό μοντέλο για τη μελέτη της ιχθυοφόρτισης και του stress (Øverli et al., 2004).

Τα τελευταία χρόνια, τα φυτογενή πρόσθετα (PFAs) έχουν προσελκύσει αυξανόμενο ενδιαφέρον ως φυσικές παρεμβάσεις που μπορούν να στηρίξουν την ευζωία των ψαριών. Οι φυτογενείς ουσίες διαθέτουν αντιοξειδωτικές, αντιφλεγμονώδεις, ανοσορυθμιστικές και αντιμικροβιακές δράσεις, και μπορούν να μειώσουν τις επιπτώσεις του stress σε εντατικά συστήματα εκτροφής (Reverter et al., 2014· Dawood & Koshio, 2019). Στην τσιπούρα, έχει φανεί ότι φυτικά εκχυλίσματα όπως η ρίγανη, το θυμάρι και το γαρύφαλλο βελτιώνουν την πέψη, τη μικροβιακή ισορροπία και την ανοσολογική απόκριση.

Ειδικά η κανέλα και η δραστική ουσία κινναμαλδεΐδη έχουν μελετηθεί εκτενώς λόγω των αντιοξειδωτικών και αντιμικροβιακών ιδιοτήτων τους (Shan et al., 2007). Μελέτες έχουν δείξει ότι η κανέλα μπορεί να μειώσει το οξειδωτικό φορτίο, να σταθεροποιήσει τη συμπεριφορά σε περιόδους stress, να βελτιώσει την ανοσολογική λειτουργία και να ενισχύσει τη συνοχή του κοπαδιού (Dawood et al., 2020). Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης συνδέονται άμεσα με αυτή τη βιβλιογραφία: η κανέλα δεν προκαλεί θεαματικές αλλαγές σε συνθήκες χαμηλής πίεσης, αλλά λειτουργεί ως ήπιος σταθεροποιητικός παράγοντας όταν η πυκνότητα αυξάνεται και το αισθητηριακό περιβάλλον γίνεται πιο απαιτητικό.

Η συνολική θεωρητική εικόνα δείχνει ότι η συμπεριφορά της τσιπούρας είναι το αποτέλεσμα μιας εξαιρετικά ευαίσθητης ισορροπίας. Το μικροβίωμα ρυθμίζει το μεταβολικό υπόβαθρο, η νευροβιολογία καθορίζει την απόκριση στο stress, τα αισθητηριακά συστήματα καθοδηγούν την κίνηση και τη σίτιση, ενώ η πυκνότητα επιβαρύνει όλα τα παραπάνω ταυτόχρονα. Τα φυτογενή πρόσθετα, και ειδικά η κανέλα, μπορούν να λειτουργήσουν υποστηρικτικά μέσω πολλαπλών οδών, από τη σταθεροποίηση του μικροβιώματος έως τη μείωση των οξειδωτικών διεργασιών. Έτσι, το θεωρητικό υπόβαθρο συνδέεται άμεσα με τα πειραματικά αποτελέσματα, επιτρέποντας μια πλήρως τεκμηριωμένη ερμηνεία της συμπεριφοράς που παρατηρήθηκε στις διαφορετικές ιχθυοφορτίσεις και διατροφικές μεταχειρίσεις.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Εισαγωγική περιγραφή και γενικό πλαίσιο του πειράματος

Πριν παρουσιαστούν αναλυτικά τα υλικά και οι μέθοδοι, έχει σημασία να διαμορφωθεί μια συνολική, ζωντανή εικόνα του πειράματος. Στην πράξη, η εκτέλεση ενός πειράματος σε εργαστήριο υδατοκαλλιεργειών, ιδιαίτερα όταν το αντικείμενο είναι η συμπεριφορά, σπάνια είναι τόσο «γραμμική» και αποστειρωμένη όσο περιγράφεται συχνά στα τυπικά πρωτόκολλα. Υπάρχει πάντα μια καθημερινή ρουτίνα που πρέπει να βρει ρυθμό: τα ψάρια χρειάζονται χρόνο για να προσαρμοστούν, ο ερευνητής πρέπει να συγχρονίσει σίτιση, μετρήσεις και βιντεοσκοπήσεις, ενώ μικρές πρακτικές δυσκολίες – από αντανάκλασεις στα τζάμια μέχρι μικρές διακυμάνσεις στην ποιότητα νερού – απαιτούν συνεχή προσοχή.

Το συγκεκριμένο πείραμα σχεδιάστηκε έτσι ώστε να συνδυάζει δύο επίπεδα: από τη μια, να «μιλά» στη γλώσσα της καθημερινής πρακτικής μιας μονάδας εκτροφής, όπου η πυκνότητα, η τροφή και η συμπεριφορά σίτισης έχουν άμεση εφαρμοστική σημασία· και από την άλλη, να πληροί τις απαιτήσεις ακρίβειας, επαναληψιμότητας και τυποποίησης που προϋποθέτει η πανεπιστημιακή έρευνα. Για τον λόγο αυτό, το Κεφάλαιο 3 δεν περιορίζεται σε μια στεγνή παράθεση παραμέτρων, αλλά προσπαθεί να αποδώσει και τον τρόπο με τον οποίο «λειτουργήσε στην πράξη» το πείραμα, από τον εγκλιματισμό μέχρι την τελική στατιστική επεξεργασία.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Υδατοκαλλιεργειών του Τμήματος Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βόλο, και είχε συνολική διάρκεια περίπου είκοσι ημερών. Στο διάστημα αυτό συνδυάστηκαν καθημερινή φροντίδα, διατροφή με διαφορετικά σιτηρέσια και συστηματική βιντεοσκόπηση της συμπεριφοράς σίτισης νεαρών ατόμων *Sparus aurata* σε διαφορετικές πυκνότητες εκτροφής.

3.2 Εγκαταστάσεις, δεξαμενές και περιβαλλοντικές συνθήκες

Οι πειραματικές δεξαμενές βρίσκονταν σε ειδικά διαμορφωμένη αίθουσα του εργαστηρίου, η οποία επιτρέπει τη σχετική σταθερότητα των περιβαλλοντικών συνθηκών. Η θερμοκρασία του χώρου ελεγχόταν με κλιματισμό, ενώ η είσοδος φυσικού φωτός ρυθμιζόταν με ημιδιαφανείς κουρτίνες. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονταν οι απότομες μεταβολές φωτισμού, οι έντονες σκιές ή οι αντανakλάσεις στο νερό, που μπορούν να προκαλέσουν άσκοπο stress σε είδη όπως η τσιπούρα, τα οποία είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε οπτικά ερεθίσματα.

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν έξι γυάλινες δεξαμενές ορθογώνιας διατομής, ονομαστικής χωρητικότητας περίπου 120 λίτρων η καθεμία. Η στάθμη του νερού διατηρούνταν ελαφρώς χαμηλότερα, γύρω στα 100–110 λίτρα, ώστε να υπάρχει περιθώριο σε περίπτωση μικρών κυματισμών ή φαινομένων υπερχειλίσσης. Όλες οι δεξαμενές ήταν συνδεδεμένες σε κλειστό σύστημα ανακυκλοφορίας, με κεντρικό μηχανικό και βιολογικό φίλτρο και μονάδα UV απολύμανσης. Ο μηχανικός καθαρισμός επιτυγχανόταν με σφουγγάρι και υαλοβάμβακα, ενώ ο βιολογικός με κατάλληλα υλικά (μακαρόνι, βιομπάλες), προσφέροντας επαρκή επιφάνεια για την ανάπτυξη νιτροποιητικών βακτηρίων.

Ο αερισμός του νερού ήταν συνεχής, με χρήση αερόπετρων σε κάθε δεξαμενή. Η ανανέωση του νερού γινόταν σταδιακά μέσω μικρής παροχής από το κεντρικό σύστημα, ώστε να αποφεύγονται απότομες μεταβολές σε αλατότητα ή θερμοκρασία. Η θερμοκρασία του νερού κυμαινόταν σταθερά μεταξύ 19 και 21°C, τιμές κατάλληλες για το συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης της τσιπούρας. Η αλατότητα διατηρούνταν περίπου στις 34–36‰, το pH σε ελαφρώς αλκαλικές τιμές, γύρω στο 7,8–8,2, ενώ η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου δεν έπεφτε κάτω από τα 6 mg/L.

Οι παράμετροι αυτοί παρακολουθούνταν σε τακτική βάση με φορητά όργανα (οξυγονόμετρο, θερμόμετρο, αγωγιμόμετρο, pHμετρο). Το οξυγόνο μετριοταν δύο φορές την

ημέρα, πρωί και απόγευμα, καθώς μπορεί να παρουσιάζει ημερήσια διακύμανση. Θερμοκρασία, αλατότητα και pH μετριούνταν καθημερινά ή ανά δύο ημέρες, ενώ η αμμωνία και τα νιτρώδη ελέγχονταν περίπου δύο φορές την εβδομάδα με χρωματομετρικά κιτ. Όταν οι τιμές των αζωτούχων ενώσεων έτειναν να αυξηθούν, γινόταν άμεση μερική αλλαγή νερού (περίπου 20–30%), ώστε το σύστημα να επανέρχεται γρήγορα σε ασφαλή επίπεδα.

Παράλληλα, γινόταν τακτικός καθαρισμός των δεξαμενών με ήπιο σιφόνισμα του πυθμένα, κάθε δύο ή τρεις ημέρες, με προσπάθεια η διαδικασία να ολοκληρώνεται όσο το δυνατόν πιο γρήγορα και ήσυχα. Σε ορισμένες περιπτώσεις το νερό γινόταν για λίγα λεπτά ελαφρώς θολό, αλλά η λειτουργία του φίλτρου και ο αερισμός επανέφεραν γρήγορα τη διαύγεια.

Το φωτοπερίοδιο ρυθμίστηκε σε περίπου 12 ώρες φως και 12 ώρες σκοτάδι, με χρήση χρονοδιακόπτη σε φωτιστικά σώματα τοποθετημένα πάνω από τις δεξαμενές. Έτσι, ο φωτισμός ενεργοποιούνταν και απενεργοποιούνταν με σταθερό ρυθμό, χωρίς αιφνίδιες εναλλαγές που θα μπορούσαν να προκαλέσουν έντονη τρομάρα στα ψάρια. Η ένταση του φωτισμού ήταν μέτρια, επαρκής για καλή ορατότητα των ψαριών και των pellets, αλλά όχι τόσο υψηλή ώστε να δημιουργείται πρόσθετος αισθητηριακός φόρτος.

Συνολικά, οι περιβαλλοντικές συνθήκες παρέμειναν σταθερές σε όλη την πειραματική περίοδο, χωρίς σημαντικά επεισόδια επιβάρυνσης της ποιότητας του νερού. Αυτό επέτρεψε η παρατηρούμενη συμπεριφορά να αποδοθεί κυρίως στους πειραματικούς παράγοντες – την πυκνότητα και τη διατροφή – και όχι σε εξωγενείς διαταραχές.

3.3 Εγκλιματισμός και επιλογή των ιχθύων

Τα νεαρά άτομα *Sparus aurata* που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα προήλθαν από ιχθυογεννητικό σταθμό μεγάλης ελληνικής εταιρείας υδατοκαλλιέργειών. Η επιλογή αυτή εξασφάλισε ότι τα ψάρια είχαν μεγαλώσει υπό τυπικές συνθήκες εντατικής εκτροφής και

τρέφονταν με εμπορική τροφή παρόμοια με εκείνη που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη. Η μεταφορά πραγματοποιήθηκε σε ειδικές, καλυμμένες δεξαμενές μεταφοράς, με συνεχή παροχή οξυγόνου, ώστε να περιοριστεί όσο γίνεται το μεταφορικό stress.

Μετά την άφιξη στο εργαστήριο, τα ψάρια τοποθετήθηκαν σε μεγάλη δεξαμενή εγκλιματισμού, συνδεδεμένη στο ίδιο σύστημα ανακυκλοφορίας με τις πειραματικές δεξαμενές. Ο εγκλιματισμός διήρκεσε περίπου δώδεκα ημέρες. Κατά το διάστημα αυτό, η διατροφή γινόταν με συμβατική εμπορική τροφή (η ίδια που θα χρησιμοποιούνταν αργότερα ως τροφή μάρτυρας), δύο φορές ημερησίως, σε ώρες που θα παρέμεναν σταθερές και στην πειραματική φάση. Στόχος ήταν να σταθεροποιηθούν οι βασικές φυσιολογικές παράμετροι, να προσαρμοστούν τα ψάρια στο νέο περιβάλλον και στο νέο «ημερήσιο ρυθμό», και να μειωθεί το αρχικό stress από τη μεταφορά.

Κατά τις πρώτες ημέρες του εγκλιματισμού παρατηρήθηκε μια μικρή ανομοιομορφία στον ρυθμό σίτισης – ένα απολύτως αναμενόμενο φαινόμενο σε ψάρια που μόλις έχουν μεταφερθεί. Κάποια άτομα αντιδρούσαν πιο γρήγορα στην τροφή, άλλα ήταν πιο επιφυλακτικά. Από την τέταρτη ημέρα και μετά, η συμπεριφορά σίτισης σταθεροποιήθηκε: η αντίδραση στην είσοδο της τροφής στο νερό έγινε πιο ομοιόμορφη, η κολύμβηση έδειχνε φυσιολογική και δεν εμφανίστηκαν ενδείξεις υπερβολικού φόβου ή ληθαργικότητας.

Στο τέλος της περιόδου εγκλιματισμού πραγματοποιήθηκε δειγματοληπτική βιομέτρηση, ώστε να υπολογιστούν οι μέσες τιμές μήκους και βάρους και να επιλεγούν τα άτομα που θα συμμετείχαν στο πείραμα. Από τη δεξαμενή εγκλιματισμού επιλέχθηκαν τυχαία περίπου 25 άτομα, τα οποία ζυγίστηκαν σε ηλεκτρονική ζυγαριά υψηλής ακρίβειας και μετρήθηκαν σε μήκος με ιχθυομετρικό κανόνα. Η διαδικασία γινόταν όσο το δυνατόν πιο ήρεμα: η σύλληψη γινόταν με καθαρή απόχλη, η μεταφορά σε δοχείο με νερό από την ίδια δεξαμενή, η μέτρηση και το άμεσο επαναπέρασμα στη δεξαμενή. Δεν παρατηρήθηκαν τραυματισμοί ή υπερβολικά έντονες αντιδράσεις.

Με βάση τις μετρήσεις αυτές, επιλέχθηκαν τα άτομα που κυμαίνονταν σε σχετικά στενό εύρος βάρους, γύρω στα 20–25 g. Το κριτήριο της ομοιογένειας ήταν σημαντικό, καθώς η ύπαρξη πολλών πολύ μεγαλύτερων ή πολύ μικρότερων ψαριών θα μπορούσε να επηρεάσει τις κοινωνικές αλληλεπιδράσεις και, κατά συνέπεια, τη συμπεριφορά σίτισης.

3.4 Πειραματικός σχεδιασμός, ομάδες και ιχθυοφόρτιση

Μετά τον εγκλιματισμό, τα ψάρια κατανεμήθηκαν στις έξι πειραματικές δεξαμενές. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 120 άτομα τσιπούρας, τα οποία χωρίστηκαν σε έξι ομάδες, με βάση δύο βασικούς παράγοντες: την ιχθυοφόρτιση και τον τύπο τροφής. Ο πρώτος παράγοντας ήταν η πυκνότητα εκτροφής, με τρία επίπεδα: χαμηλή, μέση και υψηλή. Ο δεύτερος παράγοντας ήταν η διατροφή: συμβατική τροφή (ομάδες μάρτυρες) και τροφή εμπλουτισμένη με αιθέριο έλαιο κανέλας (ομάδες μεταχείρισης).

Για πρακτικούς λόγους, η ιχθυοφόρτιση ορίστηκε αρχικά με βάση τον αριθμό των ψαριών ανά δεξαμενή. Στη χαμηλή πυκνότητα τοποθετήθηκαν 10 άτομα ανά δεξαμενή, στη μέση 20 και στην υψηλή 30. Λαμβάνοντας υπόψη τον όγκο του νερού, οι πυκνότητες αυτές αντιστοιχούσαν περίπου σε 2, 4 και 6 kg/m³, αντίστοιχα, τιμές που θεωρούνται χαμηλές έως μέτριες για νεαρά άτομα τσιπούρας αυτού του μεγέθους. Κάθε επίπεδο πυκνότητας συνδυάστηκε με τις δύο διατροφικές μεταχειρίσεις, προκύπτοντας έτσι έξι ομάδες συνολικά: τρεις ομάδες μάρτυρες (CONTROL10, CONTROL20, CONTROL30) και τρεις ομάδες με κανέλα (CIN10, CIN20, CIN30).

Η κατανομή των ατόμων στις δεξαμενές έγινε τυχαία, με τη βοήθεια απλής διαδικασίας ανάμειξης στη δεξαμενή εγκλιματισμού και διαδοχικής σύλληψης. Με τον τρόπο αυτό μειώθηκε ο κίνδυνος συστηματικής εισαγωγής διαφορών μεταξύ ομάδων, τόσο ως προς το μέγεθος όσο και ως προς τη συμπεριφορά. Αμέσως μετά την κατανομή, τα ψάρια άφησαν να προσαρμοστούν στη νέα δεξαμενή για δύο ημέρες, με το ίδιο πρόγραμμα σίτισης και χωρίς

ακόμη να γίνει διαφοροποίηση στα σιτηρέσια. Η επιλογή αυτής της «μεταβατικής» περιόδου είχε στόχο να μην συμπέσει η αλλαγή δεξαμενής με την αλλαγή τροφής, ώστε να μην αθροιστούν δύο ισχυροί stressors την ίδια στιγμή.

Η κύρια πειραματική περίοδος, κατά την οποία πραγματοποιήθηκαν οι συστηματικές παρατηρήσεις και βιντεοσκοπήσεις, διήρκεσε δεκαπέντε ημέρες. Στο διάστημα αυτό διατηρήθηκαν σταθερές οι συνθήκες νερού, το πρόγραμμα σίτισης και το φωτοπερίοδιο, ώστε οι κύριες μεταβλητές να είναι η πυκνότητα και η διατροφή.

3.5 Διατροφή των ιχθύων και παρασκευή των σιτηρεσίων

Η βασική τροφή που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα ήταν μια εμπορική, πλήρης ιχθυοτροφή για μεσογειακά είδη στο στάδιο πάχυνσης, με διάμετρο pellet περίπου 1,5 mm. Σύμφωνα με τα στοιχεία του κατασκευαστή, η τροφή είχε ποσοστό πρωτεΐνης γύρω στο 55%, περιεκτικότητα σε λίπη περίπου 15%, χαμηλά επίπεδα ινωδών ουσιών και τέφρας και παρείχε μεταβολίσιμη ενέργεια της τάξης των 20–21 MJ/kg. Πρόκειται για τυπική τροφή εντατικής εκτροφής, ευρέως χρησιμοποιούμενη σε μονάδες παραγωγής τσιπούρας και λαβρακιού.

Για τις ομάδες μάρτυρες, η τροφή χρησιμοποιήθηκε όπως παραλήφθηκε, χωρίς καμία περαιτέρω επεξεργασία. Για τις ομάδες μεταχείρισης, η ίδια τροφή χρησιμοποιήθηκε ως βάση, αλλά τροποποιήθηκε με την προσθήκη αιθέριου ελαίου κανέλας. Το έλαιο προερχόταν από *Cinnamomum zeylanicum* και προστέθηκε σε ποσοστό 2% επί του βάρους της τροφής. Η επιλογή της δοσολογίας αυτής βασίστηκε σε προκαταρκτικές δοκιμές στο εργαστήριο, όπου διαπιστώθηκε ότι χαμηλότερες συγκεντρώσεις είχαν ελάχιστο οργανοληπτικό αντίκτυπο, ενώ υψηλότερες συγκεντρώσεις επηρέαζαν αρνητικά την υφή των pellets.

Η διαδικασία παρασκευής είχε ως εξής. Πρώτα ζυγίστηκε η ποσότητα της ξηρής τροφής που θα χρησιμοποιούνταν για τις ομάδες CIN. Σε ξεχωριστό δοχείο ζυγίστηκε η απαιτούμενη ποσότητα ελαίου κανέλας και αναμείχθηκε με μικρή ποσότητα ουδέτερου

φυτικού ελαίου, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως φορέας, ώστε να διευκολυνθεί η ομοιόμορφη κατανομή. Το μείγμα των ελαίων ψεκάστηκε σταδιακά πάνω στην ξηρή τροφή, ενώ τα pellets βρίσκονταν σε περιστρεφόμενο αναδευτήρα. Η ανάδευση διήρκεσε περίπου 20–25 λεπτά. Αν η διάρκεια ήταν μικρότερη, εμφανίζονταν περιοχές με υπερσυγκέντρωση ελαίου, ενώ αν η ανάδευση παρατεινόταν υπερβολικά, η μηχανική καταπόνηση οδηγούσε σε θρυμματισμό της επιφάνειας των pellets.

Μετά την επικάλυψη, η τροφή παρέμεινε σε θερμοκρασία δωματίου για μικρό χρονικό διάστημα, ώστε να απορροφηθεί το μεγαλύτερο μέρος του ελαίου. Στη συνέχεια χωρίστηκε σε μικρές ημερήσιες μερίδες, τοποθετήθηκε σε σακουλάκια και αποθηκεύτηκε στην κατάψυξη στους -20°C . Κάθε ημέρα αποψυχόταν μόνο η ποσότητα που απαιτούνταν για τις δύο σιτίσεις της ημέρας. Με τον τρόπο αυτό περιορίστηκε η οξείδωση των λιπών και η απώλεια δραστικών συστατικών της κανέλας, ενώ διατηρήθηκε όσο γίνεται σταθερό το οργανοληπτικό προφίλ.

Ιδιαίτερη μέριμνα δόθηκε στην αποφυγή επιμόλυνσης μεταξύ των δύο τύπων τροφής. Για τις ομάδες μάρτυρες χρησιμοποιήθηκαν ξεχωριστά δοχεία αποθήκευσης, σκεύη και κουτάλια διανομής, τα οποία δεν ήρθαν σε επαφή με την τροφή που περιείχε κανέλα. Το ίδιο ίσχυε και για τις ομάδες CIN. Στο εργαστήριο ήταν έντονη, κάποιες ημέρες, η χαρακτηριστική οσμή της κανέλας – μια συνεχή υπενθύμιση ότι οι συσκευασίες έπρεπε να παραμένουν καλά κλειστές μέχρι τη χρήση.

Το πρόγραμμα σίτισης ήταν κοινό για όλες τις ομάδες. Τα ψάρια τρέφονταν δύο φορές ημερησίως, μία το πρωί και μία νωρίς το απόγευμα, σε σταθερές ώρες. Η σίτιση γινόταν «μέχρι σχεδόν κορεσμού», με τον ερευνητή να παρατηρεί την ένταση και τη διάρκεια της αντίδρασης των ψαριών. Όταν η κινητικότητα μειωνόταν και τα pellets άρχιζαν να μένουν στον χώρο για περισσότερο χρόνο χωρίς να καταναλώνονται, η σίτιση σταματούσε. Η ποσότητα τροφής ρυθμιζόταν καθημερινά, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την αισθητή όρεξη των ψαριών όσο και την εμπειρία του εργαστηρίου για τις ανάγκες αυτού του σταδίου.

3.6 Καταγραφή της συμπεριφοράς και συνθήκες βιντεοσκόπησης

Η βασική συμπεριφορική παράμετρος που ενδιέφερε στη μελέτη ήταν η συμπεριφορά σίτισης και η κίνηση των ψαριών στον χώρο κατά και αμέσως μετά τη σίτιση. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ψηφιακή κάμερα υψηλής ανάλυσης (τύπου action camera), τοποθετημένη σε σταθερό τρίποδο μπροστά από κάθε δεξαμενή. Το οπτικό πεδίο ρυθμίστηκε έτσι ώστε να καλύπτει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος της δεξαμενής, χωρίς έντονες παραμορφώσεις στις άκρες.

Πριν από την έναρξη των επίσημων καταγραφών πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές λήψεις. Σε αυτές ρυθμίστηκαν η απόσταση και το ύψος της κάμερας, η γωνία λήψης, καθώς και λεπτομέρειες όπως η αποφυγή αντανακλάσεων από τα φωτιστικά του χώρου. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρειάστηκε να τοποθετηθεί σκούρο χαρτόνι πίσω από τις δεξαμενές, ώστε να μειωθεί οπτικός «θόρυβος» από το φόντο και να καθαρίσει η εικόνα.

Η διαδικασία λήψης είχε μια σταθερή σειρά. Αρχικά, ο ερευνητής άφηνε την κάμερα σε κατάσταση αναμονής, στη σωστή θέση. Στη συνέχεια, χορηγούσε την τροφή στη δεξαμενή με έναν ενιαίο, ήρεμο τρόπο, αποφεύγοντας απότομες κινήσεις ή σκιές πάνω από το νερό. Αμέσως μετά την πτώση των πρώτων pellets στο νερό, ενεργοποιούσε την καταγραφή. Κάθε βίντεο είχε διάρκεια περίπου δέκα λεπτών. Τα πρώτα λεπτά, στα οποία αποτυπωνόταν η αρχική αντίδραση των ψαριών στη τροφή, ήταν εκείνα που θα χρησιμοποιούνταν κυρίως στην ποσοτική ανάλυση, αλλά η καταγραφή συνεχιζόταν ώστε να υπάρχει πλήρης εικόνα της εξέλιξης της συμπεριφοράς.

Οι βιντεοσκοπήσεις γίνονταν πάντα περίπου την ίδια ώρα κάθε ημέρας, μετά την πρωινή σίτιση, ώστε να περιοριστούν οι επιδράσεις του κιρκάδιου ρυθμού στην όρεξη και στη δραστηριότητα. Κατά τη διάρκεια των λήψεων, η παρουσία ανθρώπων στον χώρο περιοριζόταν στον ελάχιστο απαραίτητο χειριστή. Ο χειριστής προσπαθούσε να παραμένει όσο το δυνατόν πιο ακίνητος, σε συγκεκριμένο σημείο, χωρίς συχνές μετακινήσεις.

Σε λίγες από τις πρώτες καταγραφές παρατηρήθηκε ότι η πιο κοντινή και εμφανής παρουσία του ανθρώπου επηρέαζε την κίνηση του κοπαδιού: τα ψάρια συγκεντρώνονταν σε απομακρυσμένα σημεία της δεξαμενής ή καθυστερούσαν να αντιδράσουν στην τροφή. Μετά από αυτή τη διαπίστωση, έγινε συνειδητή προσπάθεια να ελαχιστοποιηθούν οι εξωγενείς διαταραχές, με αποτέλεσμα στις επόμενες λήψεις η συμπεριφορά να είναι πιο φυσική.

Μετά το τέλος κάθε λήψης, τα βίντεο μεταφέρονταν σε υπολογιστή και οργανώνονταν σε φακέλους ανά ομάδα, ημερομηνία και ώρα καταγραφής. Συνολικά συγκεντρώθηκαν πάνω από σαράντα βίντεο, τα οποία κάλυψαν ουσιαστικά όλη την πειραματική περίοδο και παρείχαν πλούσιο υλικό για ανάλυση.

Η αξιολόγηση της συμπεριφοράς των ψαριών βασίστηκε αποκλειστικά στην οπτική ανάλυση των βίντεο που συλλέχθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Για κάθε δεξαμενή και για κάθε ημέρα υπήρχε μία καταγραφή περίπου δέκα λεπτών, η οποία αποτύπωνε τόσο την άμεση αντίδραση των ψαριών μετά την πτώση της τροφής όσο και την ευρύτερη κινητική τους δραστηριότητα κατά τη διάρκεια της σίτισης. Η παρακολούθηση των βίντεο έγινε επαναληπτικά, σε σταθερές συνθήκες και χωρίς εξωτερικούς περισπασμούς, ώστε να μειωθεί ο παράγοντας της υποκειμενικότητας. Κάθε βίντεο προβλήθηκε τουλάχιστον δύο φορές, με σκοπό την επιβεβαίωση της συνέπειας των παρατηρήσεων και την πιο καθαρή αποτύπωση των συμπεριφορικών μοτίβων.

Κατά την ανάλυση, δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή σε συγκεκριμένα στοιχεία της συμπεριφοράς, όπως ο χρόνος πρώτης προσέγγισης της τροφής, η ένταση και η ταχύτητα της αρχικής κίνησης, ο βαθμός ευθύγραμμης ή διακοπτόμενης κολύμβησης, η παρουσία στιγμιαίου δισταγμού και οι κοινωνικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα άτομα. Το ποσοστό κατανάλωσης της τροφής εκτιμήθηκε επίσης άμεσα από την εικόνα, με παρατήρηση του πόσα pellets καταναλώνονταν μέσα στο χρονικό παράθυρο καταγραφής. Όλες οι παρατηρήσεις καταγράφονταν συστηματικά σε φύλλα καταγραφής που είχαν σχεδιαστεί ειδικά για το

πείραμα, ώστε τα δεδομένα να είναι οργανωμένα και συγκρίσιμα μεταξύ των ομάδων και των ημερών.

Για τις περιπτώσεις όπου υπήρχε μικρή αμφιβολία, όπως για παράδειγμα όταν η πρώτη προσέγγιση της τροφής διέφερε κατά ένα έως δύο δευτερόλεπτα μεταξύ δύο προβολών, κρατήθηκε η μέση τιμή. Η αξιολόγηση όλων των βίντεο έγινε από το ίδιο άτομο, με την ίδια μεθοδολογία, ώστε να υπάρχει συνοχή και σταθερότητα στα κριτήρια. Η επιλογή της οπτικής μεθόδου κρίθηκε κατάλληλη, καθώς το πείραμα επικεντρωνόταν κυρίως σε ποιοτικά συμπεριφορικά χαρακτηριστικά, τα οποία σε συνθήκες πραγματικής εκτροφής παραμένουν βασικά εργαλεία αξιολόγησης ευζωίας. Έτσι, η οπτική προσέγγιση εξασφάλισε μια λεπτομερή αλλά και ρεαλιστική αποτύπωση της συμπεριφοράς των ψαριών.

3.7 Οργάνωση και στατιστική ανάλυση των συμπεριφορικών δεδομένων

Μετά την ολοκλήρωση της συλλογής των βίντεο και της οπτικής αξιολόγησης, τα δεδομένα οργανώθηκαν σε αναλυτικούς πίνακες, στους οποίους κάθε καταγραφή αντιστοιχούσε σε μία γραμμή και κάθε συμπεριφορική παράμετρος σε μία στήλη. Οι παράμετροι που αποτυπώνονταν αριθμητικά, όπως ο χρόνος πρώτης προσέγγισης και η εκτίμηση του ποσοστού κατανάλωσης, εισήχθησαν ως αριθμητικές τιμές. Οι περισσότεροι ποιοτικές παράμετροι κατηγοριοποιήθηκαν με βάση συγκεκριμένα κριτήρια έντασης ή συχνότητας, έτσι ώστε να μπορούν να ενσωματωθούν στη συνολική στατιστική προσέγγιση.

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση λογιστικών φύλλων και εξειδικευμένου στατιστικού πακέτου. Αρχικά εξετάστηκε η κατανομή των δεδομένων μέσω ελέγχων κανονικότητας, ενώ αξιολογήθηκε και η ομοιογένεια των διακυμάνσεων ώστε να διαπιστωθεί αν τα δεδομένα πληρούσαν τις προϋποθέσεις για παραμετρική ανάλυση. Για τη διερεύνηση της επίδρασης της ιχθυοφόρτισης και της διατροφικής μεταχείρισης εφαρμόστηκε ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων, η οποία επέτρεψε την εκτίμηση τόσο των κύριων

επιδράσεων όσο και της πιθανής αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο παραγόντων. Όταν εντοπίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, ακολούθησαν δοκιμές πολλαπλών συγκρίσεων, ώστε να προσδιοριστεί με ακρίβεια ποιες ομάδες διέφεραν μεταξύ τους.

Οι παρατηρήσεις πιο ποιοτικού χαρακτήρα χρησιμοποιήθηκαν συμπληρωματικά, ως μέσο ερμηνείας των αριθμητικών αποτελεσμάτων. Αν και δεν υπέστησαν ξεχωριστή στατιστική επεξεργασία, προσέφεραν πολύτιμες ενδείξεις για το πώς τα αριθμητικά δεδομένα αντικατοπτρίζονταν στη γενικότερη συμπεριφορά των ψαριών. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο $p < 0,05$ και όλες οι συγκεντρωτικές τιμές παρουσιάστηκαν ως μέσοι όροι συνοδευόμενοι από τυπική απόκλιση. Η μεθοδολογία αυτή επέτρεψε τον συνδυασμό μιας αντικειμενικής στατιστικής προσέγγισης με την πιο ποιοτική και παρατηρησιακή φύση της συμπεριφοράς, προσφέροντας έτσι μια ολοκληρωμένη εικόνα των διαφορών ανάμεσα στις πειραματικές ομάδες.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Γενική εικόνα της συμπεριφοράς κατά τη διάρκεια του πειράματος

Η συνολική εικόνα που διαμορφώθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος ήταν ότι τα ψάρια προσαρμόστηκαν σχετικά γρήγορα στις συνθήκες κάθε δεξαμενής και, μετά τις πρώτες ημέρες, διατήρησαν επαναλαμβανόμενα μοτίβα συμπεριφοράς. Η πρώτη φάση είχε, όπως είναι αναμενόμενο σε ζωντανούς οργανισμούς, μικρές «ασυνέπειες»: ορισμένες ημέρες υπήρχε ελαφρώς διαφορετική ένταση αντίδρασης, άλλοτε τα ψάρια έδειχναν κάπως πιο συγκρατημένα, άλλοτε πιο «ζωντανά». Ωστόσο, αυτά τα μικρά «ανεβοκατεβάσματα» δεν ανέτρεψαν τη γενική τάση. Από την τρίτη-τέταρτη ημέρα και μετά, η συμπεριφορά σίτισης σταθεροποιήθηκε και κάθε ομάδα άρχισε να παρουσιάζει ένα αρκετά καθαρό προφίλ.

Ήταν εμφανές ότι όλες οι ομάδες αναγνώριζαν πολύ γρήγορα το ερέθισμα της τροφής. Με το που έπεφτε το πρώτο pellet στην επιφάνεια, σχεδόν σε κάθε βίντεο παρατηρούνταν μια

άμεση κινητοποίηση του κοπαδιού: τα άτομα ανέβαιναν σταδιακά προς το ανώτερο τμήμα της δεξαμενής, η διάταξη στο χώρο άλλαζε και εμφανιζόταν ένα χαρακτηριστικό «κύμα» κίνησης προς την πηγή της τροφής. Η κίνηση αυτή δεν είχε πάντα την ίδια ένταση και συνοχή. Σε κάποιες ομάδες ήταν πιο «κοφτή», με ψάρια που εκτοξεύονταν γρήγορα προς τα πάνω, ενώ σε άλλες ήταν πιο ήπια, με πιο προσεκτική και μετρημένη άνοδο.



Εικόνα 4.1. Άμεση κινητοποίηση του κοπαδιού μετά την πτώση της τροφής και συγκέντρωση στην επιφάνεια.



Εικόνα 4.2. Χωρική ανακατανομή των ατόμων ως απόκριση στο ερέθισμα της σίτισης.

Η διαφοροποίηση αυτή φάνηκε να σχετίζεται κυρίως με την ιχθυοφόρτιση και, σε δεύτερο επίπεδο, με τη διατροφή (παρουσία ή απουσία ελαίου κανέλας). Στις χαμηλές πυκνότητες, τα ψάρια έδιναν την εντύπωση ομάδων που έχουν «χώρο να αναπνεύσουν»: η κίνηση ήταν άνετη, οι τροχιές πιο ευθύγραμμες, η οπτική εικόνα καθαρή, χωρίς μεγάλη σύγχυση. Υπήρχε η αίσθηση ότι κάθε άτομο μπορούσε να βρει γρήγορα τη δική του διαδρομή προς την τροφή, χωρίς να χρειάζεται να «παλέψει» με τους γείτονες.

Αντίθετα, στις μέσες και ιδιαίτερα στις υψηλές πυκνότητες, η συμπεριφορά του κοπαδιού έδειχνε από τις πρώτες κιόλας λήψεις ότι λειτουργούσε υπό μεγαλύτερο «φόρτο». Τα ψάρια έμοιαζαν περισσότερο «μαζεμένα», με πιο σφιχτή χωρική κατανομή και πιο συχνές μικρο-επαφές μεταξύ τους, ειδικά στα πρώτα δευτερόλεπτα μετά την πτώση της τροφής.



Εικόνα 4.3. Χωρική σύμπτυξη του κοπαδιού υπό

συνθήκες μεγαλύτερης ιχθυοφόρτισης.

Η συνοχή του κοπαδιού ήταν μεν διατηρημένη – δεν είχαμε εικόνα αποδιοργάνωσης – αλλά ο τρόπος κίνησης ήταν λιγότερο καθαρός, με πιο πολλές διορθώσεις πορείας και μικρά «σταματήματα».

Παρά τη διαφορά στον «τόνο» της συμπεριφοράς, δεν παρατηρήθηκαν ομάδες που να αδιαφόρησαν για την τροφή ή να εμφάνισαν πλήρη άρνηση σίτισης. Σε όλες τις δεξαμενές, ανεξάρτητα από την πυκνότητα και τη διατροφική μεταχείριση, τα ψάρια έτρωγαν συστηματικά. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένα βασικό σημείο αναφοράς: δείχνει ότι, ακόμη και στις πιο πιεσμένες συνθήκες πυκνότητας, οι παράμετροι του περιβάλλοντος και η γενική κατάσταση υγείας παρέμειναν μέσα σε όρια που επιτρέπουν φυσιολογική σίτιση.

Ως προς τη γενικότερη εξωτερική εμφάνιση, τα άτομα διατήρησαν το χαρακτηριστικό τους ασημογκρί χρώμα, με τη χρυσή ταινία στο μέτωπο και την τυπική σωματική μορφή. Δεν παρατηρήθηκαν σταθερές αλλαγές χρωματισμού που να συνδέονται με κάποια συγκεκριμένη ομάδα, ούτε μόνιμη σκουρόχρωση που συχνά θεωρείται ένδειξη έντονου ή χρόνιου stress. Δεν παρατηρήθηκαν επίσης σημάδια τραυματισμών, σπασμένα πτερύγια ή έντονα γδαρσίματα που θα μπορούσαν να υποδεικνύουν σοβαρή επιθετικότητα. Όλα αυτά συνηγορούν στο ότι, αν και

η ιχθυοφόρτιση επηρέασε σαφώς τη συμπεριφορά, δεν οδήγησε σε συνθήκες «κατάρρευσης» της ευζωίας.

Με άλλα λόγια, η γενική εικόνα που προκύπτει είναι η εξής: τα ψάρια προσαρμόστηκαν, βρήκαν έναν δικό τους ρυθμό ανά δεξαμενή, και πάνω σε αυτόν τον ρυθμό αποτυπώθηκαν οι πιο λεπτές διαφοροποιήσεις που σχετίζονται με την πυκνότητα και την παρουσία κανέλας στη διατροφή.

4.2 Ποσοστό κατάποσης της τροφής

Το πρώτο και πιο απλό, αλλά ταυτόχρονα θεμελιώδες, ερώτημα ήταν πόση από την τροφή που παρεχόταν κατέληγε τελικά να καταναλωθεί. Η μέτρηση του ποσοστού κατάποσης είχε διπλή σημασία. Από τη μία λειτουργούσε ως δείκτης όρεξης και γενικής συμπεριφορικής κατάστασης. Από την άλλη, αποτελούσε και πρακτικό μέτρο της «αποδοτικότητας» της σίτισης, καθώς η τροφή που παραμένει στον πυθμένα δεν είναι μόνο σπατάλη, αλλά και πιθανή πηγή επιβάρυνσης της ποιότητας του νερού.

Σε όλες τις ομάδες, ανεξάρτητα από πυκνότητα και διατροφή, το ποσοστό κατάποσης ήταν γενικά υψηλό. Αυτό από μόνο του είναι ένα σημαντικό εύρημα, που δείχνει ότι τα ψάρια, κατά κανόνα, διατήρησαν καλή όρεξη και δεν υπήρξαν περίοδοι παρατεταμένης ανορεξίας.



Εικόνα 4.4. Λειτουργική συμπεριφορά σίτισης με υψηλό ποσοστό κατανάλωσης.

Στις δεξαμενές χαμηλής πυκνότητας, οι ομάδες μάρτυρες εμφάνισαν ποσοστά κατάποσης που κυμαίνονταν περίπου στο 95–98%. Η σίτιση στις δεξαμενές αυτές ήταν οπτικά καθαρή: τα pellets που έπεφταν στην επιφάνεια καταναλώνονταν σχετικά γρήγορα, και στον

πυθμένα σπάνια έμεναν ορατά υπολείμματα για πολλή ώρα. Οι καθημερινές διακυμάνσεις ήταν μικρές και δεν υπήρχε κάποια ημέρα που να ξεχωρίζει ως ιδιαίτερα «φτωχή» στη σίτιση.

Στις αντίστοιχες ομάδες χαμηλής πυκνότητας που λάμβαναν τροφή με έλαιο κανέλας, τα ποσοστά κατάποσης ήταν σταθερά ελαφρώς υψηλότερα, συχνά αγγίζοντας το 99–100%. Αν και η αριθμητική διαφορά μπορεί να φαίνεται μικρή, έχει σημασία ότι επαναλαμβανόταν συστηματικά. Δεν παρατηρήθηκαν ημέρες με αισθητά χαμηλότερα ποσοστά· αντίθετα, τα ψάρια στις ομάδες αυτές έδειχναν, οπτικά και ποσοτικά, ότι προσέγγιζαν και κατανάλωναν την τροφή με σταθερό και πλήρη τρόπο. Η προσθήκη κανέλας, επομένως, όχι μόνο δεν μείωσε την αποδοχή της τροφής, αλλά φαίνεται ότι λειτούργησε υποστηρικτικά στη διατήρηση πολύ υψηλού ποσοστού κατανάλωσης.

Στη μέση πυκνότητα, το σκηνικό άλλαξε ελαφρά. Στις ομάδες μάρτυρες, το ποσοστό κατάποσης παρουσίασε μια μικρή αλλά σαφή υποχώρηση, με τιμές που κυμάνθηκαν γύρω στο 90–94%. Σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρήθηκε ότι κάποια pellets χρειάζονταν περισσότερο χρόνο για να καταναλωθούν και, ιδιαίτερα προς το τέλος της σίτισης, υπήρχαν λίγα υπολείμματα που έμεναν για μεγαλύτερο διάστημα στον πυθμένα, πριν συλλεγούν κατά τον καθαρισμό. Η εικόνα δεν ήταν ανησυχητική, αλλά έδινε μια πρώτη ένδειξη ότι η αυξημένη πυκνότητα άρχιζε να επιβαρύνει τη «συνολική ενεργοποίηση» του κοπαδιού.

Στις ομάδες με κανέλα στη μέση πυκνότητα, το ποσοστό κατάποσης παρέμεινε σε λίγο υψηλότερα επίπεδα. Σε πολλές καταγραφές ξεπερνούσε το 95–96% και σπάνια υπήρχαν σοβαρές αποκλίσεις προς τα κάτω. Η γενική εντύπωση ήταν ότι, παρότι η μέση πυκνότητα έθετε κάποιους περιορισμούς στην κινητικότητα, η διατροφική ενίσχυση με κανέλα βοηθούσε τα ψάρια να διατηρούν πιο σταθερή συμμετοχή στη σίτιση.

Στην υψηλή πυκνότητα, οι διαφορές έγιναν πιο έκδηλες. Στις ομάδες μάρτυρες, το ποσοστό κατάποσης υποχώρησε πιο αισθητά: σε ορισμένες περιπτώσεις έφτασε να κυμαίνεται γύρω στο 85–88%. Δεν επρόκειτο για δραματική πτώση, όμως ήταν σαφές πως σε περιβάλλον

με περισσότερα άτομα στον ίδιο περιορισμένο χώρο, υπήρχαν πιο συχνές καταστάσεις όπου κάποια pellets έμεναν αδιάφορα για μεγαλύτερο διάστημα. Η σίτιση δεν διακοπτόταν, αλλά η εικόνα ήταν πιο «ανοργάνωτη» και ορισμένα άτομα φαίνονταν λιγότερο ενεργά.

Αντίθετα, στις ομάδες με κανέλα στην ίδια υψηλή πυκνότητα, το ποσοστό κατάποσης ήταν υψηλότερο και πιο σταθερό, με τιμές κοντά στο 90–94%. Και εδώ παρατηρήθηκε ότι η αυξημένη ιχθυοφόρτιση είχε ένα κόστος στην απόλυτη αποτελεσματικότητα της σίτισης, όμως η παρουσία της κανέλας φάνηκε να συμβάλλει στο να παραμένει το ποσοστό κατανάλωσης σε καλύτερα επίπεδα σε σύγκριση με τις αντίστοιχες ομάδες μάρτυρες.



Εικόνα 4.5. Άμεση ανταπόκριση των ατόμων στη χορήγηση τροφής κατά τη φάση εκτίμησης της κατανάλωσης.

Συνολικά, λοιπόν, η ιχθυοφόρτιση φαίνεται να επηρέασε αρνητικά – έστω και ήπια – το ποσοστό κατάποσης της τροφής, ιδίως στις πιο «φορτισμένες» συνθήκες. Η κανέλα, αντίθετα, λειτούργησε περισσότερο ως σταθεροποιητικός παράγοντας: δεν δημιούργησε θεαματικά άλματα στις χαμηλές πυκνότητες, όπου οι συνθήκες ήταν ήδη ευνοϊκές, αλλά στις μέσες και κυρίως στις υψηλές πυκνότητες βοήθησε να διατηρηθεί η κατανάλωση της τροφής σε σχετικά υψηλά επίπεδα, μειώνοντας τις απώλειες και την ασυνέπεια.

4.3 Χρόνος πρώτης προσέγγισης και ταχύτητα κίνησης προς την τροφή

Πέρα από το αν η τροφή καταναλωνόταν ή όχι, κρίσιμο ήταν να δούμε και το πόσο γρήγορα και με ποιον τρόπο αντιδρούσαν τα ψάρια στο ερέθισμα της σίτισης. Ο χρόνος πρώτης προσέγγισης (latency) και η μέση ταχύτητα κίνησης προς την τροφή αποτέλεσαν δύο από τους

πιο «ευαίσθητους» δείκτες, που ανέδειξαν με σαφήνεια τις επιδράσεις της πυκνότητας και της κανέλας.

Στις χαμηλές πυκνότητες, σχεδόν σε όλα τα βίντεο, ο χρόνος πρώτης προσέγγισης ήταν εντυπωσιακά μικρός. Η πτώση του πρώτου pellet στην επιφάνεια συνοδευόταν από άμεση αντίδραση: τα ψάρια «σήκωναν το κεφάλι» κυριολεκτικά σε δευτερόλεπτα. Οι πρώτες καθαρές κινήσεις προς την τροφή καταγράφονταν συνήθως μέσα σε 1–3 δευτερόλεπτα. Η εικόνα αυτή, όπως αποτυπώθηκε και στη βιντεοανάλυση, ήταν συμβατή με την αίσθηση ενός κοπαδιού που βρίσκεται σε καλή κατάσταση, χωρίς υπερβολικό stress, και έχει υψηλό βαθμό προθυμίας για σίτιση.

Οι μέσες ταχύτητες κίνησης που υπολογίστηκαν από τα δεδομένα ιχνηλάτησης στην χαμηλή πυκνότητα ήταν υψηλές. Στις ομάδες μάρτυρες, οι τιμές κυμάνθηκαν περίπου στα 17–19 cm/s, ενώ στις αντίστοιχες ομάδες με κανέλα βρίσκονταν στην ίδια τάξη μεγέθους ή ελαφρώς υψηλότερα. Οπτικά, η κίνηση ήταν γρήγορη και αποφασιστική. Το άτομο που ιχνηλατείτο έκανε συχνά μια–δύο έντονες κινήσεις προς το σημείο σίτισης και, στη συνέχεια, μικρές διορθωτικές μετακινήσεις μικρής έντασης καθώς αναζητούσε τα τελευταία pellets.

Στη μέση πυκνότητα, οι διαφορές άρχισαν να φαίνονται πιο καθαρά. Ο χρόνος πρώτης προσέγγισης αυξήθηκε ώστε, σε αρκετές καταγραφές, οι πρώτες κινήσεις προς την τροφή να σημειώνονται στα 3–5 δευτερόλεπτα. Δεν μιλάμε για αργοπορία σε βαθμό ανησυχητικό, αλλά περισσότερο για μια καθυστέρηση που έδινε την αίσθηση ότι το κοπάδι χρειαζόταν ένα «κλάσμα δευτερολέπτου» παραπάνω για να συντονιστεί. Η μέση ταχύτητα κίνησης μειώθηκε παράλληλα. Στις ομάδες μάρτυρες στη μέση πυκνότητα, οι τιμές βρέθηκαν γύρω στα 14–16 cm/s, ενώ στις ομάδες με κανέλα καταγράφηκαν ελαφρώς υψηλότερες μέσες τιμές, της τάξης των 16–17 cm/s.

Στην υψηλή πυκνότητα, η εικόνα άλλαξε ακόμη περισσότερο. Ο χρόνος πρώτης προσέγγισης παρουσίασε μεγαλύτερη διακύμανση. Σε κάποια βίντεο, οι πρώτες αντιδράσεις

προς την τροφή καταγράφονταν στα 4–6 δευτερόλεπτα, ενώ σε άλλες περιπτώσεις το latency έφτανε μέχρι και 7–8 δευτερόλεπτα. Ο τρόπος οργάνωσης της κίνησης ήταν πιο σύνθετος: συχνά το κοπάδι δεν ξεκινούσε ως ένα ενιαίο «μέτωπο», αλλά εμφανίζονταν μικρές υποομάδες που κινούνταν σε διαφορετικές κατευθύνσεις πριν τελικά συγκλίνουν στην περιοχή της τροφής. Η συνολική εικόνα ήταν περισσότερο «σπαστή», με περισσότερες μικρές παύσεις και αλλαγές πορείας.

Οι μέσες ταχύτητες κίνησης προς την τροφή σε αυτή την πυκνότητα ήταν σαφώς χαμηλότερες. Στις ομάδες μάρτυρες, οι τιμές κυμάνθηκαν γύρω στα 11–13 cm/s. Στις ομάδες με κανέλα, οι τιμές ήταν λίγο υψηλότερες, περίπου στα 13–15 cm/s, και συνοδεύονταν από κάτι ακόμα: οπτικά, η κίνηση έδινε την εντύπωση ενός κοπαδιού που, παρότι πιεσμένο χωρικά, εξακολουθούσε να αντιδρά με πιο «οργανωμένο» τρόπο και με λιγότερο δισταγμό.

Δεν είναι όλες οι διαφορές αυτές θεαματικές ή δραματικά μεγάλες. Ωστόσο, το σταθερό μοτίβο είναι σαφές: όσο αυξανόταν η πυκνότητα, τόσο αυξανόταν ο χρόνος πρώτης προσέγγισης και τόσο μειωνόταν η μέση ταχύτητα κίνησης. Η κανέλα φαίνεται να «φρενάρει» μερικώς αυτή τη μεταβολή, διατηρώντας τον ρυθμό κίνησης και την ταχύτητα αντίδρασης πιο κοντά στα επίπεδα των χαμηλότερων πυκνοτήτων, ειδικά στις πιο φορτισμένες συνθήκες.



Εικόνα 4.6. Μοτίβα κολύμβησης σε συνθήκες

χαμηλής (ή υψηλής) ιχθυοφόρτισης.

4.4 Μοτίβα κολύμβησης και τροχιές κίνησης

Τα καθαρά αριθμητικά δεδομένα (ταχύτητες, αποστάσεις, χρόνοι) δίνουν σημαντικές πληροφορίες, αλλά δεν αρκούν από μόνα τους για να αποτυπώσουν την «ποιότητα» της

κίνησης. Γι' αυτό και ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στα μοτίβα κολύμβησης, όπως αυτά φάνηκαν στα διαγράμματα τροχιογραφίας που προέκυψαν από το tracking.

Στις χαμηλές πυκνότητες, οι τροχιές ήταν, τις περισσότερες φορές, καθαρές και απλές. Το ψάρι που ιχνηλατείτο ξεκινούσε από κάποιο σημείο της δεξαμενής και, μόλις αντιλαμβανόταν την τροφή, ακολουθούσε μια σχετικά ευθύγραμμη ή ελαφρώς καμπύλη διαδρομή προς το σημείο όπου βρίσκονταν τα pellets. Η πορεία ήταν σαφής, χωρίς πολλά «σπασίματα» και απότομες αλλαγές, και ο συνολικός χώρος που εκμεταλλευόταν το ψάρι ήταν μεγάλος. Μετά την πρώτη φάση σίτισης, η κίνηση γινόταν πιο διάχυτη, με μικρές διαδρομές σε διάφορα σημεία, καθώς αναζητούσε ό,τι είχε απομείνει.

Στη μέση πυκνότητα, οι τροχιές άρχισαν να γίνονται πιο περίπλοκες. Ενώ εξακολουθούσαν να έχουν μια γενική κατεύθυνση προς το σημείο σίτισης, εμφανίζονταν πιο συχνές αλλαγές πορείας. Σε αρκετές περιπτώσεις, το άτομο που ιχνηλατείτο έκανε μικρούς κύκλους ή «γωνίες» πριν ευθυγραμμιστεί προς την τροφή. Η συνολική διανυθείσα απόσταση αυξανόταν όχι μόνο επειδή περνούσε περισσότερος χρόνος μέχρι την ολοκλήρωση της σίτισης, αλλά και επειδή η κίνηση περιείχε περισσότερες διορθωτικές κινήσεις. Η παρουσία περισσότερων ατόμων στον ίδιο χώρο έκανε συχνά το ψάρι να αναγκάζεται να «παρακάμψει» άλλα άτομα, κάτι που φαινόταν καθαρά στα διαγράμματα.

Στην υψηλή πυκνότητα, τα μοτίβα τροχιάς απέκτησαν ακόμη πιο «σπασμένο» χαρακτήρα. Το ψάρι που ιχνηλατείτο σπάνια ακολουθούσε μια ευθύγραμμη πορεία. Αντίθετα, η κίνηση είχε συχνά τη μορφή ζιγκ-ζαγκ, με συνεχείς μικρές αλλαγές κατεύθυνσης. Ήταν εμφανές ότι η παρουσία πολλών ατόμων στον ίδιο περιορισμένο χώρο δημιουργούσε μια κατάσταση όπου η κολύμβηση δεν καθοριζόταν μόνο από την επιθυμία προσέγγισης της τροφής, αλλά και από την ανάγκη αποφυγής συγκρούσεων. Σε κάποιες καταγραφές, ειδικά στην ομάδα μάρτυρα υψηλής πυκνότητας, υπήρχε η εντύπωση ότι το ψάρι έκανε «γύρους» και

μικρές παρακάμψεις πριν τελικά φτάσει στο σημείο σίτισης, παρότι η γεωμετρική απόσταση δεν ήταν μεγαλύτερη από τις άλλες δεξαμενές.

Στις ομάδες με κανέλα, ακόμη και στην υψηλή πυκνότητα, τα μοτίβα κίνησης έδειχναν ελαφρώς πιο συνεκτικά. Δεν ήταν ότι εξαφανίστηκαν οι διορθωτικές κινήσεις – αυτό θα ήταν ανέφικτο σε τόσο γεμάτο χώρο – αλλά ο τρόπος με τον οποίο «έδεναν» οι τροχιές έδειχνε πιο οργανωμένη εικόνα. Σε αρκετά διαγράμματα, οι τροχιές του ίδιου ψαριού ήταν πιο «μαζεμένες» γύρω από τη βασική διαδρομή, με λιγότερες πολύ απότομες αλλαγές και σημεία όπου το ψάρι έμοιαζε να «κολλάει» στη μέση της δεξαμενής χωρίς ξεκάθαρη κατεύθυνση.

Αν συνδυάσει κανείς όλα αυτά τα στοιχεία, γίνεται φανερό ότι τα μοτίβα κολύμβησης αντικατοπτρίζουν, με τρόπο ίσως πιο «οπτικό» αλλά εξίσου σημαντικό, το πώς η πυκνότητα αλλάζει τον τρόπο με τον οποίο το άτομο οργανώνει την κίνησή του προς έναν στόχο. Σε χαμηλές πυκνότητες βλέπουμε καθαρές, γρήγορες, αποφασιστικές διαδρομές. Σε υψηλές πυκνότητες, βλέπουμε διαδρομές πιο σπαστές, με περισσότερη «σύγχυση». Η κανέλα δεν αναιρεί το φαινόμενο, αλλά φαίνεται να το «μαλακώνει», διατηρώντας ένα μίνιμουμ οργάνωσης ακόμη και στις πιο απαιτητικές συνθήκες.



Εικόνα 4.7. Διαφοροποιημένες τροχιές κίνησης των ατόμων κατά τη φάση σίτισης.

4.5 Ποιοτικές παρατηρήσεις συμπεριφοράς:

Πέρα από τις μετρήσεις και τα διαγράμματα, οπτικές και περιγραφικές παρατηρήσεις συμπεριφοράς κράτησαν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της τελικής εικόνας. Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, κρατήθηκαν σημειώσεις για στοιχεία όπως ο δισταγμός, η πιθανή

εμφάνιση επιθετικότητας, η «συμφόρηση» κοντά στην επιφάνεια κατά τη σίτιση και ο αριθμός ατόμων που έμεναν ουσιαστικά παθητικά.

Στις χαμηλές πυκνότητες, ο γενικός τόνος της συμπεριφοράς ήταν ήρεμος και «καθαρός». Σχεδόν όλα τα άτομα συμμετείχαν ενεργά στη σίτιση, χωρίς εμφανείς ενδείξεις φόβου ή απόσυρσης. Δεν παρατηρήθηκαν επεισόδια έντονης επιθετικότητας. Υπήρχαν, φυσικά, μεμονωμένες στιγμές όπου κάποιο ψάρι έσπρωχνε πλαγίως κάποιο άλλο, ή έπαιρνε λίγο πιο προνομακή θέση κοντά στα pellets, αλλά τα επεισόδια αυτά ήταν σύντομα και δεν εξελίσσονταν σε μοτίβο συνεχούς καταδίωξης ή επανάληψης.

Στις μέσες πυκνότητες, οι μικρο-αντιπαραθέσεις έγιναν πιο συχνές. Ειδικά στις ομάδες μάρτυρες, παρατηρήθηκαν αρκετές φορές συμπεριφορές όπου 2–3 άτομα προσπαθούσαν να καταλάβουν ταυτόχρονα την ίδια θέση στην επιφάνεια, προκαλώντας μικρές συγκρούσεις σώμα με σώμα. Δεν υπήρχαν δαγκωνιές ούτε εμφανής επιθετικότητα σε βαθμό τραυματισμού, αλλά η συνολική εικόνα είχε περισσότερο «σπρώξιμο». Ο δισταγμός στη σίτιση ήταν σε γενικές γραμμές περιορισμένος, αλλά υπήρξαν 1–2 άτομα σε ορισμένες δεξαμενές που έμοιαζαν λιγότερο ενεργά, πλησιάζοντας στην περιοχή σίτισης με κάποια καθυστέρηση.

Στην υψηλή πυκνότητα, η εικόνα έγινε πιο έντονα περίπλοκη. Η «συμφόρηση» κοντά στην επιφάνεια ήταν ένα επαναλαμβανόμενο μοτίβο: μόλις έπεφτε η τροφή, πολλά άτομα συγκεντρώνονταν σε ένα σχετικά μικρό τμήμα της επιφάνειας, δημιουργώντας μια ζώνη αυξημένης κίνησης και συνεχών μικρο-επαφών. Σε αυτά τα στιγμιότυπα ήταν δύσκολο να ξεχωρίσει κανείς καθαρά τη συμβολή κάθε ατόμου, αλλά η εντύπωση ήταν ότι ορισμένα ψάρια δεν κατάφερναν να βρουν εύκολα «θέση» σε αυτή τη ζώνη, και γι' αυτό πλησίαζαν αργότερα ή παρέμεναν ελαφρώς πιο πίσω.

Παρότι ούτε εδώ παρατηρήθηκαν επεισόδια σοβαρής επιθετικότητας, η συχνότητα των μικρο-συγκρούσεων ήταν σαφώς μεγαλύτερη. Ταυτόχρονα, ο δισταγμός ήταν πιο έντονος σε

ορισμένα άτομα, που έδειχναν να διστάζουν να μπουν στο κέντρο της κίνησης και προτιμούσαν να κινούνται στην περιφέρεια του κοπαδιού.

Ένα στοιχείο που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι στις ομάδες με κανέλα, ακόμη και στην υψηλή πυκνότητα, η συμφοράση έμοιαζε ελαφρώς πιο «διαχειρίσιμη». Τα άτομα εναλλάσσονταν στη ζώνη σίτισης πιο ομαλά, χωρίς τόσο έντονη εντύπωση ότι κάποιοι μένουν «καρφωμένοι» εκτός. Δεν σημαίνει ότι η κανέλα εξάλειψε τα προβλήματα που δημιουργεί η υψηλή ιχθυοφόρτιση – κάτι τέτοιο θα ήταν υπερβολικό. Όμως, στις ποιοτικές σημειώσεις επανέρχεται συχνά η παρατήρηση ότι, σε ίδιες πυκνότητες, οι ομάδες με κανέλα έδιναν την αίσθηση πιο «μαλακής» και λιγότερο «νευρικής» κίνησης.

4.6 Συνολική σύνθεση και βασικά συμπεράσματα των αποτελεσμάτων

Αν προσπαθήσουμε να συμπυκνώσουμε σε λίγες προτάσεις όλα τα παραπάνω ευρήματα, προκύπτει μια εικόνα ξεκάθαρη, αλλά ταυτόχρονα και πολυεπίπεδη.

Πρώτον, η ιχθυοφόρτιση αποδείχθηκε ένας καθοριστικός παράγοντας για τη συμπεριφορά σίτισης της τσιπούρας. Όσο αυξανόταν ο αριθμός των ατόμων στον ίδιο όγκο νερού, τόσο πιο εμφανώς «έγραφε» αυτή η πίεση στα διάφορα στοιχεία της συμπεριφοράς: ο χρόνος πρώτης προσέγγισης αυξανόταν, οι μέσες ταχύτητες κίνησης μειώνονταν, οι τροχιές γίνονταν πιο «σπαστές» και πιο σύνθετες, η συμφοράση γύρω από την τροφή εντεινόταν και η κίνηση αποκτούσε έναν πιο προσεκτικό, λιγότερο αποφασιστικό χαρακτήρα. Δεν φτάσαμε σε επίπεδο πλήρους αποδιοργάνωσης ή κατάρρευσης της σίτισης – κάτι που θα σήμαινε ότι τα όρια αντοχής του είδους είχαν ξεπεραστεί – αλλά τα σημάδια ενός αυξημένου, έστω διαχειρίσιμου, stress ήταν ορατά.

Δεύτερον, η προσθήκη ελαίου κανέλας δεν λειτούργησε ως «μαγική λύση» που αλλάζει ριζικά την εικόνα, αλλά ως ένας ήπιος, σταθεροποιητικός παράγοντας. Στις χαμηλές πυκνότητες, όπου η συμπεριφορά ήταν ήδη πολύ καλή, οι διαφορές ήταν μικρές: η κανέλα δεν

μπορούσε να βελτιώσει κάτι που βρίσκεται ήδη κοντά στο «ιδανικό». Ωστόσο, ακόμη και εκεί, φαινόταν ότι η κατανάλωση της τροφής παρέμενε σταθερά πολύ υψηλή και ο ρυθμός αντίδρασης δεν επηρεαζόταν αρνητικά.

Το πραγματικό ενδιαφέρον εμφανίστηκε στις μέσες και κυρίως στις υψηλές πυκνότητες. Σε αυτές τις συνθήκες, όπου η πυκνότητα άρχισε να πιέζει πραγματικά τη συμπεριφορά, η κανέλα συνέβαλε στο να διατηρηθούν ορισμένα χαρακτηριστικά πιο κοντά στα επίπεδα των χαμηλών πυκνοτήτων: το ποσοστό κατάποσης παρέμεινε υψηλότερο σε σχέση με τις αντίστοιχες ομάδες μάρτυρες, ο χρόνος πρώτης προσέγγισης δεν εκτοξεύτηκε στον ίδιο βαθμό, οι μέσες ταχύτητες κίνησης ήταν συστηματικά λίγο υψηλότερες και τα μοτίβα κίνησης έδειχναν ελαφρώς μεγαλύτερη συνοχή. Ακόμη και σε ποιοτικό επίπεδο, η συμφύρρηση γύρω από την τροφή φαινόταν λιγότερο χαοτική και η εναλλαγή των ατόμων στη ζώνη σίτισης πιο ομαλή.

Με πιο απλά λόγια, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η πυκνότητα «γράφει» πάνω στη συμπεριφορά της τσιπούρας, δημιουργώντας μια προοδευτική εικόνα αισθητηριακού και κοινωνικού φόρτου, ενώ η κανέλα λειτουργεί σαν ένα μικρό «μαξιλάρι» ευζωίας που βοηθά τον οργανισμό να διαχειριστεί καλύτερα αυτή την πίεση. Δεν αλλάζει τη φύση του προβλήματος, αλλά μειώνει κάπως την ένταση με την οποία αυτό εκφράζεται.

Στο επόμενο κεφάλαιο, όπου τα αποτελέσματα αυτά θα συζητηθούν σε σχέση με τη διεθνή βιβλιογραφία και το θεωρητικό πλαίσιο της ευζωίας, θα φανεί πιο καθαρά πώς αυτά τα συμπεριφορικά ευρήματα συνδέονται με όσα γνωρίζουμε για την ιχθυοφόρτιση, τα φυτογενή πρόσθετα και τη λειτουργία της *Sparus aurata* ως μοντέλου για τη μελέτη της ευζωίας στη μεσογειακή υδατοκαλλιέργεια. Εδώ, όμως, μπορούμε ήδη να πούμε ότι το πείραμα ανέδειξε ένα συνεκτικό και «λογικό» μοτίβο: η συμπεριφορά αντανακλά την πυκνότητα, και η κανέλα φαίνεται να βοηθά αυτή την συμπεριφορική εικόνα να παραμείνει όσο γίνεται πιο κοντά στο «ήρεμο» και λειτουργικό πρότυπο των χαμηλών πυκνοτήτων.



Εικόνα 4.8. Συνθετική αποτύπωση της κινητικής συμπεριφοράς στις πειραματικές ομάδες.



Εικόνα 4.8.β. Εναλλακτική χωρική διάταξη των ατόμων υπό πειραματικές συνθήκες, συμβατή με λειτουργική συμπεριφορά σίτισης.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Ερμηνεία της συνολικής συμπεριφορικής εικόνας

Αν επιχειρήσει κανείς να δει τα αποτελέσματα όχι αποσπασματικά – δηλαδή όχι μόνο σε έναν δείκτη, όπως η ταχύτητα ή το latency – αλλά ως μια ενιαία εικόνα, γίνεται αρκετά ξεκάθαρο ότι η συμπεριφορά των ψαριών «καθρέφτιζε» με συνέπεια τις συνθήκες κάθε δεξαμενής. Η ιχθυοφόρτιση λειτούργησε ως ένας σταθερός και, σε μεγάλο βαθμό, αναμενόμενος παράγοντας πίεσης, κάτι που έχει περιγραφεί πολλές φορές στη βιβλιογραφία για τη *Sparus aurata* και για άλλα μεσογειακά είδη. Στην παρούσα μελέτη αυτό το σχήμα δεν το είδαμε μόνο ως αριθμούς σε πίνακες, αλλά πολύ ζωντανά στα βίντεο και στις τροχιές κίνησης.

Στις χαμηλές πυκνότητες, η συμπεριφορά έμοιαζε πολύ κοντά σε αυτό που θα ονομάζαμε «φυσική» εικόνα σίτισης για υγιή άτομα τσιπούρας σε καλές συνθήκες. Η προσέγγιση της τροφής ήταν άμεση, ο χρόνος πρώτης αντίδρασης ελάχιστος, οι τροχιές σαφείς, ευθύγραμμες ή ελαφρώς καμπύλες, και η γενικότερη εντύπωση ήταν αυτή ενός κοπαδιού που κινείται με άνεση, χωρίς να δείχνει ιδιαίτερη πίεση ή δισταγμό. Ο χώρος μέσα στη δεξαμενή χρησιμοποιούνταν σχεδόν πλήρως, τα άτομα δεν «στριμώχνονταν» στην επιφάνεια και δεν υπήρχαν επαναλαμβανόμενα μοτίβα μικρο-συγκρούσεων. Με άλλα λόγια, η συμπεριφορά επιβεβαίωνε ότι, σε αυτές τις πυκνότητες, η ευζωία βρισκόταν σε ένα πολύ ικανοποιητικό επίπεδο, κάτι που συμφωνεί με παλαιότερες παρατηρήσεις σε χαμηλές ιχθυοφορτίσεις (Papoutsoglou et al., 2001; Ellis et al., 2002).

Στις μέσες πυκνότητες, η εικόνα δεν άλλαξε απότομα, αλλά άρχισε να μετακινείται προς μια πιο «σφιχτή» κινητική συμπεριφορά. Η πρώτη κίνηση προς την τροφή άρχισε να καθυστερεί ελαφρά, οι αλλαγές κατεύθυνσης έγιναν συχνότερες, και οι τροχιές απέκτησαν περισσότερα σημεία καμπής. Δεν υπήρξε δραματική πτώση στην όρεξη, αλλά η κίνηση έδειχνε ότι τα άτομα έπρεπε να «διαπραγματευτούν» περισσότερο τον χώρο μεταξύ τους. Αυτό ακριβώς το ενδιάμεσο στάδιο έχει περιγραφεί και σε άλλες εργασίες, όπου η τσιπούρα, παρότι δεν συγκαταλέγεται στα πιο επιθετικά είδη, αρχίζει να δείχνει σημάδια κοινωνικής πίεσης όταν ο διαθέσιμος χώρος ανά άτομο μειώνεται (Ellis et al., 2002; Arechavala-Lopez et al., 2012). Θα μπορούσε κανείς να πει ότι, σε αυτό το επίπεδο πυκνότητας, η συμπεριφορά δεν είναι προβληματική, αλλά χάνει λίγο από την «καθαρότητα» και τη ρευστότητά της.

Στις υψηλές πυκνότητες, η πίεση έγινε πλέον εμφανής σε σχεδόν όλους τους συμπεριφορικούς δείκτες. Ο χρόνος πρώτης προσέγγισης μεγάλωσε, οι μέσες ταχύτητες μειώθηκαν, οι τροχιές έγιναν πιο «σπαστές», με περισσότερα ζιγκ-ζαγκ και αναγκαστικές αλλαγές κατεύθυνσης, ενώ η συμφόρηση στην επιφάνεια της δεξαμενής τις πρώτες στιγμές μετά την πτώση της τροφής ήταν αισθητή. Παρ' όλα αυτά, δεν υπήρξε κατάρρευση της

σίτισης: τα ψάρια συνέχισαν να τρώνε, και το ποσοστό κατανάλωσης της τροφής, αν και μειωμένο, παρέμεινε σε σχετικά υψηλά επίπεδα. Αυτό μας επιτρέπει να μιλήσουμε περισσότερο για ένα «υπο-οξύ» ή υποκλινικό stress, ένα επίπεδο δηλαδή πίεσης που δεν οδηγεί σε άμεση παθολογία, αλλά αποτυπώνεται καθαρά στη συμπεριφορά (Huntingford et al., 2006; Ashley, 2007).

Έτσι, η συνολική συμπεριφορική εικόνα δείχνει μια προοδευτική μετάβαση από την άνεση στη χαμηλή πυκνότητα, στην ήπια πίεση στη μέση, και στη πιο εμφανή, αλλά ακόμη διαχειρίσιμη, επιβάρυνση στην υψηλή πυκνότητα. Αυτή η συνέχεια συνδέεται απόλυτα με τα θεωρητικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια σχετικά με τον άξονα HPI, το stress και τις δευτερογενείς και τριτογενείς αποκρίσεις (Barton, 2002; Wendelaar Bonga, 1997). Η συμπεριφορά, με άλλα λόγια, λειτούργησε ακριβώς όπως θα περιμέναμε από έναν ευαίσθητο δείκτη ευζωίας.

Το πιο ενδιαφέρον όμως στοιχείο της μελέτης δεν ήταν ότι η πυκνότητα επηρέασε τη συμπεριφορά – αυτό αποτελεί πλέον σχεδόν «κλασική» γνώση – αλλά το πώς αυτή η συμπεριφορική απάντηση τροποποιήθηκε από την παρουσία του ελαίου κανέλας στη διατροφή.

5.2 Η επίδραση του ελαίου κανέλας στις διαφορετικές πυκνότητες

Η επίδραση της κανέλας δεν εμφανίστηκε με τη μορφή μιας θεαματικής αλλαγής, του τύπου «τα ψάρια με κανέλα συμπεριφέρθηκαν εντελώς διαφορετικά από τα υπόλοιπα». Αντίθετα, είχε έναν χαρακτήρα πιο ήπιο, αλλά σταθερό: θα μπορούσε να ειπωθεί ότι λειτούργησε σαν ένα είδος ρυθμιστικού «μαξιλαριού» που βοήθησε τη συμπεριφορά να παραμείνει πιο κοντά στο φυσιολογικό, ιδιαίτερα όταν η πυκνότητα άρχισε να γίνεται πιο απαιτητική.

Στις χαμηλές πυκνότητες, όπου ούτως ή άλλως η συμπεριφορά σίτισης ήταν εξαιρετική, η παρουσία της κανέλας δεν είχε πολλά περιθώρια να «δείξει» τη δράση της. Τα ποσοστά κατανάλωσης ήταν ήδη πολύ υψηλά, οι χρόνοι πρώτης προσέγγισης εξαιρετικά μικροί, και οι ταχύτητες κίνησης σε επίπεδα που δύσκολα μπορούν να βελτιωθούν πρακτικά. Σε αυτό το πλαίσιο, η κανέλα περισσότερο επιβεβαίωσε ότι δεν προκαλεί αρνητικές συνέπειες στη συμπεριφορά – δεν μείωσε, δηλαδή, την αποδοχή της τροφής ούτε οδήγησε σε αποφυγή – παρά ότι βελτίωσε κάτι που βρίσκεται ήδη κοντά στο ιδανικό. Αυτό από μόνο του είναι σημαντικό, γιατί σε κάθε φυτογενή ουσία υπάρχει πάντα και το ερώτημα της «αποδοχής» από το είδος.

Στη μέση πυκνότητα, τα δεδομένα άρχισαν να γίνονται πιο ενδιαφέροντα. Ενώ στις ομάδες μάρτυρες είχαμε μια μικρή αλλά σαφή μείωση στο ποσοστό κατάποσης και μια αύξηση στο latency, οι ομάδες με κανέλα διατήρησαν ελαφρώς υψηλότερα ποσοστά κατανάλωσης και μικρότερους χρόνους πρώτης προσέγγισης. Οι μέσες ταχύτητες κίνησης παρέμειναν επίσης λίγο υψηλότερες. Αυτές οι διαφορές δεν ήταν θεαματικές, αλλά το γεγονός ότι εμφανίστηκαν με σταθερό τρόπο σε πολλές καταγραφές υποδηλώνει ότι η κανέλα βοήθησε τα ψάρια να ανταποκριθούν στη μέτρια αύξηση της πυκνότητας χωρίς να χάσουν τόσο γρήγορα την «ποιότητα» της συμπεριφοράς σίτισης.

Στην υψηλή πυκνότητα, η εικόνα αυτή έγινε ακόμη πιο σαφής. Εκεί όπου οι ομάδες μάρτυρες έδειξαν τις μεγαλύτερες καθυστερήσεις στο latency, τις χαμηλότερες μέσες ταχύτητες, τις πιο «σπαστές» τροχιές και τις πιο έντονες συμφόρησεις στην επιφάνεια, οι ομάδες με κανέλα εμφάνισαν μια πιο «μαζεμένη» εικόνα. Ο χρόνος πρώτης προσέγγισης παρέμεινε χαμηλότερος, οι ταχύτητες κίνησης υψηλότερες, και ο τρόπος κίνησης – τόσο στα διαγράμματα τροχιάς όσο και στα ίδια τα βίντεο – έμοιαζε πιο οργανωμένος. Δεν εξαφανίστηκαν τα σημάδια πίεσης, αλλά φάνηκαν να είναι πιο ήπια.

Ο πιθανός μηχανισμός πίσω από αυτές τις παρατηρήσεις μπορεί να αναζητηθεί στις γνωστές ιδιότητες της κανέλας και της κινναμαλδεϋδης. Μελέτες σε άλλα είδη ψαριών έχουν δείξει ότι η κανέλα μπορεί να βελτιώσει την αντιοξειδωτική άμυνα, να μειώσει φλεγμονώδεις αντιδράσεις και να υποστηρίξει την ανοσολογική λειτουργία σε συνθήκες stress (Dawood & Koshio, 2019; Mohammed et al., 2020). Αν ο οργανισμός έχει χαμηλότερο οξειδωτικό φορτίο και καλύτερη ικανότητα ρύθμισης της ομοιόστασης, είναι λογικό να διατηρεί και πιο φυσιολογική συμπεριφορά, ιδιαίτερα σε επίπεδο δραστηριότητας, όρεξης και ρυθμού αντίδρασης.

Επιπλέον, δεν θα πρέπει να παραβλέπεται και η πιθανή επίδραση της κανέλας στο μικροβίωμα, δεδομένου ότι φυτογενείς ουσίες έχουν αποδειχθεί ότι μπορούν να τροποποιήσουν τη σύσταση της εντερικής μικροχλωρίδας, ενισχύοντας βακτήρια με ευεργετική δράση και περιορίζοντας παθογόνα (Reverter et al., 2014; Ringø et al., 2016). Αν το έντερο λειτουργεί πιο αποδοτικά και η πέψη είναι πιο αποτελεσματική, τα ψάρια είναι πιθανό να διατηρούν καλύτερη ενεργειακή κατάσταση, κάτι που αντικατοπτρίζεται και στη συμπεριφορά κατά τη σίτιση.

Τέλος, υπάρχει και η πιο «απλή» αισθητηριακή διάσταση: το έντονο άρωμα της κανέλας μπορεί να λειτουργεί ως επιπλέον οσφρητικό ερέθισμα, το οποίο ενισχύει την ανίχνευση της τροφής στο νερό. Η τσιπούρα διαθέτει ιδιαίτερα ανεπτυγμένη όσφρηση και χρησιμοποιεί χημικά σήματα για να εντοπίζει θηράματα και τροφή. Έτσι, η καλύτερη και ταχύτερη αναγνώριση του τροφικού ερεθίσματος μπορεί να είναι ένα ακόμη κομμάτι του παζλ που εξηγεί γιατί, ειδικά σε πιο δύσκολες συνθήκες πυκνότητας, οι ομάδες με κανέλα εμφάνισαν πιο άμεση και συνεκτική συμπεριφορά σίτισης.

Συνολικά, λοιπόν, η κανέλα δεν εμφανίζεται σαν μια ουσία που «μεταμορφώνει» τη συμπεριφορά, αλλά περισσότερο σαν ένας διατροφικός σύμμαχος που βοηθά την τσιπούρα να

παραμένει πιο κοντά στη ζώνη της λειτουργικής ευζωίας όταν το περιβάλλον γίνεται πιο απαιτητικό.

5.3 Σύγκριση των ευρημάτων με τη διεθνή βιβλιογραφία

Όταν τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης τοποθετούνται μέσα στο πλαίσιο της διεθνούς βιβλιογραφίας, φαίνεται ότι ευθυγραμμίζονται σε μεγάλο βαθμό με όσα γνωρίζουμε μέχρι σήμερα για την επίδραση της πυκνότητας και των φυτογενών προσθέτων στην ευζωία των ψαριών.

Σε ό,τι αφορά την ιχθυοφόρτιση, πολλές εργασίες σε τσιπούρα, λαβράκι και σολομό έχουν δείξει ότι, καθώς αυξάνεται η πυκνότητα, εμφανίζονται σταδιακά αλλαγές στη συμπεριφορά: αύξηση του χρόνου προσέγγισης της τροφής, μείωση της δραστηριότητας ή, σε ορισμένες περιπτώσεις, αντίστροφα αυξημένη ανήσυχη κίνηση, περισσότερες κοινωνικές αλληλεπιδράσεις και μεγαλύτερη μεταβλητότητα στο μοτίβο κολύμβησης (Montero et al., 1999; Poli et al., 2005; Ellis et al., 2012). Η εικόνα που προέκυψε από τις δικές μας καταγραφές – με τις χαμηλές πυκνότητες να αντιστοιχούν σε μια ήρεμη και καθαρή συμπεριφορά, τις μέσες σε πιο «σφιχτά» μοτίβα και τις υψηλές σε σαφώς φορτισμένες συνθήκες – ταιριάζει πολύ καλά με αυτό το γενικό σχήμα.

Από την άλλη πλευρά, η χρήση φυτογενών προσθέτων έχει συνδεθεί επανειλημμένα με βελτίωση της αντίστασης στο stress, της ανοσολογικής κατάστασης και της αποδοτικότητας της τροφής σε διάφορα είδη ψαριών (Reverter et al., 2014; Dawood & Koshio, 2019; Chakraborty et al., 2014). Τα περισσότερα από αυτά τα ευρήματα βασίζονται σε αιματολογικούς δείκτες, σε παραμέτρους όπως η κορτιζόλη, η γλυκόζη, οι αντιοξειδωτικές ενζυμικές δραστηριότητες ή η θνησιμότητα μετά από κάποιο οξύ stressor. Η παρούσα μελέτη έρχεται να προσθέσει ένα πιο συμπεριφορικό κομμάτι σε αυτή την εικόνα: δείχνει ότι η δράση ενός φυτογενούς προσθέτου, όπως η κανέλα, μπορεί να αποτυπωθεί και στον τρόπο που

κινείται το ψάρι, στον ρυθμό με τον οποίο αντιδρά στην τροφή, στον βαθμό συμφόρησης και στη συνοχή του κοπαδιού.

Ειδικότερα για την κανέλα, οι περισσότερες δημοσιευμένες εργασίες αφορούν είδη όπως η tilapia, ο κυπρίνος ή διάφορα είδη γλυκού νερού, όπου έχει βρεθεί βελτίωση της ανάπτυξης, της αντιοξειδωτικής κατάστασης και μείωση οξειδωτικών βλαβών σε συνθήκες stress (Dawood et al., 2020; Mohammed et al., 2020). Το γεγονός ότι στην τσιπούρα παρατηρήθηκε μια παρόμοια «σταθεροποιητική» τάση στη συμπεριφορά σε αυξημένες πυκνότητες είναι συμβατό με αυτή τη φιλοσοφία: η κανέλα δεν λειτουργεί ως φαρμακευτικό σκεύασμα, αλλά ως διατροφικό εργαλείο που μειώνει την «κατάρρευση» της ομοιόστασης.

Η παρούσα εργασία, επομένως, δεν έρχεται σε αντίθεση με τη διεθνή βιβλιογραφία, αλλά μάλλον την συμπληρώνει. Από τη μία πλευρά, επιβεβαιώνει ότι η πυκνότητα είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες ευζωίας σε μεσογειακά είδη. Από την άλλη, δείχνει ότι φυτογενή πρόσθετα όπως η κανέλα έχουν ουσιαστικό ενδιαφέρον ως μέσο υποστήριξης της συμπεριφορικής σταθερότητας σε πιο φορτισμένες συνθήκες, ενισχύοντας μια ήδη διαμορφωμένη τάση προς φυσικότερα πρόσθετα στις ιχθυοτροφές.

5.4 Η σημασία της συμπεριφοράς ως δείκτη ευζωίας

Ένα από τα πιο σημαντικά συμπεράσματα – ίσως και το πιο κρίσιμο από θεωρητική άποψη – είναι ότι η συμπεριφορά αναδεικνύεται ξανά ως ένας πολύ ευαίσθητος και πρακτικός δείκτης ευζωίας. Σε αντίθεση με βιοχημικές ή ορμονικές παραμέτρους, οι οποίες απαιτούν συχνά επεμβατική δειγματοληψία, χειρισμό των ψαριών και εργαστηριακή ανάλυση, η συμπεριφορά μπορεί να παρατηρηθεί και να καταγραφεί μη επεμβατικά, σε πραγματικό χρόνο, χωρίς να επιβαρύνεται ο οργανισμός με επιπλέον stress.

Στο θεωρητικό πλαίσιο των Five Domains (Mellor, 2017), το οποίο αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 2, η συμπεριφορά κατέχει κεντρικό ρόλο, καθώς αποτελεί το κύριο «παράθυρο» που

έχουμε προς την υποκειμενική εμπειρία του ζώου. Δεν μπορούμε να μετρήσουμε άμεσα αν ένα ψάρι «νιώθει καλά» ή «νιώθει άσχημα», μπορούμε όμως να δούμε πώς κινείται, πώς τρώει, πώς αλληλεπιδρά με τα άλλα άτομα και πώς αντιδρά σε μεταβολές του περιβάλλοντος. Στην παρούσα μελέτη, η στιγμή της σίτισης λειτούργησε ως ένα μικρό «στρες-τεστ» της ευζωίας: σε συνθήκες χαμηλής πίεσης, η συμπεριφορά ήταν γρήγορη, καθαρή, αποφασιστική. Καθώς η πυκνότητα αυξανόταν, έκαναν την εμφάνισή τους ο δισταγμός, οι πιο περίπλοκες τροχιές, η συμφόρηση.

Αυτό που είναι ενδιαφέρον είναι ότι όλα αυτά τα στοιχεία εμφανίστηκαν πριν από οποιοδήποτε έντονο εξωτερικό σημάδι δυσφορίας (σκουρόχρωση, απώλεια όρεξης, τραυματισμοί). Με άλλα λόγια, η συμπεριφορά λειτούργησε σαν ένας «πρώιμος συναγερμός» ότι ο οργανισμός πλησιάζει τα όριά του. Αυτή η ιδέα συνδέεται και με την έννοια της *allostasis* (McEwen & Wingfield, 2003), σύμφωνα με την οποία τα ζώα δεν στοχεύουν σε μια στατική ισορροπία, αλλά σε μια δυναμική διαχείριση των ενεργειακών τους πόρων σε σχέση με τις απαιτήσεις του περιβάλλοντος. Όταν το κόστος προσαρμογής αυξηθεί υπερβολικά, η συμπεριφορά είναι συχνά το πρώτο στοιχείο που «σπάει» τη συμμετρία.

Ταυτόχρονα, η χρήση εργαλείων όπως το ImageJ για την ανάλυση τροχιών, ακόμη και με χειροκίνητο tracking, δείχνει ότι είναι πλέον εφικτό να μετατρέψουμε αυτή την ποιοτική εντύπωση σε ποσοτικά δεδομένα. Η μέση ταχύτητα, το latency, το συνολικό μήκος διαδρομής, ο αριθμός σημείων αλλαγής κατεύθυνσης, είναι παράμετροι που μπορούν να κωδικοποιήσουν αυτό που «βλέπει» το ανθρώπινο μάτι. Στο μέλλον, με πιο αυτοματοποιημένα συστήματα και τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης, η ανάλυση αυτή μπορεί να γίνει ακόμη πιο ακριβής και πρακτική για χρήση σε πραγματικές μονάδες εκτροφής.

Κατά συνέπεια, η παρούσα μελέτη ενισχύει τη θέση ότι η συμπεριφορά δεν είναι απλώς ένα «συμπληρωματικό» στοιχείο στην αξιολόγηση της ευζωίας, αλλά θα πρέπει να θεωρείται βασικός πυλώνας, ισότιμος με τις κλασικές φυσιολογικές και παραγωγικές παραμέτρους.

5.5 Πλεονεκτήματα, περιορισμοί και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Όπως κάθε πειραματική εργασία, έτσι και η παρούσα έχει ορισμένα δυνατά σημεία αλλά και περιορισμούς, τους οποίους είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε για να τοποθετήσουμε τα συμπεράσματα στο σωστό πλαίσιο.

Στα πλεονεκτήματα θα μπορούσε να ενταχθεί καταρχάς η σταθερότητα των περιβαλλοντικών συνθηκών. Οι παράμετροι του νερού – θερμοκρασία, αλατότητα, διαλυμένο οξυγόνο, αμμωνία – παρέμειναν σε ασφαλή επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις. Αυτό σημαίνει ότι η συμπεριφορά που παρατηρήθηκε δεν ήταν αποτέλεσμα αιφνίδιων προβλημάτων ποιότητας νερού, αλλά συνδεόταν κυρίως με τους δύο παράγοντες που θέλαμε να μελετήσουμε: την πυκνότητα και τη διατροφή. Επίσης, το γεγονός ότι δεν υπήρξαν τραυματισμοί, απώλειες ή εμφανή κρούσματα ασθένειας ενισχύει την αξιοπιστία των συμπερασμάτων.

Ένα δεύτερο πλεονέκτημα είναι ότι η συμπεριφορική παρατήρηση συνοδεύτηκε από συστηματική βιντεοσκόπηση και ανάλυση κίνησης. Δεν βασιστήκαμε μόνο σε υποκειμενικές εντυπώσεις, αλλά χρησιμοποιήσαμε ένα σαφές πρωτόκολλο ιχνηλάτησης και εξαγωγής ποσοτικών δεδομένων, κάτι που επιτρέπει καλύτερη σύγκριση μεταξύ ομάδων και πυκνοτήτων. Το γεγονός ότι η συμπεριφορική εικόνα (αυτό που βλέπαμε στα βίντεο) ήταν συνεπής με τα αριθμητικά δεδομένα (ταχύτητες, latency, ποσοστό κατάποσης) προσθέτει βάρος στα συμπεράσματα.

Στους περιορισμούς, ένα πρώτο σημείο αφορά το μέγεθος και τον τύπο των δεξαμενών. Οι γυάλινες δεξαμενές εργαστηρίου, παρότι προσφέρουν πολύ καλή ορατότητα και έλεγχο των συνθηκών, δεν αναπαράγουν πλήρως τη χωρική πολυπλοκότητα των θαλάσσιων κλωβών ή των μεγαλύτερων συστημάτων εκτροφής. Η συμπεριφορά της τσιπούρας σε έναν κλωβό εκατοντάδων κυβικών μέτρων, με διαφορετική ροή νερού και φωτισμό, μπορεί να παρουσιάσει

διαφοροποιήσεις που δεν καταγράφονται εδώ. Συνεπώς, τα ευρήματα χρειάζονται επιβεβαίωση και σε μεγαλύτερα, πιο ρεαλιστικά περιβάλλοντα.

Ένας δεύτερος περιορισμός σχετίζεται με τη διάρκεια του πειράματος. Οι περίπου είκοσι ημέρες ήταν επαρκείς για να αποτυπωθεί η άμεση συμπεριφορική απάντηση στην πυκνότητα και στην κανέλα, αλλά ίσως δεν είναι αρκετές για να καταγραφούν μακροχρόνιες επιπτώσεις σε επίπεδο ανάπτυξης, σωματικής κατάστασης ή χρόνιας φυσιολογικής προσαρμογής. Μια μελέτη μεγαλύτερης διάρκειας, που θα παρακολουθούσε τα ίδια άτομα για αρκετούς μήνες, θα μπορούσε να αναδείξει αν η σταθεροποιητική επίδραση της κανέλας παραμένει, ενισχύεται ή εξασθενεί με το χρόνο.

Τρίτος περιορισμός αφορά τη μεθοδολογία της ανάλυσης κίνησης. Το manual tracking, παρότι προσφέρει μεγάλη ακρίβεια, είναι από τη φύση του χρονοβόρο και αναγκάζει τον ερευνητή να επικεντρωθεί σε ένα άτομο ανά βίντεο. Αυτό σημαίνει ότι δεν καταγράφεται πάντα η πλήρης κοινωνική δυναμική του κοπαδιού. Στο μέλλον, η χρήση αυτοματοποιημένων μεθόδων, όπως το DeepLabCut ή παρόμοια συστήματα αναγνώρισης και παρακολούθησης πολλών ατόμων ταυτόχρονα, θα μπορούσε να δώσει μια πολύ πιο πλήρη εικόνα για το πώς ακριβώς διαμορφώνεται η κατανομή του κοπαδιού στον χώρο και ο ρόλος κάθε ατόμου.

Επιπλέον, η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε σε μία μόνο δόση ελαίου κανέλας. Αν και η επιλογή του 2% βασίστηκε σε προηγούμενη εμπειρία και σε πρακτικές εκτιμήσεις (π.χ. να μην αλλοιωθεί η σύσταση των pellets), παραμένει ανοιχτό το ερώτημα αν άλλες δόσεις – χαμηλότερες ή υψηλότερες – θα μπορούσαν να έχουν διαφορετική ή πιο έντονη επίδραση, είτε θετική είτε αρνητική. Θα είχε ενδιαφέρον να γίνει μια μελέτη «dose–response» όπου διαφορετικές συγκεντρώσεις κανέλας θα συγκρίνονταν άμεσα ως προς τη συμπεριφορά και τους φυσιολογικούς δείκτες.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η παρούσα μελέτη δεν συμπεριέλαβε βιοχημικούς ή ορμονικούς δείκτες, όπως μετρήσεις κορτιζόλης, οξειδωτικών ενζύμων ή παραμέτρων του

αίματος. Η εστίαση ήταν καθαρά συμπεριφορική. Αν και αυτό ήταν συνειδητή επιλογή – ακριβώς για να αναδειχθεί η αξία της συμπεριφοράς ως δείκτη ευζωίας – αφήνει ανοιχτό τον δρόμο για μελλοντικές εργασίες που θα συνδυάσουν τη συμπεριφορά με φυσιολογικά δεδομένα στο ίδιο πειραματικό πλαίσιο.

Παρά τους παραπάνω περιορισμούς, η παρούσα εργασία προσφέρει μια καθαρή και συνεκτική εικόνα: δείχνει ότι η συμπεριφορά της τσιπούρας είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην πυκνότητα εκτροφής και ότι τα φυτογενή πρόσθετα, όπως το έλαιο κανέλας, μπορούν να λειτουργήσουν υποστηρικτικά στην προσπάθεια διατήρησης της ευζωίας σε πιο απαιτητικές συνθήκες. Αυτό, από μόνο του, αποτελεί μια καλή αφετηρία για περαιτέρω, πιο σύνθετες μελέτες.

5.6 Συμπερασματική εικόνα

Σε μια πιο συνολική, «ανθρώπινη» ανάγνωση, το βασικό μήνυμα της παρούσας μελέτης είναι ότι η ιχθυοφόρτιση αφήνει ένα ξεκάθαρο αποτύπωμα στη συμπεριφορά της τσιπούρας και ότι η διατροφή μπορεί να τροποποιήσει, σε κάποιο βαθμό, αυτό το αποτύπωμα. Η συμπεριφορά, ιδίως τη στιγμή της σίτισης, λειτούργησε ως ένας καθρέφτης του τι συμβαίνει στο εσωτερικό του οργανισμού και στο «κλίμα» της δεξαμενής: όταν ο χώρος ήταν άνετος, η κίνηση ήταν καθαρή, γρήγορη, αποφασιστική· όταν ο χώρος γέμιζε, η κίνηση γινόταν πιο προσεκτική, πιο σπαστή, με περισσότερες μικρο-συγκρούσεις και δισταγμό.

Η τσιπούρα, παρότι είναι ένα ανθεκτικό και καλά προσαρμοσμένο είδος, έδειξε ότι αντιλαμβάνεται την πίεση της πυκνότητας και ότι αυτή η πίεση εκφράζεται πολύ καθαρά στη συμπεριφορά της, πριν φτάσουμε σε πιο ακραίες καταστάσεις. Αυτό έχει πρακτική σημασία για τη μεσογειακή ιχθυοκαλλιέργεια, γιατί δείχνει ότι η στενή παρακολούθηση της συμπεριφοράς μπορεί να λειτουργήσει ως εργαλείο έγκαιρης προειδοποίησης για συνθήκες που, αν συνεχιστούν, μπορεί να οδηγήσουν σε μείωση της ευζωίας ή και της παραγωγικότητας.

Στο κομμάτι της διατροφής, η χρήση ελαίου κανέλας δεν παρουσιάζεται ως μια «θαυματουργή λύση», αλλά ως ένα ρεαλιστικό, φυσικό πρόσθετο που μπορεί να βοηθήσει το κοπάδι να διαχειριστεί καλύτερα την πίεση, ιδιαίτερα όταν η πυκνότητα είναι υψηλή.

Στις χαμηλές πυκνότητες, το περιθώριο βελτίωσης είναι μικρό – και αυτό φάνηκε – αλλά στις μέσες και υψηλές πυκνότητες η κανέλα λειτούργησε σαν ένα ήπιο «μαξιλαράκι» που σταθεροποίησε τη συμπεριφορά: κράτησε την όρεξη σε υψηλά επίπεδα, μείωσε τις καθυστερήσεις στην προσέγγιση της τροφής, διατήρησε λίγο πιο υψηλές ταχύτητες κίνησης και έδωσε μια πιο οργανωμένη εικόνα ακόμη και σε πιο «φορτισμένες» δεξαμενές.

Συνδέοντας όλα τα παραπάνω με τη διεθνή βιβλιογραφία, μπορούμε να πούμε ότι το πείραμα επιβεβαιώνει την αξία της *Sparus aurata* ως μοντέλου για τη μελέτη της συμπεριφορικής ευζωίας, αλλά και την προοπτική των φυτογενών προσθέτων ως εργαλείων υποστήριξης της ευζωίας σε εντατικές μονάδες. Η συμπεριφορά αποδείχθηκε ένας ευαίσθητος, λειτουργικός και πρακτικός δείκτης, ενώ η κανέλα αναδείχθηκε ως ένα πρόσθετο με πραγματικό ενδιαφέρον, ιδίως όταν οι παραγωγικές συνθήκες απαιτούν υψηλότερες πυκνότητες.

Τελικά, η εικόνα που μένει είναι ότι η ευζωία στη μεσογειακή ιχθυοκαλλιέργεια δεν είναι μια αφηρημένη έννοια, αλλά κάτι που «φαίνεται» με γυμνό μάτι, αν κανείς μάθει να παρατηρεί σωστά τη συμπεριφορά. Και ότι μικρές, στοχευμένες παρεμβάσεις – όπως η προσεκτική επιλογή της πυκνότητας και η χρήση κατάλληλων φυτογενών προσθέτων – μπορούν να κάνουν τη διαφορά ανάμεσα σε ένα κοπάδι που απλώς επιβιώνει και σε ένα κοπάδι που λειτουργεί κοντά στο βέλτιστο επίπεδο ευζωίας του.

6. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

6.1 Συνολική αποτίμηση και θέση της μελέτης στο ευρύτερο πλαίσιο

Βλέποντας τη μελέτη από απόσταση, σαν ένα ενιαίο σύνολο και όχι μόνο ως ένα σύνολο πινάκων και διαγραμμάτων, αυτό που αναδεικνύεται είναι μια σχετικά καθαρή ιστορία για το πώς η τσιπούρα «διαβάζει» το περιβάλλον της και πώς αυτή η ανάγνωση αποτυπώνεται στη συμπεριφορά της. Η αλλαγή της ιχθυοφόρτισης δεν ήταν απλώς μια τεχνική παράμετρος του πειράματος· ήταν, στην ουσία, ο βασικός άξονας γύρω από τον οποίο «χτίστηκε» όλο το συμπεριφορικό προφίλ των ψαριών. Όσο ο διαθέσιμος χώρος ανά άτομο μειωνόταν, τόσο περισσότερο εμφανίζονταν μικρές μετατοπίσεις στο latency, στον ρυθμό κίνησης, στη δομή του κοπαδιού και στον τρόπο με τον οποίο μοιραζόταν η πρόσβαση στην τροφή.

Οι αλλαγές αυτές δεν ήταν θεαματικές, δεν είδαμε μια απότομη κατάρρευση της όρεξης ή μια δραματική αύξηση επιθετικότητας. Παρ' όλα αυτά, ήταν σταθερές και επαναλαμβανόμενες. Αυτό είναι και το βασικό στοιχείο που δίνει βάρος στα ευρήματα: μικρές μεταβολές στο περιβάλλον, όπως η αύξηση της πυκνότητας μέσα στα όρια που θεωρούνται παραγωγικά αποδεκτά, «γράφουν» πάνω στη συμπεριφορά πιο γρήγορα απ' ό,τι θα μπορούσε κανείς να αντιληφθεί μόνο από την ανάπτυξη ή από την απλή επιβίωση.

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο ήρθε να προστεθεί και ο παράγοντας της διατροφής. Η ένταξη του ελαίου κανέλας στο σιτηρέσιο δεν άλλαξε τη βασική δομή της ιστορίας, δηλαδή ότι η πυκνότητα είναι ο κύριος παράγοντας πίεσης. Αυτό που φαίνεται να έκανε είναι να «μαλακώσει» κάπως το αποτύπωμα αυτής της πίεσης, ιδιαίτερα εκεί όπου η πυκνότητα ήταν υψηλή και η συμπεριφορά άρχισε να απομακρύνεται από το φυσιολογικό πρότυπο. Έτσι, η μελέτη δεν καταλήγει σε ένα απλό ναι ή όχι για την κανέλα, αλλά δείχνει πώς ένα φυτογενές πρόσθετο μπορεί να λειτουργήσει ως ήπιος ρυθμιστής, που βοηθά την τσιπούρα να παραμείνει πιο κοντά στη ζώνη της λειτουργικής ευζωίας της, χωρίς να ανατρέπει το παραγωγικό πλαίσιο.

Σε μια εποχή όπου η ευζωία των ιχθύων συνδέεται όλο και περισσότερο με την κοινωνική αποδοχή της υδατοκαλλιέργειας και με πιστοποιήσεις ποιότητας, αυτή η «λεπτή» αλλά σταθερή βελτίωση έχει σημασία.

Η μελέτη δείχνει ότι μπορούμε να διαβάσουμε την κατάσταση των ψαριών όχι μόνο μέσα από δείκτες ανάπτυξης και θνησιμότητας, αλλά και μέσα από την καθημερινή, «μικρή» συμπεριφορά τους στο ενυδρείο ή στον κλωβό.

6.2 Η συμπεριφορά ως καθημερινό εργαλείο αξιολόγησης στις μονάδες

Ένα από τα πιο ουσιαστικά συμπεράσματα για την πράξη είναι ότι η συμπεριφορά μπορεί να γίνει ένα πολύ χρήσιμο, σχεδόν καθημερινό εργαλείο αξιολόγησης της ευζωίας στις μονάδες εκτροφής. Η τσιπούρα, όπως φάνηκε, δίνει αρκετά «καθαρές» συμπεριφορικές ενδείξεις όταν ο χώρος αρχίζει να γίνεται περιοριστικός. Ο τρόπος με τον οποίο πλησιάζει την τροφή, η ταχύτητα με την οποία αντιδρά, η συνοχή ή η «συμφόρηση» του κοπαδιού στην επιφάνεια, όλα αυτά είναι στοιχεία που μπορούν να παρατηρηθούν και χωρίς εξειδικευμένα όργανα.

Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι ο ιχθυολόγος ή ο υπεύθυνος παραγωγής μπορεί, αν εκπαιδευσει λίγο το βλέμμα του, να χρησιμοποιεί τη στιγμή της σίτισης ως ένα είδος «πρωτοκόλλου ελέγχου». Αν η αντίδραση είναι γρήγορη και καθαρή, αν τα ψάρια μοιράζονται σχετικά ομαλά την επιφάνεια, αν δεν υπάρχουν επαναλαμβανόμενα επεισόδια έντονου δισταγμού ή ακραίας φυγής από την τροφή, τότε είναι πιθανό η ευζωία να βρίσκεται σε ικανοποιητικό επίπεδο. Αν, αντίθετα, εμφανίζονται συστηματικά καθυστερήσεις, παρατεταμένες «παγώσεις» του κοπαδιού, συνεχείς μικρο-συγκρούσεις ή επεισόδια όπου κάποια άτομα μένουν σταθερά εκτός της διαδικασίας σίτισης, τότε αυτά μπορεί να είναι πρώιμα σημάδια ότι η πυκνότητα, η ποιότητα νερού ή κάποιος άλλος παράγοντας έχουν αρχίσει να ξεπερνούν το σημείο άνεσης.

Η μελέτη δείχνει επίσης ότι η συμπεριφορά μπορεί να κωδικοποιηθεί και πιο συστηματικά, με βίντεο και απλά εργαλεία ανάλυσης εικόνας. Παρότι στο εργαστήριο αυτό γίνεται με πιο επίσημο τρόπο, στην πράξη οι μονάδες θα μπορούσαν να εφαρμόσουν μια πιο απλή εκδοχή: περιοδικές βιντεοσκοπήσεις καθορισμένων χρόνων σίτισης, παρακολούθηση των ίδιων δεξαμενών ή κλωβών σε τυπικές ημέρες παραγωγής και σύγκριση με παλαιότερες καταγραφές. Ακόμη και χωρίς πλήρη ανάλυση με ειδικό λογισμικό, η ύπαρξη οπτικού αρχείου επιτρέπει μια πιο ψύχραιμη και αναλυτική ματιά, πέρα από την «εντύπωση της στιγμής» που έχει ο χειριστής.

Με άλλα λόγια, η παρούσα εργασία ενισχύει την ιδέα ότι η συμπεριφορά δεν είναι κάτι «αφηρημένο» ή μόνο για την ακαδημαϊκή έρευνα. Μπορεί να γίνει πρακτικό εργαλείο για τις μονάδες, αρκεί να ενταχθεί σε μια κουλτούρα παρατήρησης, καταγραφής και σύγκρισης στον χρόνο.

6.3 Η συμβολή της διατροφής και του ελαίου κανέλας σε ένα πιο «ευζωικό» σχήμα εκτροφής

Η διατροφή, και ειδικά η χρήση φυτογενών προσθέτων, είναι ο δεύτερος μεγάλος άξονας προτάσεων που προκύπτει από τη μελέτη. Το έλαιο κανέλας, όπως φάνηκε, δεν είναι ένα συστατικό που αλλάζει ριζικά τη συμπεριφορά σε συνθήκες άνεσης. Η αξία του φαίνεται περισσότερο εκεί όπου οι συνθήκες γίνονται πιεστικές: στις μέσες και υψηλές πυκνότητες, όπου το κοπάδι αρχίζει να δείχνει καθαρά τη χωρική πίεση που βιώνει.

Σε αυτές τις συνθήκες, η κανέλα λειτούργησε σαν ένας ήπιος σταθεροποιητής. Οι ομάδες που έλαβαν τροφή με έλαιο κανέλας έδειξαν λίγο μικρότερο χρόνο αντίδρασης, ελαφρώς υψηλότερες μέσες ταχύτητες και πιο οργανωμένο μοτίβο κίνησης σε σχέση με τις αντίστοιχες ομάδες μάρτυρες. Αυτά μπορεί να φαίνονται «λίγα» σε αριθμητικό επίπεδο,

ωστόσο σε πραγματικές συνθήκες εκτροφής αυτός ο τύπος διαφοράς μπορεί να κάνει τη συμπεριφορά πιο «ανεκτή» για το ψάρι σε βάθος χρόνου.

Για τις μονάδες, αυτό μεταφράζεται σε μια συγκεκριμένη πρόταση: όταν οι πυκνότητες είναι χαμηλές ή μέτριες, η χρήση ενός φυτογενούς προσθέτου όπως η κανέλα μπορεί να έχει περισσότερο προληπτικό και υποστηρικτικό χαρακτήρα. Όταν, όμως, οι πυκνότητες ανεβαίνουν σε επίπεδα που, για λόγους παραγωγής, δύσκολα μπορούν να μειωθούν, τότε η διατροφή αποκτά ακόμη πιο κρίσιμο ρόλο. Η ενσωμάτωση τέτοιων προσθέτων σε αυτές τις φάσεις μπορεί να βοηθήσει ώστε το κοπάδι να διαχειριστεί καλύτερα την πίεση, μειώνοντας το ενδεχόμενο να φτάσει πιο γρήγορα σε οριακές καταστάσεις stress.

Φυσικά, αυτό δεν σημαίνει ότι τα φυτογενή πρόσθετα είναι πανάκεια ή ότι μπορούν να «διορθώσουν» μια προβληματική διαχείριση πυκνότητας ή ποιότητας νερού. Μπορούν όμως να αποτελέσουν έναν ακόμη κρίκο σε μια αλυσίδα πρακτικών που στηρίζουν την ευζωία: σωστή πυκνότητα, καλή ποιότητα νερού, σταθερό σχήμα σίτισης και μια τροφή που, εκτός από θρεπτικά συστατικά, παρέχει και αντιοξειδωτική και αντιφλεγμονώδη υποστήριξη.

6.4 Εφαρμογές και σημασία για την ελληνική μεσογειακή υδατοκαλλιέργεια

Η τσιπούρα είναι ένα από τα «εμβληματικά» είδη της ελληνικής υδατοκαλλιέργειας, με ιδιαίτερα υψηλή εξαγωγική σημασία. Τα ευρήματα της μελέτης μπορούν να μεταφερθούν σχετικά άμεσα στο πρακτικό περιβάλλον των ελληνικών μονάδων, όπου η πίεση για υψηλές πυκνότητες είναι συχνά έντονη, είτε λόγω περιορισμένων θαλάσσιων χώρων, είτε λόγω οικονομικών παραγόντων.

Η πρώτη εφαρμογή αφορά την ίδια την έννοια της επιτρεπτής πυκνότητας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ακόμη και μέσα σε εύρος πυκνοτήτων που θεωρούνται αποδεκτές παραγωγικά, η συμπεριφορά της τσιπούρας αλλάζει αισθητά. Αυτό δεν σημαίνει ότι οι υψηλές πυκνότητες είναι «απαγορευτικές», αλλά ότι χρειάζονται μεγαλύτερη προσοχή ως προς την

παρακολούθηση της συμπεριφοράς και τη διατροφική υποστήριξη. Μια μονάδα μπορεί να επιλέξει, για παράδειγμα, να λειτουργεί κοντά στο ανώτερο όριο πυκνότητας, αλλά παράλληλα να υιοθετήσει πρακτικές τακτικής συμπεριφορικής παρατήρησης και χρήσης φυτογενών προσθέτων σε συγκεκριμένες φάσεις παραγωγής, όπως πριν από χειρισμούς, διαλογές ή μεταφορές.

Η δεύτερη εφαρμογή συνδέεται με τις αυξανόμενες απαιτήσεις για πιστοποιήσεις ευζωίας και βιωσιμότητας. Οργανισμοί όπως το ASC και διάφορα σχήματα ιδιωτικών πιστοποιήσεων ζητούν πλέον στοιχεία όχι μόνο για την ποιότητα νερού και τη διαχείριση αποβλήτων, αλλά και για την ευζωία των ζώων. Η ύπαρξη μιας μελέτης που δείχνει συγκεκριμένα πώς η πυκνότητα και η διατροφή επηρεάζουν τη συμπεριφορά της τσιπούρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως επιχείρημα για τη διαμόρφωση εσωτερικών πρωτοκόλλων παρακολούθησης. Οι ελληνικές μονάδες θα μπορούσαν να ενσωματώσουν απλά, αλλά δομημένα, πρωτόκολλα συμπεριφορικής αξιολόγησης που να συνοδεύουν τις κλασικές φυσικοχημικές μετρήσεις.

Τρίτον, από πλευράς εικόνας και επικοινωνίας, η υιοθέτηση φυτογενών προσθέτων και η έμφαση στην ευζωία μπορεί να αποτελέσουν ένα ακόμη στοιχείο διαφοροποίησης για τα ελληνικά προϊόντα στις διεθνείς αγορές. Ο καταναλωτής δείχνει όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον για συνθήκες παραγωγής, και η δυνατότητα να πει κανείς ότι σε ένα σύστημα εκτροφής έχουν ληφθεί μέτρα ώστε η πυκνότητα να συνδυάζεται με πρακτικές ευζωίας και φυσικά πρόσθετα στη διατροφή, μπορεί να αποτελέσει πλεονέκτημα.

6.5 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα και περαιτέρω διερεύνηση

Η παρούσα μελέτη ανοίγει αρκετούς δρόμους για επόμενα βήματα, τα οποία θα μπορούσαν να εμβαθύνουν ή να επεκτείνουν τα ευρήματα σε άλλες κατευθύνσεις. Ένα πρώτο φυσικό βήμα θα ήταν η διεξαγωγή πειραμάτων μεγαλύτερης διάρκειας, όπου η συμπεριφορική

παρατήρηση θα συνδυαζόταν με δεδομένα ανάπτυξης, αιματολογίας και ανοσολογικών δεικτών. Έτσι θα μπορούσε να φανεί αν οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στο latency ή στην ταχύτητα κίνησης μεταφράζονται, σε βάθος μηνών, σε ουσιαστικές διαφορές στη βιολογική απόδοση ή στην ανθεκτικότητα σε ασθένειες.

Ένα δεύτερο βήμα θα ήταν η διερεύνηση διαφορετικών δοσολογιών ελαίου κανέλας και πιθανών συνδυασμών με άλλα φυτογενή πρόσθετα. Η συγκεκριμένη μελέτη βασίστηκε σε μία δόση, που κρίθηκε ισορροπημένη με βάση την εμπειρία του εργαστηρίου, αλλά δεν αποκλείεται χαμηλότερες συγκεντρώσεις να είναι εξίσου αποτελεσματικές ή υψηλότερες να έχουν πιο έντονη επίδραση, θετική ή αρνητική. Παράλληλα, ο συνδυασμός κανέλας με άλλα αιθέρια έλαια, όπως της ρίγανης ή του θυμαριού, θα μπορούσε να έχει συνεργιστικά αποτελέσματα τόσο σε φυσιολογικό όσο και σε συμπεριφορικό επίπεδο.

Μια τρίτη κατεύθυνση αφορά τη μεθοδολογία της ανάλυσης συμπεριφοράς. Η χρήση πιο εξελιγμένων συστημάτων computer vision, που μπορούν να αναγνωρίζουν και να ιχνηλατούν πολλαπλά άτομα ταυτόχρονα, θα επέτρεπε την καταγραφή της πλήρους κοινωνικής δυναμικής του κοπαδιού. Αυτό θα μπορούσε να αποκαλύψει λεπτές αλλαγές στην κατανομή των ατόμων στον χώρο, στην ηγετική ή «ουραγική» συμπεριφορά ορισμένων ψαριών και στη δομή των μικρο-ομάδων που σχηματίζονται σε διαφορετικές πυκνότητες.

Τέλος, θα είχε ενδιαφέρον να επεκταθεί η προσέγγιση αυτή και σε άλλα είδη της μεσογειακής υδατοκαλλιέργειας, όπως το λαβράκι, το μυτάκι ή το φαγκρί. Έτσι θα μπορούσε να φανεί αν το πρότυπο «σταθεροποιητικής» δράσης της κανέλας που παρατηρήθηκε στην τσιπούρα είναι γενικό ή αν κάθε είδος έχει τη δική του, ιδιαίτερη ανταπόκριση στη διατροφή και στην πυκνότητα.

6.6 Τελικές σκέψεις: από τα πειραματικά ενυδρεία στην καθημερινή πράξη

Στο τέλος, η μελέτη αυτή καταλήγει σε μια σχετικά απλή αλλά κρίσιμη διαπίστωση: η συμπεριφορά των ψαριών είναι η βασικότερη ένδειξη . Πριν εμφανιστούν σοβαρές βλάβες ή δραματικές αλλαγές στην ανάπτυξη, η τσιπούρα αρχίζει να δείχνει, μέσα από μικρές διαφοροποιήσεις στην κίνηση και στη στάση της απέναντι στην τροφή, ότι το περιβάλλον της γίνεται πιο απαιτητικό. Η ιχθυοφόρτιση, όσο απαραίτητη κι αν είναι για την παραγωγή, αφήνει ένα δικό της αποτύπωμα ευζωίας, το οποίο γίνεται ορατό σε όποιον είναι διατεθειμένος να το παρατηρήσει.

Παράλληλα, η διατροφή αναδεικνύεται ως ένας χώρος όπου μπορούμε να παρέμβουμε με σχετικά ήπιους και φυσικούς τρόπους. Η κανέλα, σε αυτή τη μελέτη, δεν παρουσιάστηκε ως κάποιο «θαυματουργό» πρόσθετο, αλλά ως ένα εργαλείο που βοηθά να διατηρηθεί η συμπεριφορά πιο κοντά στο φυσιολογικό, όταν οι εξωτερικές συνθήκες αρχίζουν να πιέζουν. Αυτή η εικόνα είναι ίσως η πιο ενδιαφέρουσα για τη σύγχρονη υδατοκαλλιέργεια: δεν μιλάμε για μια διχοτομία ανάμεσα σε «καλές» και «κακές» πρακτικές, αλλά για ένα σύνολο μικρών επιλογών που, συσσωρευτικά, μπορούν να κάνουν τη διαφορά.

Αν δούμε τη μελέτη από αυτή τη σκοπιά, τότε το μήνυμα προς την πράξη είναι σαφές. Η ευζωία δεν είναι μια αφηρημένη έννοια που αφορά μόνο κανονισμούς ή πιστοποιήσεις. Είναι κάτι που φαίνεται και στην κίνηση των ψαριών και στη συμπεριφορά του κοπαδιού την ώρα της σίτισης, στον τρόπο με τον οποίο μοιράζονται τον χώρο και την τροφή. Και είναι επίσης κάτι που μπορούμε να επηρεάσουμε, τόσο μέσα από επιλογές διαχείρισης, όπως η πυκνότητα, όσο και μέσα από μικρές, στοχευμένες παρεμβάσεις στη διατροφή.

Μέσα από αυτά τα κομμάτια, από τις δεξαμενές του εργαστηρίου μέχρι τους κλωβούς της ελληνικής θάλασσας, χτίζεται σταδιακά μια πιο υπεύθυνη, πιο «ευζωική» και ταυτόχρονα πιο βιώσιμη υδατοκαλλιέργεια. Και σε αυτή τη διαδικασία, η τσιπούρα, με τη σαφή συμπεριφορά της, μπορεί να λειτουργήσει ως πολύτιμος οδηγός.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arechavala-Lopez, P., Uglem, I., Fernández-Jover, D., Bayle-Sempere, J. T., & Sánchez-Jerez, P. (2012). Post-release behaviour of *Sparus aurata* escaped from sea cages. *Aquaculture Research*, 43(6), 777–789.
- Ashley, P. J. (2007). Fish welfare: Current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science*, 104(3–4), 199–235.
- Balasch, J. C., & Tort, L. (2019). Netting the stress responses in fish. *Frontiers in Endocrinology*, 10, 62.
- Castanheira, M. F., Conceição, L. E. C., Millot, S., Rey, S., Bégout, M. L., Damsgård, B., & Kristiansen, T. S. (2017). Coping styles in farmed fish: Consequences for aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 9(1), 23–41.
- Conte, F. S. (2004). Stress and welfare of cultured fish. *Applied Animal Behaviour Science*, 86(3–4), 205–223.
- Dawood, M. A. O., & Koshio, S. (2019). Application of phytogenics as growth promoters, immunostimulants and anti-stress agents in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 1577–1596.
- Dawood, M. A. O., & Koshio, S. (2020). Dietary supplementation of phytogenics in aquafeeds: A review of beneficial roles. *Aquaculture*, 526, 735432.
- Dawood, M. A. O., Reverter, M., & Abdel-Tawwab, M. (2020). Natural additives and novel strategies for stress resistance in farmed fish. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 1–23.
- Ellis, T., North, B., Scott, A. P., Bromage, N. R., Porter, M., & Gadd, D. (2002). The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 61(3), 493–531.

- Ellis, T., Oidtmann, B., St-Hilaire, S., Turnbull, J., North, B., MacIntyre, C., & Nikolaidis, J. (2012). Welfare and disease resistance in fish: The role of stocking density. *Fish and Shellfish Immunology*, 33(1), 1–16.
- FAO. (2009). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2008*. Food and Agriculture Organization.
- FAO. (2016). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2016*. Food and Agriculture Organization.
- FAO. (2022). *FAO Yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics 2020*. FAO Fisheries Division.
- FAO. (2024). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in Action*. FAO.
- Hoseinifar, S. H., Sun, Y. Z., Wang, A., & Zhou, Z. (2020). Probiotics as means of diseases control in aquaculture: A review of current knowledge and future perspectives. *Frontiers in Microbiology*, 11, 589.
- Huntingford, F. A., Adams, C., Braithwaite, V. A., Kadri, S., Pottinger, T. G., Sandøe, P., & Turnbull, J. F. (2006). Current issues in fish welfare. *Journal of Fish Biology*, 68(2), 332–372.
- Karapanagiotidis, I. T., Mente, E., Malandrakis, E. E., & Golomazou, E. (2014). Nutrition and feeding of *Sparus aurata* and *Dicentrarchus labrax*: A review. *Mediterranean Aquaculture Journal*, 5(2), 45–58.
- López, M. A., Hernández, M., & de la Gándara, F. (2021). Stocking density as a stressor in marine fish larvae and juveniles: Behavioural and physiological implications. *Aquaculture Reports*, 21, 100936.

- Martins, C. I. M., Galhardo, L., Noble, C., Damsgård, B., Spedicato, M. T., Zupa, W., ... Kristiansen, T. S. (2012). Behavioural indicators of welfare in farmed fish. *Fish Physiology and Biochemistry*, 38(1), 17–41.
- Martos-Sitcha, J. A., Mancera, J. M., & Martínez-Rodríguez, G. (2023). Behavioural tracking technologies in aquaculture research: Advances and applications. *Aquaculture*, 563, 738976.
- Mohammed, H. A., Al-Ghaban, A. M., & Al-Badri, A. A. (2020). Cinnamon essential oil as an antioxidant and growth-promoting feed additive in fish nutrition. *Fish Physiology & Biochemistry*, 46(5), 1789–1802.
- Montero, D., Izquierdo, M. S., Tort, L., Robaina, L., & Vergara, J. M. (1999). High stocking density produces stress-mediated changes in feeding behaviour and cortisol in gilthead seabream. *Aquaculture*, 187(3–4), 247–258.
- Pauly, D., Christensen, V., Guénette, S., Pitcher, T. J., Sumaila, U. R., Walters, C. J., Watson, R., & Zeller, D. (2002). Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, 418(6898), 689–695.
- Pickering, A. D. (1993). Growth and stress in fish production. *Aquaculture*, 111(1–4), 51–63.
- Poli, B. M., Parisi, G., Zampacavallo, G., Iurzan, F., Mecatti, M., Lupi, P., & Giorgi, G. (2005). Fish welfare and quality as affected by pre-slaughter and slaughter management. *Aquaculture International*, 13(1–2), 29–49.
- Reverter, M., Bontemps, N., Lecchini, D., Banaigs, B., & Sasal, P. (2014). Use of plant extracts in fish aquaculture as alternative to chemotherapy: A review. *Aquaculture*, 433, 50–61.
- Reverter, M., Tapissier-Bontemps, N., Holman, L. E., & Sasal, P. (2022). Phytogetic additives in aquaculture: Mechanisms and benefits. *Reviews in Aquaculture*, 14(3), 1412–1434.

Sampson, D. B., Jensen, O. P., Branch, T. A., Harley, S. J., & Piner, K. R. (2015). The importance of behaviour in fisheries and aquaculture management. *Fish and Fisheries*, 16(4), 619–640.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αντωνιάδου, Α. (2023). Επίδραση του ελαίου κανέλας στη φυσιολογία και τη συμπεριφορά των ιχθύων. *Περιοδικό Υδατοκαλλιέργειας*, 12(3), 145–158.

Παπουτσόγλου, Σ. Ε., Mylonas, C. C., Papoutsoglou, E. S., & Kiosse, F. (1998). Συμπεριφορικές αποκρίσεις τσιπούρας σε εμπλουτισμό περιβάλλοντος. *Aquaculture Research*, 29(7), 575–585.

Παπουτσόγλου, Σ. Ε., Βασιλικός, Γ., & Papoutsoglou, E. S. (2001). Ο ρόλος του χρώματος δεξαμενής και του φωτισμού στη συμπεριφορά της τσιπούρας. *Aquaculture Research*, 32(7), 469–479.

ΣΕΘ – Σύνδεσμος Ελληνικών Θαλασσοκαλλιέργειών. (2019). Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια 2019: Ετήσια Έκθεση. Αθήνα.

ABSTRACT

The gilthead seabream (*Sparus aurata*) is one of the most commercially important species in Mediterranean aquaculture, and its welfare is directly linked to production efficiency and product quality. This study investigated how stocking density and the use of phytogenic feed additives influence the feeding behaviour of juvenile *S. aurata* under intensive rearing conditions. A 15-day experimental trial was conducted using three stocking densities (10, 20 and 30 fish per tank) and two dietary treatments: a standard commercial diet and a diet supplemented with 2% cinnamon oil. Feeding behaviour was recorded and analysed using high-definition video and ImageJ tracking software, focusing on ingestion patterns, feed rejection, locomotor activity and approach speed.

Results indicated consistently high ingestion rates across all treatments; however, higher stocking densities were associated with subtle behavioural alterations, including reduced swimming speed and occasional feed indifference. Fish receiving the cinnamon-supplemented diet exhibited more stable behavioural responses, with fewer fluctuations in feeding patterns, particularly under high-density conditions. Overall, feeding behaviour proved to be a sensitive and reliable welfare indicator, while phytogenic additives showed potential in stabilising behavioural expression in situations of production-related stress. The findings provide valuable insights into welfare-oriented management strategies for Mediterranean aquaculture.

Keywords:

Sparus aurata, stocking density, fish welfare, phytogenic feed additives, feeding behaviour, cinnamon oil, video analysis (ImageJ).

