

Ειδικές Δράσεις «ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ»

ΜΑΓΙΑΤΙΚΟ Τ6ΥΒΠ-0068



Παραδοτέο

| | | | |
|-------------------------------|---|------------------------------|----------|
| Αριθμός Παραδοτέου: | Π2.4.1 | Μήνας Παράδοσης ΤΠΕ: | 30 |
| Τίτλος Παραδοτέου | Έκθεση βιβλιογραφικής επισκόπησης εντερικού μικροβιώματος | | |
| Ενότητα Εργασίας (ΕΕ): | 2 | Συντονιστής ΕΕ: | ΠΠ |
| Τίτλος ΕΕ: | Νυμφικές εκτροφές και παραγωγή γόνου | | |
| Αριθμός Εργασίας: | 2.4.1 | Υπεύθυνος Παραδοτέου: | ΤΓΙΥΠ |
| Τίτλος εργασίας: | Εντερικό μικροβίωμα σε εκτρεφόμενα θαλασσινά Μεσογειακά ψάρια | | |
| Εταίροι: | ΤΓΙΥΠ | ΑΠΘ | ΓΑΛΑΞΙΔΙ |
| | | | |
| Κατάσταση: | Ολοκληρωμένο | Μήνας παράδοσης: | 30 |
| | | | |

Υπεύθυνοι ερευνητές για το παραδοτέο: Μεντέ, Ε. (ΤΓΙΥΠ) και Κορμάς, Κ. (ΤΓΙΥΠ)

Συνεργαζόμενοι ερευνητές από Εταίρους: Αντωνοπούλου, Ε. (ΑΠΘ) και Παντελή, Ν. (ΑΠΘ)

Σύντομη περιγραφή (ΤΠΕ):

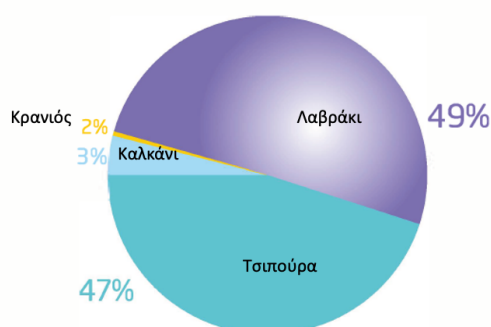
Η έκθεση περιλαμβάνει βιβλιογραφική επισκόπηση για το εντερικό μικροβίωμα σε εκτρεφόμενα θαλασσινά Μεσογειακά είδη ψαριών. Ο χαρακτηρισμός της συνολικής σύστασης ειδών μικροοργανισμών που απαντώνται στο γαστρεντερικό σωλήνα καθώς και η διατήρηση αυτού του μικροβιώματος, θεωρείται σήμερα το πρώτο και σημαντικότερο βήμα για περαιτέρω μελέτες σε σχέση με την την υγεία και ευεξία του υδρόβιου ζωϊκού οργανισμού. Επιπλέον, η αποκάλυψη της δομής και λειτουργίας των εντερικών μικροβιοκοινοτήτων και η ταυτοποίηση του μικροβιώματος θα βοηθήσει για την κατανόηση διεργασιών που εμπλέκονται στη φυσιολογία θρέψης των ψαριών. Η πληροφορία των εντερικών μικροβιοκοινοτήτων των ψαριών θα χρησιμοποιηθεί μελλοντικά για την καλύτερη αφομοίωση των θρεπτικών συστατικών της ιχθυοτροφής και την διατροφική αναβάθμιση των ιχθυοτροφών.





Εισαγωγή

Η υδατοκαλλιέργεια είναι ένας από τους σημαντικότερους τομείς της πρωτογενούς ζωικής παραγωγής στην Μεσόγειο και συμβάλλει σημαντικά στην οικονομική ανάπτυξη των τοπικών κοινωνιών. Η Μεσόγειος θάλασσα αποτελεί το 1% των ωκεανών παγκοσμίως ωστόσο έχει ραγδαία ανάπτυξη στον κλάδο της υδατοκαλλιέργειας. Στην Ευρωπαϊκή Μεσόγειο των 27 κρατών μελών με την υψηλότερη παραγωγή υδατοκαλλιέργειας βρίσκονται η Ισπανία (21%), η Γαλλία (15%), η Ιταλία (14%) και η Ελλάδα (10%) (http://www.medaid-h2020.eu/wp-content/uploads/2019/02/Guillen_STECF-aquaculture-MedAID_vf.pdf) με κύρια είδη παραγωγής ιχθύων την τσιπούρα και το λαβράκι (<https://www.fgm.com.gr/article.php?id=78>). Η παραγωγή σε λαβράκι, τσιπούρα, καλκάνι και κρانيό αποτελεί το 49%, 47%, 3% και 2% στην Ευρωπαϊκή Μεσογειακή ιχθυοκαλλιέργεια, αντίστοιχα (FEAP, 2020; **Γράφημα 1**). Στην Ελλάδα, η παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας κατατάσσεται 2η σε αξία και 10η σε όγκο της συνολικής εξαγωγής γεωργικών προϊόντων (ΣΕΘ, 2018). Η παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού ανήλθε το 2019 σε 120.500 τόνους παρουσιάζοντας αύξηση 3% ως προς τον όγκο, αλλά οριακή μείωση 1% ως προς την αξία πωλήσεων λόγω της πίεσης που δέχτηκαν οι τιμές και για τα δύο είδη. Τα ψάρια και τα αλιευτικά προϊόντα αποτελούν τον πρώτο εξαγωγικό κλάδο ζωικής παραγωγής της χώρας, (ΣΕΘ, 2020).



Γράφημα 1. Κυριότερα είδη ιχθύων στην Ευρωπαϊκή Μεσογειακή ιχθυοκαλλιέργεια (FEAP, 2020; <https://feap.info/index.php/data/>).

Η ραγδαία αύξηση της παραγωγής της υδατοκαλλιέργειας από το 2000 συνοδεύεται από την ανάγκη ταχείας ανάπτυξης καινοτόμων σιτηρεσιών που ενισχύουν και προάγουν την ανάπτυξη και την υγεία των εκτρεφόμενων ιχθύων με το οικονομικότερο δυνατό αποτέλεσμα. Το κόστος της διατροφής στις Μεσογειακές θαλάσσιες ιχθυοκαλλιέργειες αντιπροσωπεύει το 50-60% του συνολικού κόστους παραγωγής. Συνεπώς, η πρόκληση της διαθεσιμότητας οικονομικά βιώσιμων και περιβαλλοντικά φιλικών ιχθυοτροφών είναι μεγάλη για τα εκτρεφόμενα Μεσογειακά θαλασσινά είδη. Τα τελευταία χρόνια η έρευνα εστιάζεται στα πολλαπλά οφέλη που προσφέρουν οι μικροοργανισμοί που απαντώνται στο γαστρεντερικό σωλήνα ενός υγιούς ψαριού (Ringø et al., 2016). Ο χαρακτηρισμός της συνολικής σύστασης ειδών μικροοργανισμών που απαντώνται στο γαστρεντερικό σωλήνα καθώς και η διατήρηση αυτού του μικροβιώματος, θεωρείται σήμερα το πρώτο και σημαντικότερο βήμα για περαιτέρω μελέτες σε σχέση με την υγεία και ευεξία του υδρόβιου ζωικού οργανισμού (Wang et al., 2017). Για παράδειγμα, στο στάδιο έκδυσης C της γαρίδας του γλυκού νερού (*Macrobrachium rosenbergii*) παρατηρήθηκε υψηλότερη ποικιλότητα βακτηρίων, αρκετά εκ των οποίων συμμετέχουν στη φυσιολογία θρέψης (Mente et al., 2016). Οι Meziti et al. (2010; 2012) παρατήρησαν μεγαλύτερη ποικιλότητα στο μικροβίωμα της караβίδας (*Nephrops norvegicus*) έπειτα από



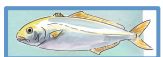
ασιτία ενώ η χορήγηση συγκεκριμένων σιτηρεσίων επέφερε αύξηση της συχνότητας σε κάποια βακτήρια. Οι Kormas et al. (2014) βρήκαν ότι οι βιολογικά εκτρεφόμενες τσιπούρες είχαν εντερικό μικροβίωμα που έμοιαζε περισσότερο με αυτό των φυσικών πληθυσμών σε σύγκριση με τις συμβατικώς εκτρεφόμενες τσιπούρες, υποδεικνύοντας έτσι ότι η βιολογική εκτροφή είναι ένας μάλλον καλύτερος τρόπος εκτροφής τουλάχιστον σε ότι αφορά το εντερικό μικροβίωμα και, κατ' επέκταση, της ευζωίας της τσιπούρας. Ωστόσο, στις ιχθυοκαλλιέργειες, η διαχείριση και οι στρατηγικές εκτροφής των ψαριών δεν λαμβάνουν υπ' όψιν τις επιδράσεις τους στο εντερικό μικροβίωμα των εκτρεφόμενων ψαριών. Η αποκάλυψη της δομής των εντερικών μικροβιοκοινοτήτων και η ταυτοποίηση του μικροβιώματος θα βοηθήσει για την κατανόηση διεργασιών που εμπλέκονται στη φυσιολογία θρέψης των ψαριών. Η δομική και λειτουργική ποικιλότητα του μικροβιώματος μεταβάλλεται και καθορίζεται από πληθώρα παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της διατροφής και του τρόπου σίτισης (Mu et al., 2016; Sánchez et al., 2017) ενώ μερικά είδη βακτηρίων του εντέρου σχετίζονται με τα οντογενετικά στάδια του ξενιστή τους (Stephens et al. 2016) χωρίς όμως να γνωρίζουμε ακριβώς εάν το περιβάλλον υπερκαλύπτει την επίδραση του ξενιστή και την οντογένεσή του στο σχηματισμό των εντερικών μικροβιοκοινοτήτων (Ghanbari et al., 2015; Yan et al., 2016). Οι Antonopoulou et al. (2019) έδειξαν ότι οι υποκαταστάσεις συστατικών ιχθυοτροφής σε εκτρεφόμενα ψάρια έχουν διαφορετικό αντίκτυπο στις εντερικές μικροβιοκοινότητες.

Η παρούσα έκθεση περιλαμβάνει μία βιβλιογραφική επισκόπηση για το εντερικό μικροβίωμα σε εκτρεφόμενα θαλασσινά Μεσογειακά είδη ψαριών. Προκειμένου να επιτευχθεί η συγκεκριμένη επισκόπηση, χρησιμοποιήθηκαν τόσο η ψηφιακή διεθνής βιβλιογραφική βάση δεδομένων Scopus όσο και η μηχανή αναζήτησης ακαδημαϊκών δημοσιεύσεων Google Scholar. Με βάση την επιστημονική ονομασία του κάθε είδους και λέξεις-κλειδιά όπως microbiota και microbial communities, ανακτήθηκαν και μελετήθηκαν πληθώρα άρθρων και εκθέσεων για Μεσογειακά εκτρεφόμενα ή δυνητικά εκτρεφόμενα είδη ψαριών. Η πληροφορία σχετικά με το εντερικό μικροβίωμα και τα βακτηριακά είδη μεταξύ των διαφόρων ειδών ψαριών στα διάφορα στάδια ανάπτυξής τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καλύτερη υγεία τους και για την διατροφική αναβάθμιση των ιχθυοτροφών τους. Μελλοντικός στόχος είναι η δημιουργία καινοτόμων, για κάθε εκτρεφόμενο είδος ψαριού, λειτουργικών ιχθυοτροφών που θα τα βοηθήσει να διατηρήσουν υγιές το μικροβίωμα του εντέρου τους και γενικότερα την υγεία τους.

Μικροβίωμα στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των ψαριών

Οι ωκεανοί κατακλύζονται από τεράστιους πληθυσμούς ποικίλων ειδών μικροοργανισμών, με τους οποίους οι θαλάσσιοι ζωικοί οργανισμοί, συμπεριλαμβανομένων των ιχθύων, αναπτύσσουν μοναδικές και πολύπλοκες σχέσεις αλληλεπίδρασης (Egerton et al. 2018). Τα ψάρια παρέχουν πληθώρα βιολογικών θέσεων, τόσο εξωτερικά (π.χ. δέρμα και βράγχια), όσο και εσωτερικά (π.χ. στομάχι και έντερο), που αποτελούν μικροενδιαιτήματα για την ανάπτυξη μικροβιακών κοινοτήτων, γνωστών και ως μικροβίωμα (Larsen et al. 2013, Zhang et al. 2019). Η ευκολία μετακίνησης των μικροοργανισμών μεταξύ ενδιαιτημάτων και ξενιστών εντός του υδάτινου περιβάλλοντος συμβάλλει στο σχηματισμό αυτόχθονων μικροβιακών κοινοτήτων, οι οποίες διαμορφώνονται διαδοχικά από την εκκόλαψη των αυγών και τα πρώιμα εμβρυικά στάδια (Olafsen 2001). Για παράδειγμα, ο γαστρεντερικός σωλήνας των νεοεκκολαπτόμενων λαρβών αποικίζεται άμεσα κατά το πρώτο άνοιγμα της στοματικής κοιλότητας από μικροοργανισμούς, κυρίως βακτήρια, που απαντώνται στο περιβάλλον νερό (Vdastein et al. 2018).

Εντούτοις, το μικροβίωμα των λαρβών αντανακλά μερικώς τις μικροβιακές κοινότητες στο προγενέστερο στάδιο των ωοκυττάρων, που προέρχονται από το θηλυκό άτομο, τη μητέρα (Hansen & Olafsen 1999, Olafsen 2001) και το υδάτινο περιβάλλον (Egerton et al. 2018). Οι αναπτυσσόμενες λάρβες εκτίθενται συνεχώς σε διάφορα βακτήρια που σχετίζονται με τη διατροφή και το περιβάλλον νερό, μερικά εκ των οποίων θα ενσωματωθούν στο εντερικό μικροβίωμα (Vdastein et al. 2018). Έτσι, διάφοροι παράγοντες, όπως το τροφικό επίπεδο, η διατροφή, το περιβάλλον, το γενετικό υπόβαθρο του ξενιστή, η φυλογένεση κτλ. (Brooks et al. 2016, Ingerslev et al. 2014, Nayak 2010, Sullam et al. 2012), ασκούν μεγάλη επιρροή, με



αποτέλεσμα τις διαφορές στις μικροβιακές κοινότητες τόσο εντός ενός είδους (Guivier et al. 2018, Larsen et al. 2014) όσο και μεταξύ των ειδών (Fjellheim et al. 2012, Zarkasi et al. 2017).

Οι μικροοργανισμοί αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του ξενιστή, συντελώντας στη διαμόρφωση της εξέλιξης του (Ruiz-Rodríguez et al. 2020). Ο γαστρεντερικός σωλήνας θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα σημεία αλληλεπίδρασης των ιχθύων με το εξωτερικό περιβάλλον, μέσω του οποίου εκτείνονται συχνά σε εισβολές παθογόνων μικροοργανισμών (Birkbeck & Ringø 2005). Οι μικροβιακές κοινότητες που αποικίζουν το εντερικό επιθήλιο αποτελούν μια πρώτη γραμμή άμυνας (Dimitroglou et al. 2011), ιδιαίτερα στις λάρβες όπου το ανοσοποιητικό σύστημα δεν είναι πλήρως ανεπτυγμένο και βασίζονται κυρίως στην έμφυτη ανοσοαπόκριση (Vadstein 1997). Συγκεκριμένα, στο πρώιμο στάδιο της προνύμφης, βακτήρια διεγείρουν τόσο ανοσολογικές δραστηριότητες, όσο και τη μορφολογική ανάπτυξη της περιοχής. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ του αυτόχθονου μικροβιώματος και του ξενιστή εντός του εντερικού οικοσυστήματος είναι θεμελιώδους σημασία για την ανάπτυξη, τη διατήρηση και την αποτελεσματική λειτουργικότητα του εντερικού βλενογόνου και την ομοιοστάση (Dimitroglou et al. 2011, Zhang et al. 2020).

Επιπρόσθετα, ορισμένες βακτηριακές ομάδες που συχνά προσδιορίζονται ως αυτόχθονα συστατικά του εντερικού μικροβιώματος των ιχθύων, όπως τα βακτήρια του γαλακτικού οξέος (lactic acid bacteria, LAB), ανταγωνίζονται πιθανά παθογόνα μέσω της παραγωγής ενός συνδυασμού εξωκυττάρων προϊόντων (π.χ. γαλακτικό οξύ, υπεροξειδίο του υδρογόνου, διοξειδίο του άνθρακα, αντιβιοτικά πεπτιδία/πρωτεΐνες, οργανικά οξέα, αμμωνία, κα.) (Dimitroglou et al. 2011). Ταυτόχρονα, το μικροβίωμα του δέρματος αλληλεπιδρά στενά με τις μικροβιακές κοινότητες στο περιβάλλον νερό και μερικά είδη βακτηρίων, όπως τα *Lysobacter*, *Rheinheimera* και *Methylobacterium*, έχουν αναφερθεί ότι παρέχουν ένα επίπεδο προστασίας έναντι παθογόνων μικροοργανισμών (Boutin et al. 2014). Πέραν της συμβολής τους στην προστασία του ξενιστή, οι εντερικές μικροβιακές κοινότητες συμβάλλουν στην πεπτική λειτουργία του ξενιστή μέσω της παραγωγής πεπτικών ενζύμων (κυτταρινάσες, φωσφατάσες, εστεράσες, λιπάσες και πρωτεάσες), ενώ παρέχουν στο ξενιστή αμινοξέα και βιταμίνες (Nayak 2010, Perry et al. 2020, Ray et al. 2012).

Μικροβιακές κοινότητες στο εκτρεφόμενο λαβράκι και τσιπούρα

Το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) και η τσιπούρα (*Sparus aurata*) είναι τα δύο πιο σημαντικά είδη ιχθύων για τη μεσογειακή υδατοκαλλιέργεια. Ως εκ τούτου, η τσιπούρα αποτελεί ένα από τα καλύτερα μελετημένα μεσογειακά είδη σχετικά με τη δομή και σύνθεση των μικροβιακών κοινοτήτων. Σύμφωνα με τις περισσότερες έρευνες, τα κυρίαρχα φύλα κατά μήκος του γαστρεντερικού σωλήνα (στομάχι, εμπρόσθιο, μεσαίο και/ή οπίσθιο τμήμα του εντέρου) είναι τα Actinobacteria, Proteobacteria και Firmicutes (Cerezo-Ortega et al. 2021, Estruch et al. 2015, Moutinho et al. 2017, Nikouli et al. 2018, Panteli et al. 2021, Parma et al. 2020, Psafakis et al. 2021, Rimoldi et al. 2018). Εν τούτοις, μερικές έρευνες ανέφεραν τα Proteobacteria και Firmicutes ως κυρίαρχα φύλα, χωρίς τα Actinobacteria να συγκαταλέγονται σε αυτά (Magalhães et al. 2020, Moroni et al. 2021, Rimoldi et al. 2020, Tapia-Paniagua et al. 2020), ενώ μικρός αριθμός ερευνών υπέδειξαν τα Bacteroidetes ως ένα από τα πιο άφθονα φύλα στις εντερικές μικροβιακές κοινότητες της τσιπούρας (Fonseca et al. 2019, Kormas et al. 2014, Parma et al. 2016). Τόσο τα Bacteroidetes, όσο και τα Proteobacteria φαίνεται να επικρατούν σε διάφορους εξωτερικούς ιστούς της τσιπούρας, όπως τα βράγχια και το δέρμα (Rosado et al. 2019, Tapia-Paniagua et al. 2018), καθώς επίσης και στα πρώιμα αναπτυξιακά στάδια (Nikouli et al. 2019). Σε κατώτερο ταξινόμικό επίπεδο, μια εκ των οικογενειών που έχει αναφερθεί σε αρκετές έρευνες και παρουσιάζει μεγάλη αφθονία στο γαστρεντερικό σωλήνα (Parma et al. 2020, Rimoldi et al. 2018, Rimoldi et al. 2020) και στο δέρμα (Tapia-Paniagua et al. 2018) της τσιπούρας είναι η Lactobacillaceae. Στη συγκεκριμένη οικογένεια εντάσσονται αρκετά βακτήρια γαλακτικού οξέος, όπως τα *Lactobacillus* sp. και *Leuconostoc* sp., τα οποία θεωρούνται ωφέλιμα για τον ξενιστή δεδομένου ότι συμβάλλουν στην πέψη των θρεπτικών συστατικών μέσω μικροβιακής ζύμωσης (Vieco-Saiz et al. 2019) και καταστέλλουν την ανάπτυξη παθογόνων (Balcázar et al. 2008).



Τόσο τα προαναφερθέντα όσο και άλλα είδη βακτηρίων γαλακτικού οξέος, όπως τα *Streptococcus* sp., *Weissella* sp. και *Carnobacterium* sp., φαίνεται να αποτελούν μέρος των μικροβιακών κοινοτήτων της τσιπούρας (Estruch et al. 2015, Panteli et al. 2021, Parma et al. 2020, Rimoldi et al. 2018, Rimoldi et al. 2020). Επιπρόσθετα, πληθώρα διάφορων άλλων βακτηριακών ειδών που συμμετέχουν άμεσα σε βιολογικές διεργασίες αποικίζουν το εντερικό επιθήλιο και άλλους ιστούς της τσιπούρας. Συγκεκριμένα, στελέχη *Acinetobacter* και *Diaphorobacter* έχουν παρατηρηθεί στο έντερο και πιθανώς να συμβάλλουν στην απονιτροποίηση, τη ζύμωση και την αποικοδόμηση αρωματικών ενώσεων (Korimas et al. 2014). Σύμφωνα με την έρευνα των Nikouli et al. (2019) παρατηρήθηκαν κοινά είδη στο ολικό σωματικό μικροβίωμα μεταξύ όλων των εμβρυικών σταδίων (*Pseudophaeobacter arcticus*, *Tropicibacter multivorans*, *Polaribacter haliotis*, *Pseudophaeobacter porticola*, *Phaeobacter piscinae*, *Phaeobacter* sp., *Alteromonas macleodii*, *Phaeobacter marinintestinus*, Rhizobiales, and *Leisingera methylohalidivorans*) από το στάδιο των γονιμοποιημένων ωοκυττάρων έως και το στάδιο ιχθυδίων 71 ημερών μετά την εκκόλαψη. Στο στάδιο της λεκιθοφόρου ιχθυονύμφης, το μικροβίωμα παρουσιάζει υψηλή ομοιότητα με τις μικροβιακές κοινότητες που απαντώνται στο περιβάλλον νερό (Nikouli et al. 2019), το οποίο οφείλεται πιθανώς στην είσοδο βακτηρίων κατά τις διαδικασίες οσμωρύθμισης που λαμβάνουν χώρα πριν από την πλήρη απορρόφηση του λεκιθικού σάκου (Tytler & Blaxter 1988). Στη συνέχεια, μετά το άνοιγμα του στόματος και την έναρξη της σίτισης, η συμβολή του περιβάλλοντος νερού μειώνεται, ενώ η αφθονία ειδών που απαρτίζει τις μικροβιακές κοινότητες αυξάνεται και επηρεάζεται άμεσα από το μικροβίωμα των θηραμάτων που συμπεριλαμβάνονται στη διατροφή των προνυμφών και των ιχθυδίων (Nikouli et al. 2019, Savas et al. 2005).

Λόγω της υψηλής διατροφικής αξίας και της αυξημένης καταναλωτικής ζήτησης, το λαβράκι αποτελεί, επίσης, ένα από τα πιο ευρέως μελετημένα μεσογειακά είδη όσον αφορά τις μικροβιακές κοινότητες. Στον εντερικό σωλήνα του λαβρακιού, ανάμεσα στα κυρίαρχα φύλα που έχουν αναφερθεί συγκαταλέγονται τα Proteobacteria, Firmicutes, Actinobacteria και/ή Bacteroidetes (Knobloch et al. 2021, Lamari et al. 2013, Montero et al. 2021, Nikouli et al. 2018, Panteli et al. 2021, Parma et al. 2019, Pérez-Pascual et al. 2020, Rimoldi et al. 2020, Serra et al. 2021), με τα Proteobacteria, ωστόσο, να αποτελούν το κυρίαρχο φύλο σχεδόν σε όλες τις έρευνες. Εν τούτοις, υψηλή αφθονία σε βακτηριακά φύλα όπως τα Fusobacteria (Rimoldi et al. 2020) και Acidobacteria (Serra et al. 2021) έχουν αναφερθεί σε μικροβιακές κοινότητες στο έντερο του λαβρακιού. Επιπρόσθετα, σε αρκετές από τις προαναφερθείσες έρευνες (Knobloch et al. 2021, Montero et al. 2021, Lamari et al. 2013, Nikouli et al. 2018), το μεγαλύτερο ποσοστό των Proteobacteria προερχόταν από την ομοταξία των γ-Proteobacteria. Αντίστοιχα, αφθονία στα Proteobacteria, κυρίως γ-Proteobacteria, έχει αναφερθεί και στο στάδιο της προνύμφης (Lamari et al. 2013). Σε αντίθεση με τα θηλαστικά όπου η κυριαρχία των Proteobacteria αποτελεί ένδειξη δυσβίωσης ή αστάθειας στις μικροβιακές κοινότητες του εντέρου, τα θαλάσσια Proteobacteria πιθανώς σχετίζονται με το πεπτικό σύστημα των ιχθύων (Kim et al. 2021).

Το μικροβίωμα στο δέρμα και στα βράγχια του λαβρακιού απαρτίζεται κυρίως από είδη των φύλων Proteobacteria, Bacteroidetes και Verrucomicrobia (Cámara-Ruiz et al. 2021, Knobloch et al. 2021, Pimentel et al. 2017, Rosado et al. 2019, Rosado et al. 2021). Πληθώρα βακτηριακών οικογενειών έχουν αναφερθεί να αποικίζουν το γαστρεντερικό σωλήνα συμπεριλαμβανομένων των Lactobacillaceae, Pseudomonadaceae, Staphylococcaceae και Streptococcaceae (Montero et al. 2021, Panteli et al. 2021, Parma et al. 2019, Serra et al. 2021). Ταυτόχρονα, βακτηριακά γένη που απαντώνται συχνά σε σαρκοφάγους ιχθύες έχουν παρατηρηθεί και στο εντερικό μικροβίωμα του λαβρακιού. Συγκεκριμένα, μέλη του γένους *Pseudomonas*, τα οποία συμβάλλουν στη διαδικασία της πέψης μέσω της έκκρισης αρκετών πεπτικών ενζύμων, έχουν αναφερθεί σε διάφορες μελέτες (Guerreiro et al. 2018, Nikouli et al. 2018, Panteli et al. 2021, Serra et al. 2021). Επιπρόσθετα, ανάμεσα στα ποικίλα βακτηριακά γένη που απαντώνται στο εντερικό μικροβίωμα συμπεριλαμβάνεται το *Lactobacillus*, ένα από τα σημαντικότερα γένη προβιοτικών βακτηρίων, καθώς και τα *Burkholderia*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Pelomonas*, *Sphingomonas*, *Delftia*, *Kocuria*, *Acinetobacter*, *Cutibacterium* κ.ά. (Guerreiro et al. 2018, Knobloch et al. 2021, Montero et al. 2021, Nikouli et al. 2018, Panteli et al. 2021, Parma et al. 2019, Pérez-Pascual et al. 2020, Serra et al. 2021, Torrecillas et al. 2017). Αρκετά από τα προαναφερθέντα γένη, όπως τα *Pseudomonas*, *Pelomonas* και *Acinetobacter*, εντοπίζονται



στις μικροβιακές κοινότητες δέρματος και βράγχων του λαβρακιού (Cámara-Ruiz et al. 2021, Knobloch et al. 2021, Pimentel et al. 2017, Rosado et al. 2019, Rosado et al. 2021).

Μικροβιακές κοινότητες σε άλλα εκτρεφόμενα Μεσογειακά θαλασσινά είδη ψαριών

Το καλκάνι (*Scophthalmus maximus*) (Γράφημα 2), ένα είδος μεγάλης σημασίας για την Ευρωπαϊκή αγορά, έχει κεντρίσει, επίσης, το ενδιαφέρον πολλών ερευνών. Τα βακτηριακά φύλα που φαίνεται να επικρατούν στις μικροβιακές κοινότητες του εντέρου είναι κυρίως τα Firmicutes, Proteobacteria, Bacteroidetes, Actinobacteria και Deinococcus-Thermus, ενώ ανάμεσα στα κυρίαρχα βακτηριακά γένη έχουν αναφερθεί τα *Vibrio*, *Sphingomonas*, *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Phyllobacterium*, *Bacteroides*, *Photobacterium*, *Lactobacillus*, *Stenotrophomonas*, *Limnobacter*, *Methyloversatilis*, *Persicirhabdus*, *Halomonas*, *Ralstonia*, *Prevotella*, *Delftia*, *Devosia*, *Enterococcus* κ.ά (Guo et al. 2020, Hao et al. 2020, Li et al. 2020, Liu et al. 2019, Xing et al. 2013, Yang et al. 2018, Yu et al. 2021a,b).

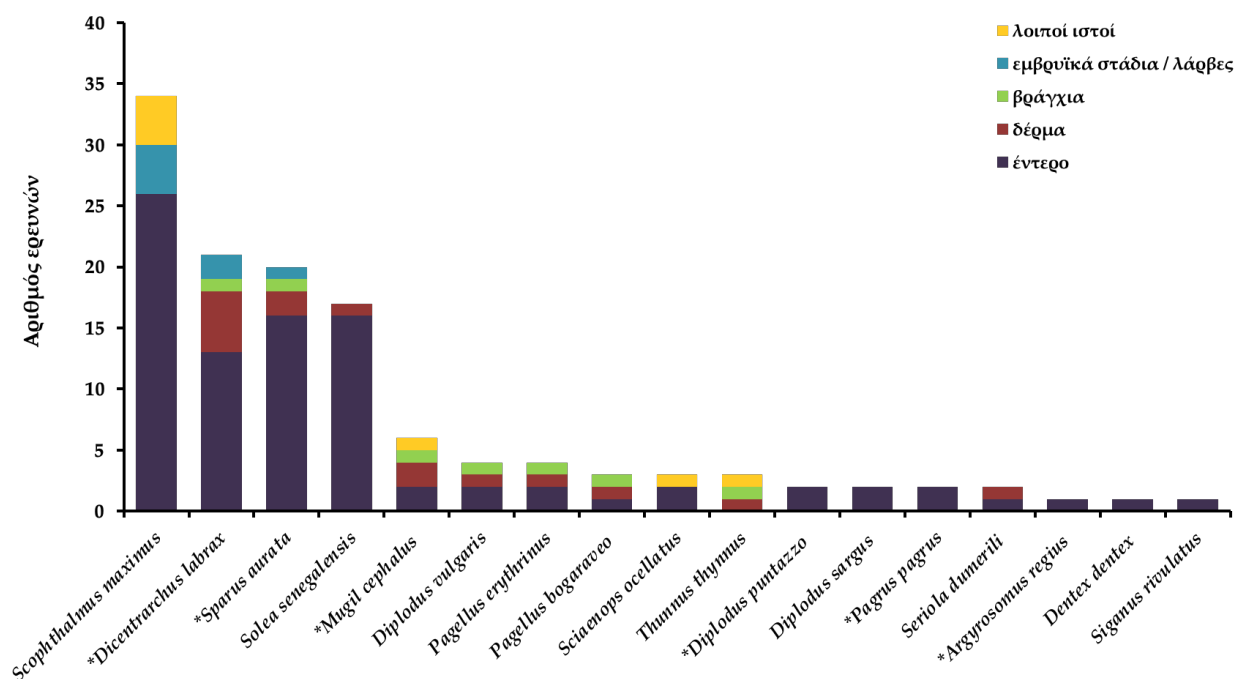
Ένα άλλο εκτρεφόμενο μεσογειακό είδος με αρκετό ερευνητικό ενδιαφέρον είναι η γλώσσα Σενεγάλης (*Solea senegalensis*). Ανάμεσα στα βακτηριακά φύλα που έχουν αναφερθεί να κυριαρχούν στο εντερικό μικροβίωμα του συγκεκριμένου είδους είναι τα Proteobacteria, Spirochaetes, και Tenericutes (Domínguez-Maqueda et al. 2021, Tariá-Paniagua et al. 2019). Στα κυρίαρχα βακτηριακά γένη του μικροβιώματος της γλώσσας Σενεγάλης συμπεριλαμβάνονται τα *Pseudomonas*, *Bacteroides*, *Stenotrophomonas*, *Brevinema* και *Stenotrophomonas* (Tariá-Paniagua et al. 2019). Σε ότι αφορά τον κέφαλο (*Mugil cephalus*), το οποίο αποτελεί ένα από τα είδη της Ελληνικής ιχθυοκαλλιέργειας, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαφοροποίηση στις εντερικές μικροβιακές κοινότητες ανάμεσα σε τρία κρυπτικά είδη (Le & Wang 2020). Το κυρίαρχο βακτηριακό φύλο στα τρία κρυπτικά είδη ήταν το Proteobacteria, Actinobacteria και Spirochaetes, αντίστοιχα. Ωστόσο, άλλα είδη μεγάλης εμπορικής σημασίας δεν έχουν μελετηθεί εκτενώς όσον αφορά τις μικροβιακές κοινότητες. Στο εντερικό μικροβίωμα του είδους *Pleuronectes platessa* (φασί Ατλαντικού) έχει αναφερθεί ότι τα κυρίαρχα μέλη συγκαταλέγονται στα α-, β- και γ-Proteobacteria, Planctomycetia και Acidimicrobiia (Heindler et al. 2019), ενώ στο γαστρεντερικό σωλήνα των ιχθυδίων το κυρίαρχο φύλο είναι τα Proteobacteria (κυρίως α-Proteobacteria) και ακολούθως τα Spirochaetes, Tenericutes and Verrucomicrobia (Morris et al. 2021).

Στο Γράφημα 2 παρουσιάζεται ο αριθμός των ερευνών που σχετίζονται με το μικροβίωμα, σε διάφορους ιστούς, εκτρεφόμενων μεσογειακών ειδών. Οι περισσότερες έρευνες εστιάζουν στο εντερικό μικροβίωμα, ενώ μικρότερος αριθμός αφορά τις μικροβιακές κοινότητες δέρματος, βράγχων και άλλων ιστών ή σε εμβρυϊκά στάδια.

Σύμφωνα με έρευνα των Escalas et al. (2021) σχετικά με το εντερικό μικροβίωμα σε δώδεκα είδη της οικογένειας Sparidae, στο λιθρίνι (*Pagellus erythrinus*) παρατηρήθηκε υψηλή αφθονία των Tenericutes, Planctomycetes και Proteobacteria, ενώ στο φαγκρί (*Pagrus pagrus*) τα Proteobacteria, Bacteroidetes και Firmicutes ήταν ανάμεσα στα βακτηριακά φύλα με υψηλή αφθονία.

Όσον αφορά τα δύο είδη του γένους *Diplodus*, ανάμεσα στα βακτηριακά φύλα με υψηλότερη αφθονία στο μυτάκι (*Diplodus puntazzo*), είναι τα Proteobacteria, Bacteroidetes και Cyanobacteria, ενώ στο σαργό (*Diplodus sargus*) Proteobacteria, Bacteroidetes και Firmicutes (Escalas et al. 2021).

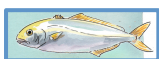
Σχετικά με τον κρانيό (*Argyrosomus regius*), ένα νεοεισερχόμενο είδος στην ελληνική ιχθυοκαλλιέργεια, σύμφωνα με έρευνα των Nikouli et al. (2020), συγκριτικά με διάφορα άλλα είδη ιχθύων που εκτρέφονται στο Αιγαίο παρουσίασε το μεγαλύτερο αριθμό μοναδικών λειτουργικών ταξινομικών μονάδων (operational taxonomic units, OTUs), εκ των οποίων ένα ποσοστό δε μπόρεσε να ταξινομηθεί.



Γράφημα 2. Αριθμός ερευνών σχετικά με το μικροβίωμα, κατανομημένες ανά είδος ιστού που διερευνήθηκε, σε εκτρεφόμενα στη Μεσόγειο θάλασσα είδη ιχθύων: καλκάνι (*Scophthalmus maximus*), λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*), τσιπούρα (*Sparus aurata*), γλώσσα Σενεγάλης (*Solea senegalensis*), κέφαλος (*Mugil cephalus*), κακαρέλος (*Diplodus vulgaris*), λιθρίνι (*Pagellus erythrinus*), κεφαλάς (*Pagellus bogaraveo*), στικτομυλοκόπι (*Sciaenops ocellatus*), τόνος (*Thunnus thynnus*), μυτάκι (*Diplodus puntazzo*), σαργός (*Diplodus sargus*), φαγκρί (*Pagrus pagrus*), μαγιάτικο (*Seriola dumerili*), κρανιός (*Argyrosomus regius*), συναγρίδα (*Dentex dentex*), γερμανός (*Siganus rivulatus*). Ο αστερίσκος (*) υποδηλώνει είδη της Ελληνικής ιχθυοκαλλιέργειας.

Αρκετές έρευνες σχετικά με το μικροβίωμα έχουν πραγματοποιηθεί και για το είδος *Trachinotus ovatus*, γνωστό και ως μαυρολίτσα, του οποίου η εκτροφή παρουσιάζει αύξηση κυρίως σε χώρες της Ασίας και μπορεί να γίνει και εκτροφή του στην Μεσόγειο. Οι έρευνες εστιάζουν στις εντερικές μικροβιακές κοινότητες, όπου ανάμεσα στα βακτηριακά φύλα που επικρατούν συγκαταλέγεται κυρίως τα Proteobacteria, Firmicutes, Tenericutes και Bacteroidetes (Chen et al. 2018, Huang et al. 2019, Liu et al. 2019, Tan & Sun 2020, Xun et al. 2019, You et al. 2019, Zhao et al. 2020). Διάφορα βακτηριακά γένη όπως *Cetobacterium*, *Lactobacillus*, *Mycoplasma*, *Streptococcus*, *Photobacterium*, *Brevinema*, *Vibrio*, *Exiguobacterium*, *Acinetobacter* κ.ά. έχουν αναφερθεί ότι κυριαρχούν στις μικροβιακές κοινότητες του συγκεκριμένου είδους (Chen et al. 2018, Shen et al. 2020, Xun et al. 2019, Xun et al. 2021, You et al. 2019, You et al. 2021).

Στις μικροβιακές κοινότητες του σκουμπριού (*Scomber scombrus*), κυριαρχούν ποικίλα αρνητικά κατά Gram βακτήρια όπως *Psychrobacter* sp., *Proteus* sp., *Photobacterium* sp., *Vibrio* sp., *Shewanella* sp., *Synechococcus* sp., *Oceanisphaerae* sp. κ.ά. (Svanevik & Lunestad 2011). Σε ένα άλλο είδος της οικογένειας Σκομβρίδες, το *Scomber japonicus*, διάφορα βακτήρια της τάξης Vibrionales, όπως *Enterovibrio* and *Photobacterium*, εντοπίστηκαν στο μικροβίωμα του δέρματος και του γαστρεντερικού σωλήνα, ενώ στα βράγχια μεγαλύτερη αφθονία παρουσίασαν μέλη του γένους *Shewanella* και της τάξης Rickettsiales (Minich et al. 2020).



Όσον αφορά το μαγιάτικο (*Seriola dumerili*), δεν έχουν διεξαχθεί έρευνες που να αφορούν τη διερεύνηση της δομής και σύστασης του μικροβιώματος. Αντιθέτως, μια έρευνα σχετικά με την διαιτητική επίδραση του στελέχους *Lactococcus lactis* K-C2 σε διάφορες παραμέτρους, μέσω της μεθόδου ηλεκτροφόρησης πηκτικής με διαβαθμισμένη αποδιατακτική σύσταση (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis- DGGE) ανέφερε τη παρουσία των *Sphingomonas*, *Propionibacterium* και *Mycobacterium* στο έντερο χωρίς περαιτέρω πληροφορίες για το εντερικό μικροβίωμα (Linh et al. 2018). Στελέχη των *Sphingomonas* και *Propionibacterium* παρουσιάζουν αντιβιοτική δράση, συμβάλλοντας στην άμυνα κατά των παθογόνων στους ιχθύες (Soares et al. 2019). Παρομοίως, σε μια έρευνα για το πρωτεομικό προφίλ στη βλέννα του δέρματος του μαγιάτικου, μέσω της μεθόδου υγρής χρωματογραφίας με συζευγμένη φασματομετρία μαζών (LC-MS/MS), ταυτοποιήθηκαν βακτηριακές πρωτεϊνές διάφορων γενών όπως *Pseudomonas*, *Paracoccus*, *Acinetobacter*, *Serratia*, *Clostridium*, *Bartonella*, *Escherichia*, *Streptomyces* και *Thermotoga*, με τα δύο πρώτα να αποτελούν και τα κυρίαρχα γένη (Fernández-Montero et al. 2021). Αρκετά από τα προαναφερθέντα γένη απαντώνται στις μικροβιακές κοινότητες διάφορων ειδών ιχθύων.

Διαφοροποιήσεις από ΤΠΕ: Καμία

Βιβλιογραφία

- Antonopoulou, E., Nikouli, E., Piccolo, G., Gasco, L., Gai, F., Chatzifotis, S., Mente, E. and Kormas, K., 2019. Reshaping gut bacterial communities after dietary *Tenebrio molitor* larvae meal supplementation in three fish species. *Aquaculture*, 503, pp.628-635.
- Balcázar, J.L., Vendrell, D., de Blas, I., Ruiz-Zarzuola, I., Muzquiz, J.L. and Girones, O., 2008. Characterization of probiotic properties of lactic acid bacteria isolated from intestinal microbiota of fish. *Aquaculture*, 278(1-4), pp.188-191.
- Birkbeck, T.H. & Ringø, E. 2005, *Chapter 10: Pathogenesis and the gastrointestinal tract of growing fish*. Editor(s): W.H. Holzapfel, P.J. Naughton, S.G. Pierzynowski, R. Zabielski, E. Salek, *Biology of Growing Animals*, Elsevier, Volume 2, 2005, Pages 208-234
- Boutin, S., Sauvage, C., Bernatchez, L., Audet, C. & Derome, N. 2014, "Inter individual variations of the fish skin microbiota: Host genetics basis of mutualism?", *PLoS ONE*, vol. 9, no. 7.
- Brooks, A.W., Kohl, K.D., Brucker, R.M., van Opstal, E.J. & Bordenstein, S.R. 2016, "Phylosymbiosis: Relationships and Functional Effects of Microbial Communities across Host Evolutionary History", *PLoS Biology*, vol. 14, no. 11.
- Cámara-Ruiz, M., Cerezo, I.M., Guardiola, F.A., García-Beltrán, J.M., Balebona, M.C., Moriñigo, M.Á. and Esteban, M.Á., 2021. Alteration of the Immune Response and the Microbiota of the Skin during a Natural Infection by *Vibrio harveyi* in European Seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Microorganisms*, 9(5), p.964.
- Cerezo-Ortega, I.M., DE, D.Z.S., García-Márquez, J., Ruiz-Jarabo, I., Sáez-Casado, M.I., Balebona, M.C., Moriñigo, M.A. and Tapia-Paniagua, S.T., 2021. Microbiota composition and intestinal integrity remain unaltered after the inclusion of hydrolysed *Nannochloropsis gaditana* in *Sparus aurata* diet. *Scientific Reports*, 11(1), pp.1-16.
- Chen, B., Gao, L.L. and Pan, Q., 2018. Woody forages effect the intestinal bacteria diversity of golden pompano *Trachinotus ovatus*. *AMB Express*, 8(1), pp.1-9.
- Dimitroglou, A., Merrifield, D.L., Carnevali, O., Picchiatti, S., Avella, M., Daniels, C., Güroy, D. & Davies, S.J. 2011, "Microbial manipulations to improve fish health and production - A Mediterranean perspective", *Fish and Shellfish Immunology*, vol. 30, no. 1, pp. 1-16.



- Domínguez-Maqueda, M., Cerezo, I., Tapia-Paniagua, S., De La Banda, I., Moreno-Ventas, X., Moriñigo, M. and Balebona, M., 2021. A Tentative Study of the Effects of Heat-Inactivation of the Probiotic Strain *Shewanella putrefaciens* Ppd11 on Senegalese Sole (*Solea senegalensis*) Intestinal Microbiota and Immune Response. *Microorganisms*, 9(4), p.808.
- Egerton, S., Culloty, S., Whooley, J., Stanton, C. & Ross, R.P. 2018, "The gut microbiota of marine fish", *Frontiers in Microbiology*, vol. 9, no. MAY.
- Escalas, A., Auguet, J., Avouac, A., Seguin, R., Gradel, A., Borrossi, L. and Villéger, S., 2021. Ecological Specialization Within a Carnivorous Fish Family Is Supported by a Herbivorous Microbiome Shaped by a Combination of Gut Traits and Specific Diet. *Frontiers in Marine Science*, 8, p.91.
- Estruch, G., Collado, M.C., Peñaranda, D.S., Tomás Vidal, A., Jover Cerdá, M., Pérez Martínez, G., Martínez-Llorens, S. & Moreau, C.S. 2015, "Impact of fishmeal replacement in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) on the gastrointestinal microbiota determined by pyrosequencing the 16S rRNA gene", *PLoS ONE*, vol. 10, no. 8.
- Fernández-Montero, Á., Torrecillas, S., Montero, D., Acosta, F., Prieto-Álamo, M.J., Abril, N. and Jurado, J., 2021. Proteomic profile and protease activity in the skin mucus of greater amberjack (*Seriola dumerili*) infected with the ectoparasite *Neobenedenia girellae*—An immunological approach. *Fish & Shellfish Immunology*, 110, pp.100-115.
- Fjellheim, A.J., Playfoot, K.J., Skjermo, J. & Vadstein, O. 2012, "Inter-individual variation in the dominant intestinal microbiota of reared Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) larvae", *Aquaculture Research*, vol. 43, no. 10, pp. 1499-1508.
- Fonseca, F., Cerqueira, R. and Fuentes, J., 2019. Impact of ocean acidification on the intestinal microbiota of the marine sea bream (*Sparus aurata* L.). *Frontiers in physiology*, 10, p.1446.
- Ghanbari, M., Kneifel, W., Domig, K.J. 2015. A new view of the fish gut microbiome: Advances from next-generation sequencing. *Aquaculture* 448, 464-475
- Guerreiro, I., Serra, C.R., Oliva-Teles, A. and Enes, P., 2018. gut microbiota of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) is modulated by short-chain fructooligosaccharides and xylooligosaccharides. *Aquaculture international*, 26(1), pp.279-288.
- Guivier, E., Martin, J.-., Pech, N., Ungaro, A., Chappaz, R. & Gilles, A. 2018, Microbiota Diversity Within and Between the Tissues of Two Wild Interbreeding Species, *Microbial ecology*, vol. 75, no. 3, pp. 799-810.
- Guo, G., Li, C., Xia, B., Jiang, S., Zhou, S., Men, X. and Ren, Y., 2020. The efficacy of lactic acid bacteria usage in turbot *Scophthalmus maximus* on intestinal microbiota and expression of the immune related genes. *Fish & shellfish immunology*, 100, pp.90-97.
- Hansen, G.H. & Olafsen, J.A. 1999, Bacterial interactions in early life stages of marine cold water fish, *Microbial ecology*, vol. 38, no. 1, pp. 1-26.
- Hao, Y.T., Guo, R., Jia, G.W., Zhang, Y., Xia, H. and Li, X.H., 2020. Effects of enzymatic hydrolysates from poultry by-products (EHPB) as an alternative source of fish meal on growth performance, hepatic proteome and gut microbiota of turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture Nutrition*, 26(6), pp.1994-2006.
- Heindler, F.M., Maes, G.E., Delerue-Ricard, S., Bavière, A.V., Hostens, K. and Volckaert, F.A., 2019. Diet composition and gut microbiome of 0-group European plaice *Pleuronectes platessa* L.-Strong homogeneity and subtle spatial and temporal differences. *Journal of Sea Research*, 144, pp.67-77.



- Huang, Q., Lin, H., Wang, R., Huang, Z., Zhou, C., Yu, W., Xun, P., Tan, L., Wang, Y. and Wang, J., 2019. Effect of dietary vitamin B6 supplementation on growth and intestinal microflora of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Aquaculture Research*, 50(9), pp.2359-2370.
- Ingerslev, H.-., Strube, M.L., Jørgensen, L.V.G., Dalsgaard, I., Boye, M. & Madsen, L. 2014, Diet type dictates the gut microbiota and the immune response against *Yersinia ruckeri* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Fish and Shellfish Immunology*, vol. 40, no. 2, pp. 624-633.
- Kim, P.S., Shin, N.R., Lee, J.B., Kim, M.S., Whon, T.W., Hyun, D.W., Yun, J.H., Jung, M.J., Kim, J.Y. and Bae, J.W., 2021. Host Habitat Is the Major Determinant of the Gut Microbiome of Fish. *Microbiome* 9, 166
- Knobloch, S., Philip, J., Ferrari, S., Benhaïm, D., Bertrand, M. and Poirier, I., 2021. The effect of ultrasonic antifouling control on the growth and microbiota of farmed European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Marine Pollution Bulletin*, 164, p.112072.
- Kormas, K.A., Meziti, A., Mente, E. and Frentzos, A., 2014. Dietary differences are reflected on the gut prokaryotic community structure of wild and commercially reared sea bream (*Sparus aurata*). *Microbiologyopen*, 3(5), pp.718-728.
- Lamari, F., Castex, M., Larcher, T., Ledevin, M., Mazurais, D., Bakhrouf, A. and Gatesoupe, F.J., 2013. Comparison of the effects of the dietary addition of two lactic acid bacteria on the development and conformation of sea bass larvae, *Dicentrarchus labrax*, and the influence on associated microbiota. *Aquaculture*, 376, pp.137-145.
- Larsen, A.M., Mohammed, H.H. & Arias, C.R. 2014, Characterization of the gut microbiota of three commercially valuable warmwater fish species, *Journal of applied microbiology*, vol. 116, no. 6, pp. 1396-1404.
- Larsen, A., Tao, Z., Bullard, S.A. & Arias, C.R. 2013, Diversity of the skin microbiota of fishes: Evidence for host species specificity, *FEMS microbiology ecology*, vol. 85, no. 3, pp. 483-494.
- Le, M. and Wang, D., 2020. Structure and membership of gut microbial communities in multiple fish cryptic species under potential migratory effects. *Scientific Reports*, 10 (1).
- Li, C., Zhang, B., Liu, C., Zhou, H., Wang, X., Mai, K. and He, G., 2020. Effects of dietary raw *or Enterococcus faecium* fermented soybean meal on growth, antioxidant status, intestinal microbiota, morphology, and inflammatory responses in turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Fish & shellfish immunology*, 100, pp.261-271.
- Linh, N.T.H., Nagai, S., Nagasaka, N., Okane, S. and Taoka, Y., 2018. Effect of *Lactococcus lactis* K-C2 on the growth performance, amino acid content and gut microflora of amberjack *Seriola dumerili*. *Fisheries science*, 84(6), pp.1051-1062.
- Liu, Y., Chen, Z., Dai, J., Yang, P., Xu, W., Ai, Q., Zhang, W., Zhang, Y., Zhang, Y. and Mai, K., 2019. Sodium butyrate supplementation in high-soybean meal diets for turbot (*Scophthalmus maximus* L.): effects on inflammatory status, mucosal barriers and microbiota in the intestine. *Fish & shellfish immunology*, 88, pp.65-75.
- Liu, B., Guo, H., Zhu, K., Guo, L., Liu, B., Zhang, N., Jiang, S. and Zhang, D., 2019. Salinity effect on intestinal microbiota in golden pompano *Trachinotus ovatus* (Linnaeus, 1758).
- Magalhães, R., Guerreiro, I., Santos, R.A., Coutinho, F., Couto, A., Serra, C.R., Olsen, R.E., Peres, H. and Oliva-Teles, A., 2020. Oxidative status and intestinal health of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles fed diets with different ARA/EPA/DHA ratios. *Scientific reports*, 10(1), pp.1-13.



- Mente, E., Gannon, A. T., Nikouli, E., Hammer, H., Kormas, K.A. 2016. Gut microbial communities associated with the molting stages of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, 463, 181-188.
- Meziti, A., Ramette, A., Mente, E., Kormas K.A. 2010. Temporal shifts of the Norway lobster (*Nephrops norvegicus*) gut bacterial communities. *FEMS Microbiol. Ecol.* 74, 272-284
- Meziti, A., Mente, E., Kormas, K.A. 2012. Gut bacteria associated with different diets in reared *Nephrops norvegicus*. *Syst. Appl. Microbiol.* 35, 473-482.
- Minich, J.J., Petrus, S., Michael, J.D., Michael, T.P., Knight, R. and Allen, E.E., 2020. Temporal, environmental, and biological drivers of the mucosal microbiome in a wild marine fish, *Scomber japonicus*. *Mosphere*, 5(3), pp.e00401-20.
- Montero, D., Rimoldi, S., Torrecillas, S., Rapp, J., Moroni, F., Herrera, A., Gómez, M., Fernández-Montero, Á. and Terova, G., 2021. Impact of polypropylene microplastics and chemical pollutants on European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) gut microbiota and health. *Science of the Total Environment*, p.150402.
- Moroni, F., Naya-Català, F., Piazzon, M.C., Rimoldi, S., Calduch-Giner, J., Giardini, A., Martínez, I., Brambilla, F., Pérez-Sánchez, J. and Terova, G., 2021. The Effects of Nisin-Producing *Lactococcus lactis* Strain Used as Probiotic on Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*) Growth, Gut Microbiota, and Transcriptional Response. *Frontiers in Marine Science*, 8, p.364.
- Morris, M.T., Hauton, C., Baylay, A.J., Peruzza, L., Targett, T.E. and Ciotti, B.J., 2021. Spatial variation in the gastrointestinal microbiome, diet, and nutritional condition of a juvenile flatfish among coastal habitats. *Marine Environmental Research*, 170, p.105413.
- Moutinho, S., Martínez-Llorens, S., Tomás-Vidal, A., Jover-Cerdá, M., Oliva-Teles, A. and Peres, H., 2017. Meat and bone meal as partial replacement for fish meal in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles: Growth, feed efficiency, amino acid utilization, and economic efficiency. *Aquaculture*, 468, pp.271-277.
- Nayak, S.K. 2010, "Role of gastrointestinal microbiota in fish", *Aquaculture Research*, vol. 41, no. 11, pp. 1553-1573.
- Nikouli, E., Meziti, A., Antonopoulou, E., Mente, E. and Kormas, K.A., 2018. Gut bacterial communities in geographically distant populations of farmed sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Microorganisms*, 6(3), p.92.
- Nikouli, E., Meziti, A., Antonopoulou, E., Mente, E. and Kormas, K.A., 2019. Host-associated bacterial succession during the early embryonic stages and first feeding in farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Genes*, 10(7), p.483.
- Nikouli, E., Meziti, A., Smeti, E., Antonopoulou, E., Mente, E. and Kormas, K., 2020. Gut Microbiota of Five Sympatrically Farmed Marine Fish Species in the Aegean Sea. *Microbial Ecology*, 81(2), pp.460-470.
- Olafsen, J.A. 2001, Interactions between fish larvae and bacteria in marine aquaculture, *Aquaculture*, vol. 200, no. 1-2, pp. 223-247.
- Panteli, N., Mastoraki, M., Lazarina, M., Chatzifotis, S., Mente, E., Kormas, K.A. and Antonopoulou, E., 2021. Configuration of Gut Microbiota Structure and Potential Functionality in Two Teleosts under the Influence of Dietary Insect Meals. *Microorganisms*, 9(4), p.699.
- Parma, L., Candela, M., Soverini, M., Turrone, S., Consolandi, C., Brigidi, P., Mandrioli, L., Sirri, R., Fontanillas, R., Gatta, P.P. and Bonaldo, A., 2016. Next-generation sequencing characterization of the gut bacterial community of gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.) fed low fishmeal based diets with increasing soybean meal levels. *Animal Feed Science and Technology*, 222, pp.204-216.



- Parma, L., Pelusio, N.F., Gisbert, E., Esteban, M.A., D'Amico, F., Soverini, M., Candela, M., Dondi, F., Gatta, P.P. and Bonaldo, A., 2020. Effects of rearing density on growth, digestive conditions, welfare indicators and gut bacterial community of gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L. 1758) fed different fishmeal and fish oil dietary levels. *Aquaculture*, 518, p.734854.
- Parma, L., Yúfera, M., Navarro-Guillén, C., Moyano, F.J., Soverini, M., D'Amico, F., Candela, M., Fontanillas, R., Gatta, P.P. and Bonaldo, A., 2019. Effects of calcium carbonate inclusion in low fishmeal diets on growth, gastrointestinal pH, digestive enzyme activity and gut bacterial community of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles. *Aquaculture*, 510, pp.283-292.
- Pérez-Pascual, D., Estellé, J., Dutto, G., Rodde, C., Bernardet, J.F., Marchand, Y., Duchaud, E., Przybyla, C. and Ghigo, J.M., 2020. Growth performance and adaptability of European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) gut microbiota to alternative diets free of fish products. *Microorganisms*, 8(9), p.1346.
- Perry, W.B., Lindsay, E., Payne, C.J., Brodie, C. & Kazlauskaitė, R. 2020, "The role of the gut microbiome in sustainable teleost aquaculture", *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 287, no. 1926.
- Pimentel, T., Marcelino, J., Ricardo, F., Soares, A.M. and Calado, R., 2017. Bacterial communities 16S rDNA fingerprinting as a potential tracing tool for cultured seabass *Dicentrarchus labrax*. *Scientific reports*, 7(1), pp.1-10.
- Psafakis, P., Meziti, A., Berillis, P., Mente, E., Kormas, K.A. and Karapanagiotidis, I.T., 2021. Effects of Dietary Fishmeal Replacement by Poultry By-Product Meal and Hydrolyzed Feather Meal on Liver and Intestinal Histomorphology and on Intestinal Microbiota of Gilthead Seabream (*Sparus aurata*). *Applied Sciences*, 11(19), p.8806.
- Ray, A.K., Ghosh, K. & Ringø, E. 2012, Enzyme-producing bacteria isolated from fish gut: A review, *Aquaculture Nutrition*, vol. 18, no. 5, pp. 465-492.
- Rimoldi, S., Gini, E., Koch, J.F.A., Iannini, F., Brambilla, F. and Terova, G., 2020. Effects of hydrolyzed fish protein and autolyzed yeast as substitutes of fishmeal in the gilthead sea bream (*Sparus aurata*) diet, on fish intestinal microbiome. *BMC veterinary research*, 16(1), pp.1-13.
- Rimoldi, S., Gliozheni, E., Ascione, C., Gini, E. & Terova, G. 2018, Effect of a specific composition of short- and medium-chain fatty acid 1-Monoglycerides on growth performances and gut microbiota of gilthead sea bream (*Sparus aurata*), *PeerJ*, vol. 2018, no. 7.
- Rimoldi, S., Torrecillas, S., Montero, D., Gini, E., Makol, A., Valdenegro V, V., Izquierdo, M. and Terova, G., 2020. Assessment of dietary supplementation with galactomannan oligosaccharides and phytogenics on gut microbiota of European sea bass (*Dicentrarchus Labrax*) fed low fishmeal and fish oil based diet. *PloS one*, 15(4), p.e0231494.
- Rosado, D., Perez-Losada, M., Severino, R., Cable, J. and Xavier, R., 2019. Characterization of the skin and gill microbiomes of the farmed seabass (*Dicentrarchus labrax*) and seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 500, pp.57-64.
- Rosado, D., Pérez-Losada, M., Severino, R. and Xavier, R., 2021. Monitoring Infection and Antibiotic Treatment in the Skin Microbiota of Farmed European Seabass (*Dicentrarchus Labrax*) Fingerlings. *Microbial Ecology*, pp.1-9.
- Rosado, D., Xavier, R., Severino, R., Tavares, F., Cable, J. and Pérez-Losada, M., 2019. Effects of disease, antibiotic treatment and recovery trajectory on the microbiome of farmed seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Scientific reports*, 9(1), pp.1-11.



- Ruiz-Rodríguez, M., Scheifler, M., Sanchez-Brosseau, S., Magnanou, E., West, N., Suzuki, M., Duperron, S. & Desdevises, Y. 2020, Host Species and Body Site Explain the Variation in the Microbiota Associated to Wild Sympatric Mediterranean Teleost Fishes, *Microbial ecology*, vol. 80, no. 1, pp. 212-222.
- Savas, S., Kubilay, A. & Basmaz, N. 2005, "Effect of bacterial load in feeds on intestinal microflora of seabream (*Sparus aurata*) larvae and juveniles", *Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, vol. 57, no. 1, pp. 3-9.
- Serra, C.R., Oliva-Teles, A., Enes, P. and Tavares, F., 2021. Gut microbiota dynamics in carnivorous European seabass (*Dicentrarchus labrax*) fed plant-based diets. *Scientific Reports*, 11(1), pp.1-13.
- Shen, J., Liu, H., Tan, B., Dong, X., Yang, Q., Chi, S. and Zhang, S., 2020. Effects of replacement of fishmeal with cottonseed protein concentrate on the growth, intestinal microflora, haematological and antioxidant indices of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Aquaculture Nutrition*, 26(4), pp.1119-1130.
- Soares, M., Cable, J., Lima - Maximino, M., Maximino, C. and Xavier, R., 2019. Using fish models to investigate the links between microbiome and social behaviour: The next step for translational microbiome research?. *Fish and Fisheries*, 20(4), pp. 640-652.
- Sullam, K.E., Essinger, S.D., Lozupone, C.A., O'Connor, M.P., Rosen, G.L., Knight, R., Kilham, S.S. & Russell, J.A. 2012, Environmental and ecological factors that shape the gut bacterial communities of fish: A meta-analysis, *Molecular ecology*, vol. 21, no. 13, pp. 3363-3378.
- Svanevik, C.S. and Lunestad, B.T., 2011. Characterisation of the microbiota of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). *International journal of food microbiology*, 151(2), pp.164-170.
- Tan, X. and Sun, Z., 2020. Dietary dandelion extract improved growth performance, immunity, intestinal morphology and microbiota composition of golden pompano *Trachinotus ovatus*. *Aquaculture Reports*, 18, p.100491.
- Tapia-Paniagua, S., Fumanal, M., Anguís, V., Fernández-Díaz, C., Alarcón, F., Moriñigo, M. and Balebona, M., 2019. Modulation of Intestinal Microbiota in *Solea senegalensis* Fed Low Dietary Level of *Ulva ohnoi*. *Frontiers in Microbiology*, 10.
- Tapia-Paniagua, S.T., Balebona, M.D.C., Firmino, J.P., Rodríguez, C., Polo, J., Moriñigo, M.A. and Gisbert, E., 2020. The effect of spray-dried porcine plasma on gilthead seabream (*Sparus aurata*) intestinal microbiota. *Aquaculture Nutrition*, 26(3), pp.801-811.
- Tapia-Paniagua, S.T., Ceballos-Francisco, D., Balebona, M.C., Esteban, M.Á. and Moriñigo, M.Á., 2018. Mucus glycosylation, immunity and bacterial microbiota associated to the skin of experimentally ulcerated gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Fish & shellfish immunology*, 75, pp.381-390.
- Torrecillas, S., Mompel, D., Caballero, M.J., Montero, D., Merrifield, D., Rodiles, A., Robaina, L., Zamorano, M.J., Karalazos, V., Kaushik, S. and Izquierdo, M., 2017. Effect of fishmeal and fish oil replacement by vegetable meals and oils on gut health of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 468, pp.386-398.
- Tytler, P. & Blaxter, J.H.S. 1988, Drinking in yolk-sac stage larvae of the halibut, *Hippoglossus hippoglossus* (L.), *Journal of fish biology*, vol. 32, no. 3, pp. 493-494.
- Vadstein, O. 1997, The use of immunostimulation in marine larviculture: Possibilities and challenges, *Aquaculture*, vol. 155, no. 1-4, pp. 401-417.
- Vdastein, O., Attramadal, K.J.K., Bakke, I., Forberg, T., Olsen, Y., Verdegem, M., Giatsis, C., Skjermo, J., Aasen, I.M., Gatesoupe, F.-., Dierckens, K., Sorgeloos, P. & Bossier, P. 2018, Managing the microbial



- community of marine fish larvae: A holistic perspective for larviculture, *Frontiers in Microbiology*, vol. 9, no. AUG.
- Vieco-Saiz, N., Belguesmia, Y., Raspoet, R., Auclair, E., Gancel, F., Kempf, I. and Drider, D., 2019. Benefits and inputs from lactic acid bacteria and their bacteriocins as alternatives to antibiotic growth promoters during food-animal production. *Frontiers in microbiology*, 10, p.57.
- Wang, A.R., Ran, C., Ringø, E., Zhou, Z.G. 2017. Progress in fish gastrointestinal microbiota research. *Reviews in Aquaculture*, DOI: 10.1111/raq.12191
- Xing, M., Hou, Z., Yuan, J., Liu, Y., Qu, Y. and Liu, B., 2013. Taxonomic and functional metagenomic profiling of gastrointestinal tract microbiome of the farmed adult turbot (*Scophthalmus maximus*). *FEMS microbiology ecology*, 86(3), pp.432-443.
- Xun, P., Lin, H., Wang, R., Huang, Z., Zhou, C., Yu, W., Huang, Q., Tan, L., Wang, Y. and Wang, J., 2019. Effects of dietary vitamin B1 on growth performance, intestinal digestion and absorption, intestinal microflora and immune response of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Aquaculture*, 506, pp.75-83.
- Xun, P., Lin, H., Wang, R., Yu, W., Zhou, C., Tan, X., Huang, Z., Huang, X., Huang, Q. and Yu, W., 2021. Effects of dietary lipid levels on growth performance, plasma biochemistry, lipid metabolism and intestinal microbiota of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Aquaculture Nutrition*, 27(5), pp.1683-1698.
- Yan, Q., Li, J., Yu, Y., Wang, J., He, Z., Van Nostrand, J.D., Kempfer, M.L., Wu, L., Wang, Y., Liao, L., Li, X., Wu, S., Ni, J., Wang, C., Zhou, J. 2016. Environmental filtering decreases with fish development for the assembly of gut microbiota. *Environmental Microbiology* 18, 4739-4754.
- Yang, P., Hu, H., Liu, Y., Li, Y., Ai, Q., Xu, W., Zhang, W., Zhang, Y., Zhang, Y. and Mai, K., 2018. Dietary stachyose altered the intestinal microbiota profile and improved the intestinal mucosal barrier function of juvenile turbot, *Scophthalmus maximus* L. *Aquaculture*, 486, pp.98-106.
- You, C., Chen, B., Wang, M., Wang, S., Zhang, M., Sun, Z., Juventus, A.J., Ma, H. and Li, Y., 2019. Effects of dietary lipid sources on the intestinal microbiome and health of golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Fish & shellfish immunology*, 89, pp.187-197.
- You, C., Chen, B., Zhang, M., Shao, Y., Wang, S., Chen, C., Lin, L., Huang, Y., Zhou, M., Dong, Y. and Li, Y., 2021. Evaluation of different dietary n-3 lc-pufa on the growth, intestinal health and microbiota profile of golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Aquaculture Nutrition*. 27:953–965
- Yu, G., Liu, Y., Ou, W., Dai, J., Ai, Q., Zhang, W., Mai, K. and Zhang, Y., 2021. The protective role of daidzein in intestinal health of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) fed soybean meal-based diets. *Scientific reports*, 11(1), pp.1-13.
- Yu, J., Wang, Y., Xiao, Y., Li, X., Xu, X., Zhao, H., Wu, L. and Li, J., 2021. Effects of chronic nitrate exposure on the intestinal morphology, immune status, barrier function, and microbiota of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 207, p.111287.
- Zhang, Z., Li, D., Xu, W., Tang, R. & Li, L. 2019, Microbiome of Co-cultured Fish Exhibits Host Selection and Niche Differentiation at the Organ Scale, *Frontiers in Microbiology*, vol. 10.
- Zarkasi, K.Z., Taylor, R.S., Glencross, B.D., Abell, G.C.J., Tamplin, M.L. & Bowman, J.P. 2017, In vitro characteristics of an Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) hind gut microbial community in relation to different dietary treatments, *Research in microbiology*, vol. 168, no. 8, pp. 751-759.
- Zhang, H., Ran, C., Teame, T., Ding, Q., Hoseinifar, S.H., Xie, M., Zhang, Z., Yang, Y., Olsen, R.E., Gatlin, D.M., Ringø, E., Duan, M. & Zhou, Z. 2020, "Research progress on gut health of farmed teleost fish: a



viewpoint concerning the intestinal mucosal barrier and the impact of its damage", *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, vol. 30, no. 4, pp. 569-586.

Zhao, W., Xie, J.J., Fang, H.H., Liu, Y.J., Tian, L.X. and Niu, J., 2020. Effects of corn starch level on growth performance, antioxidant capacity, gut morphology and intestinal microflora of juvenile golden pompano, *Trachinotus ovatus*. *Aquaculture*, 524, 735197



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS



GALAXIDI
Marine Farm S.A.



ARGOSARONIKOS
FISHFARMS S.A.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο
Περιφερειακής Ανάπτυξης

ΕΠΑνεΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ

ΕΣΠΑ
2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη