



Πτυχιακή εργασία

Η επίδραση των γονιδιακών διπλασιασμών στην οικοφυσιολογία των Τελεόστεων



Ανδρέου Αναστασία του Βασιλείου

Λάρισα, 2024

**Η επίδραση των γονιδιακών διπλασιασμών στην
οικοφυσιολογία των Τελεόστεων**

**The impact of gene duplications on the ecophysiology of
Teleosts**

Τριμελής Επιτροπή:

Μούτου Αικατερίνη, Καθηγήτρια Βιολογίας Σπονδυλωτών, Τμήμα
Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Σαραφίδου Θεολογία, Επίκουρος Καθηγήτρια Μοριακής Γενετικής
Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μαμούρης Ζήσης, Καθηγητής, Τμήμα Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Θα ήθελα πρώτα και κύρια να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια Βιολογίας Σπονδυλωτών κ. Αικατερίνη Μούτου, καθώς η πραγματοποίηση αυτής της πτυχιακής εργασίας έγινε υπό την καθοδήγησή της στο εργαστήριο Γενετικής, Συγκριτικής και Εξελικτικής Βιολογίας του τμήματος Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Επιπλέον, ευχαριστώ ιδιαιτέρως τον Διδάκτορα Ανδρέα Τσιπουρλιάνο για την καθοδήγηση του και την γενναιόδωρη παροχή γνώσεων.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς επιτροπής, την κ. Θεολογία Σαραφίδου και τον κ. Μαμούρη Ζήση, καθώς και όλα τα μέλη του εργαστηρίου για την δημιουργία μίας φιλικής ατμόσφαιρας στο χώρο του εργαστηρίου.

Περίληψη

Οι Τελεόστεοι είναι είδη που εντοπίζονται σε μία πληθώρα ενδιαιτημάτων και εμφανίζουν πολλές προσαρμογές. Μάλιστα, σε αυτούς ανήκουν και είδη των οποίων η οικονομική σημασία, ειδικά στην Μεσόγειο, είναι πολύ μεγάλη. Η προσαρμοστικότητα τους οφείλεται, σε έναν βαθμό, στο γεγονός ότι έχει συμβεί ένας τρίτος γύρος διπλασιασμού του γονιδιώματος τους, ο οποίος είναι ειδικός για την γενεαλογία τους, σε αντίθεση με τα Τετράποδα στα οποία έχουν λάβει χώρα δύο γονιδιωματικοί διπλασιασμοί. Η πέψη αποτελεί μία απαραίτητη διαδικασία για την ζωή, καθώς χάρη σε αυτήν παρέχονται συστατικά για την αύξηση και την ανάπτυξη του εκάστοτε είδους. Η τρέχουσα βιβλιογραφία υπογραμμίζει ότι απώλεια του στομαχιού, σημαντικό όργανο της όξινης πέψης, ανιχνεύεται σε ένα μεγάλο ποσοστό Τελεόστεων και συνοδεύεται από την απουσία κάποιων πεπτικών ενζύμων.

Στην παρούσα εργασία, διερευνήθηκε το αποτύπωμα των γονιδιακών διπλασιασμών σε σχέση με την οικοφυσιολογία των Τελεόστεων. Οι οικοφυσιολογικοί παράγοντες που συμπεριλήφθηκαν στη μελέτη ήταν η κλιματική ζώνη, το εύρος βάθους στο οποίο απαντώνται οι οργανισμοί, οι μεταναστευτικές και διατροφικές συνήθειες των ειδών, καθώς και δομές όπως το στομάχι και τα φαρυγγικά δόντια. Με βάση αυτούς τους παράγοντες, ανιχνεύθηκαν κάποια μοτίβα κατανομής του ενζύμου της πεπτικής χιτινάσης και μέσω φυλογενετικής ανάλυσης, εντοπίστηκε η εξελικτική ιστορία του γονιδίου που κωδικοποιεί για την πεπτική χιτινάση.

Abstract

Teleosts are species that are found in a wide range of habitats and exhibit many adaptations. In fact, these include species whose economic significance, especially in the Mediterranean, is very substantial. Their adaptability is partly due a third round of whole genome duplication, which is unique to their lineage, in contrast to Tetrapods, in which two whole genome duplications have taken place. Digestion is an essential process for life, as it provides nutrients necessary for the growth and development of each species. Current literature highlights that the loss of the stomach, an important organ for acidic digestion, is detected in a large number of Teleosts and is accompanied by the absence of certain digestive enzymes.

In the present study, the impact of gene duplications in relation to the ecophysiology of Teleosts was investigated. The ecophysiological factors considered were the climatic zone, the depth range at which the organisms are found, the migratory and feeding habits of the species, as well as anatomical structures relevant to digestion such as the stomach and pharyngeal teeth. Based on these factors, distinct distribution patterns of the digestive chitinase enzyme were detected, and through phylogenetic analysis, the evolutionary history of the gene encoding digestive chitinase was traced.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	8
1.1 Οργανισμοί Ενδιαφέροντος	8
1.1.1 Τελεόστεοι	8
1.1.2 Ευρωπαϊκό λαβράκι (<i>Dicentrarchus labrax</i>).....	8
1.1.3 Τσιπούρα (<i>Sparus aurata</i>)	10
1.1.4 Οικονομική σημασία	11
1.2 Ζωογεωγραφία	11
1.2.1 Γεωγραφική κατανομή των ιχθύων του γλυκού νερού	12
1.2.2 Γεωγραφική κατανομή των ιχθύων του αλμυρού νερού	15
1.3 Πεπτικό Σύστημα	20
1.4 Δευτερογενής απώλεια του στομαχιού	21
1.5 Πεπτική χιτινάση (AMCase ή CHIA)	23
1.6 Γονιδιωματικοί διπλασιασμοί	30
1.6.1 Πρώτος και δεύτερος διπλασιασμός ολόκληρου του γονιδιώματος	30
1.6.2 Τρίτος διπλασιασμός ολόκληρου του γονιδιώματος	31
1.6.3 Η μοίρα των γονιδίων μετά τον γονιδιωματικό διπλασιασμό	32
2. Σκοπός	35
3. Υλικά και Μέθοδοι	36
3.1 Διερεύνηση βάσεων δεδομένων και ανάκτηση αλληλουχιών	36
3.2 Στοίχιση αλληλουχιών	37
3.3 Φυλογενετική ανάλυση	38
3.4 Ανάκτηση πληροφοριών για τους οργανισμούς ενδιαφέροντος	40
4. Αποτελέσματα	42
4.1 Διερεύνηση βάσεων δεδομένων και ανάκτηση αλληλουχιών	42
4.2 Στοίχιση αλληλουχιών	42
4.3 Φυλογενετική ανάλυση	46
4.4 Ανάκτηση πληροφοριών για τους οργανισμούς ενδιαφέροντος	48
5. Συζήτηση	49
Συμπεράσματα	54
Παράρτημα.....	56
6. Βιβλιογραφία	113

1. Εισαγωγή

1.1 Οργανισμοί Ενδιαφέροντος

1.1.1 Τελεόστεοι

Οι Τελεόστεοι αποτελούν μια μεγάλη και ποικιλόμορφη ομάδα των σύγχρονων οστεϊχθύων, η οποία περιλαμβάνει το Ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) και την τσιπούρα (*Sparus aurata*) που εκτρέφονται εντατικά στη Μεσόγειο. Γενικά οι Τελεόστεοι αποτελούν ενδιαφέροντα παραδείγματα μελέτης στην εξελικτική βιολογία λόγω της προσαρμοστικότητάς τους στα διαφορετικά περιβάλλοντα. Η εξελικτική διαδικασία έχει οδηγήσει σε φυσιολογικές, συμπεριφορικές και μορφολογικές προσαρμογές που επιτρέπουν σε αυτά τα ψάρια να επιβιώνουν και να αναπαράγονται επιτυχώς στα διαφορετικά περιβάλλοντα. Για αυτό, η μελέτη αυτών των ειδών προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για τις εξελικτικές δυνάμεις, συμβάλλοντας στην κατανόηση της βιοποικιλότητας και της εξελικτικής διαδικασίας αλλά και στην διαχείριση και διατήρηση των υδάτινων πόρων.

Οι Τελεόστεοι ζουν σε περιβάλλοντα με μεγάλη ποικιλία θερμοκρασιών, από τα παγωμένα νερά των πολικών περιοχών μέχρι τα θερμά των τροπικών υδάτων, λόγω της εξαιρετικής τους ικανότητας προσαρμογής. Αυτό τους επιτρέπει να κατοικούν σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από κοντά στο 0°C, όπως ο βακαλάος του Ατλαντικού, έως πάνω από 30°C, όπως τα ψάρια της οικογένειας των Κιχλιδών. Διαθέτουν φυσιολογικούς μηχανισμούς, όπως ένζυμα που λειτουργούν αποτελεσματικά σε διαφορετικές θερμοκρασίες (Volkoff & Ronnestad, 2020), καθώς και συμπεριφορικές προσαρμογές, όπως η μετανάστευση για την εύρεση κατάλληλων θερμοκρασιών. Επιπλέον, η μορφολογία του σώματος μπορεί να ποικίλει ανάμεσα στα είδη, διευκολύνοντας έτσι τη θερμορύθμιση. Ζουν τόσο σε γλυκά όσο και σε αλμυρά νερά, έχοντας αναπτύξει φυσιολογικές προσαρμογές, όπως η ικανότητα ρύθμισης της εσωτερικής ωσμωμοριακότητας (Lavery, Skadhauge, 2012), και συμπεριφορικές προσαρμογές όπως μετανάστευση προς αναζήτηση των βέλτιστων συνθηκών διαβίωσης. Η προσαρμογή τους σε διαφορετικές διατροφικές συνήθειες οδηγεί στην εξειδίκευση, επιτρέποντάς τους να αξιοποιούν ποικίλες πηγές τροφής και να καταλαμβάνουν συγκεκριμένες οικολογικές θέσεις, με μορφολογικές και φυσιολογικές αλλαγές, όπως η διαμόρφωση του στόματος, η δομή των δοντιών, η ύπαρξη φαρυγγικών δοντιών και η λειτουργία του πεπτικού συστήματος, που τους επιτρέπουν να καταναλώνουν από φυτά και μικροοργανισμούς έως άλλα ψάρια και μαλάκια.

1.1.2 Ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*)

Το Ευρωπαϊκό λαβράκι περιγράφηκε για πρώτη φορά το 1758 από τον Σουηδό ζωολόγο Carl Linnaeus στο έργο του Systema Naturae. Αρχικά ονομάστηκε *Perca*

labrax αλλά στην συνέχεια, ταξινομήθηκε σε μια ποικιλία νέων συνωνύμων, με το *Dicentrarchus labrax* να κερδίζει ως το αποδεκτό όνομα το 1987. Η συστηματική ταξινόμηση του λαβρακιού φαίνεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Συστηματική Ταξινόμηση του λαβρακιού.

Βασίλειο	Ζώα
Φύλο	Χορδωτά
Ομοταξία	Ακτινοπτερύγιοι
Τάξη	Perciformes
Οικογένεια	Μορονίδες (Moronidae)
Γένος	Δικέντραρχος (<i>Dicentrarchus</i>)
Είδος	<i>Dicentrarchus labrax</i>

Το **Ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*)** βρίσκεται ανάμεσα στα πολυπληθέστερα είδη ψαριών, τα οποία εντοπίζονται στις Ευρωπαϊκές ακτές (FAO-*Dicentrarchus Labrax*, n.d.-c). Απαντάται σε μία πληθώρα ενδιαιτημάτων καθώς εντοπίζεται σε εκβολές ποταμών, λιμνοθάλασσες, παράκτια ύδατα και ποτάμια. Απαντάται σε μεγάλο μέρος του ανατολικού Ατλαντικού Ωκεανού, από τη νότια Νορβηγία μέχρι τη Σενεγάλη, σε ολόκληρη τη Μεσόγειο Θάλασσα και στη νότια Μαύρη Θάλασσα (Εικόνα 1). Είναι ένα εποχικά μεταναστευτικό είδος, το οποίο κατά τις θερινές περιόδους εισέρχεται στα παράκτια ύδατα και σε εκβολές ποταμών και τις χειμερινές περιόδους μεταναστεύουν σε βαθιά ύδατα (Waters & Carroll, 2013). Γενικά ζει σε ύδατα με ένα μεγάλο εύρος βάθους, έως και 100 μέτρων, αλλά συνήθως εντοπίζεται σε ρηχά νερά. Είναι ευρύαλο και ευρύθερμο είδος που σημαίνει ότι μπορεί να επιβιώσει σε μεγάλο εύρος αλατότητας και σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών.



Εικόνα 1: Γεωγραφική Κατανομή του λαβρακιού, (Wikimedia. 2021, November 30. Λαβράκι).

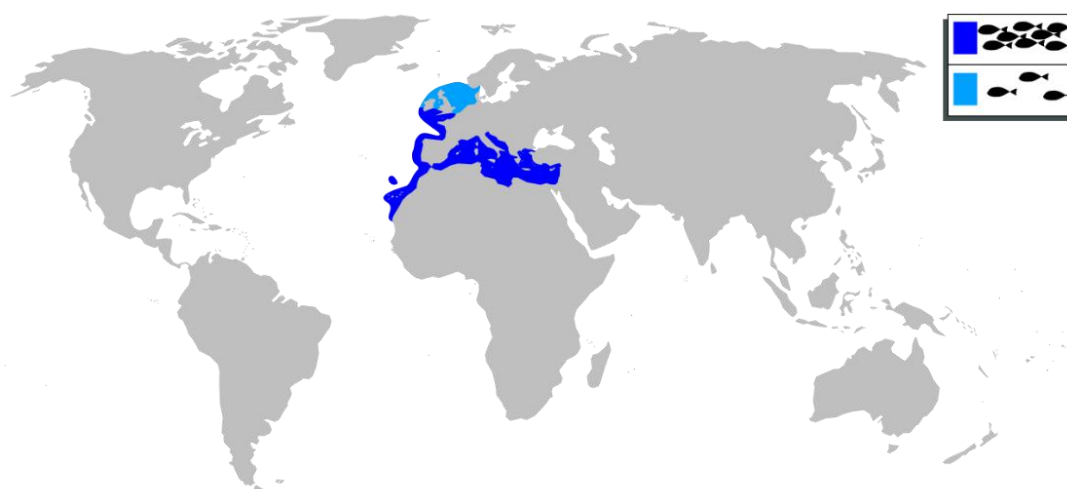
1.1.3 Τσιπούρα (*Sparus aurata*)

Η πρώτη προσπάθεια συστηματικής ταξινόμησης της τσιπούρας έγινε από τον Linnaeus το 1758, ο οποίος της έδωσε και τη σημερινή επιστημονική της ονομασία. Αναλυτικά, η συστηματική ταξινόμηση του οργανισμού βρίσκεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Συστηματική Ταξινόμηση της τσιπούρας.

Βασίλειο	Ζώα
Φύλο	Χορδωτά
Ομοταξία	Ακτινοπτερύγιοι
Τάξη	Spariformes
Οικογένεια	Σπαρίδες (Sparidae)
Γένος	<i>Sparus</i>
Είδος	<i>Sparus aurata</i>

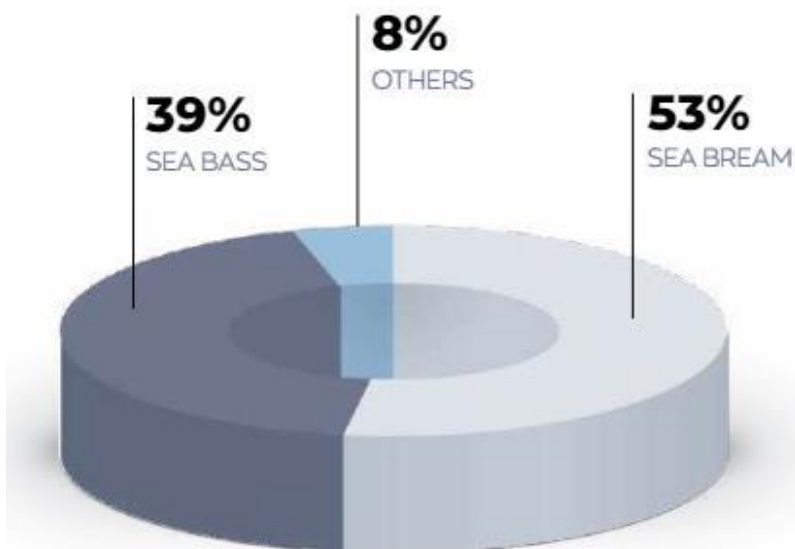
Η **τσιπούρα (*Sparus aurata*)**, αποτελεί ένα κοινό είδος που εντοπίζεται στις ευρωπαϊκές ακτές (FAO Fisheries & Aquaculture, n.d.). Σε αντιστοιχία με το λαβράκι, η τσιπούρα βρίσκεται στην Μεσόγειο θάλασσα και εξαπλώνεται κατά μήκος των ανατολικών ακτών του Ατλαντικού, από τη Μεγάλη Βρετανία έως τη Σενεγάλη, και πιο σπάνια στη Μαύρη Θάλασσα (Εικόνα 2). Πρόκειται για ένα είδος ευρύαλο και ευρύθερμο και για αυτό εντοπίζεται τόσο σε θαλάσσια όσο και σε υφάλμυρα ενδιαιτήματα, όπως παράκτιες λιμνοθάλασσες και εκβολές των ποταμών, ιδίως κατά τα αρχικά στάδια του κύκλου ζωής της. Τα νεαρά άτομα συνήθως μεταναστεύουν στις αρχές της άνοιξης προς προστατευόμενα παράκτια ρηχά ύδατα, όπου μπορούν να βρουν άφθονη τροφή και ηπιότερες συνθήκες θερμοκρασίας και στα τέλη του φθινοπώρου επιστρέφουν στην ανοιχτή θάλασσα, στην περιοχή όπου βρίσκεται ο ενήλικος πληθυσμός (Sola et al., 2014). Στην ανοικτή θάλασσα, η τσιπούρα βρίσκεται συνήθως σε βραχώδεις περιοχές και σε λιβάδια Ποσειδωνίας (*Posidonia oceanica*), ενώ συχνά εντοπίζεται και σε αμμώδεις πυθμένες.



Εικόνα 2: Γεωγραφική Κατανομή της τσιπούρας, (Wikimedia. 2024, January 23. Τσιπούρα).

1.1.4 Οικονομική σημασία

Η οικονομική σημασία του λαβρακιού και της τσιπούρας είναι σημαντική, ιδιαίτερα στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο. Αυτά τα είδη, ήταν ιστορικά από τα πρώτα θαλάσσια είδη τα οποία καλλιεργήθηκαν για εμπορικούς σκοπούς στην Ευρώπη. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, αυτά τα είδη ιχθυοκαλλιέργειας είναι κυρίαρχα λόγω των ευνοϊκών φυσικών συνθηκών και της υψηλής ζήτησής τους από τους καταναλωτές. Το μεγαλύτερο μέρος των υδατοκαλλιεργειών για αυτά τα είδη, εντοπίζεται στην περιοχή της Μεσογείου κυρίως στην Αίγυπτο, την Ελλάδα και την Τουρκία. Συγκεκριμένα, στην Ελλάδα, το εκτεταμένο μήκος των ακτών, η ποιότητα των υδάτων και γενικά το φυσικό περιβάλλον των ελληνικών θαλασσών προάγουν την εγκαθίδρυση των υδατοκαλλιεργειών. Το 2022 οι πωλήσεις ψαριών ελληνικής εκτροφής ανήλθαν σε 137.000 τόνους, αξίας 744 εκατομμύρια ευρώ, με την τσιπούρα και το λαβράκι να αντιπροσωπεύουν το 92% των πωλήσεων (126.700 τόνοι) (Εικόνα 3) (FishfromGreece. <https://fishfromgreece.com/etisia-ekthesi/>).



Εικόνα 3: Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια στην Μεσόγειο, Sea bass: λαβράκι, Sea Bream: τσιπούρα, FishfromGreece. <https://fishfromgreece.com/etisia-ekthesi/>.

1.2 Ζωογεωγραφία

Η μελέτη της ζωογεωγραφίας των ιχθύων αποτελεί ένα συναρπαστικό κομμάτι της επιστήμης. Παρουσιάζει ενδιαφέρον, επειδή ο εντοπισμός των μοτίβων κατανομής απαιτεί τον συνδυασμό γνώσεων πολλών τομέων της επιστήμης: οικολογία, φυσιολογία, συστηματική, παλαιοντολογία, γεωλογία και βιογεωγραφία (Peter & Cech, n.d.). Ωστόσο, πολλές φορές οι γνώσεις σε αυτούς τους τομείς δεν επαρκούν ώστε να γίνει ακριβής εξήγηση των προτύπων κατανομής των ιχθύων.

1.2.1 Γεωγραφική κατανομή των ιχθύων του γλυκού νερού

Όσον αφορά τα ψάρια του γλυκού νερού, η κατανομή τους ακολουθεί ένα ευρύ γεωγραφικό πρότυπο: η γεωγραφική απομόνωση, η κίνηση των ηπείρων και τα φαινόμενα της ξηρασίας μπορούν να δώσουν απαντήσεις σε πολλά ερωτήματα της ζωογεωγραφίας (Berra 1981).

Ζωογεωγραφικοί τύποι ιχθύων γλυκού νερού

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ψαριών που συναντώνται στο γλυκό νερό, τα ευρύαλα και τα υποχρεωτικά ψάρια του γλυκού νερού (Berra 2001). Τα ευρύαλα ψάρια είναι αυτά που ζουν κυρίως στο αλμυρό νερό αλλά μπορούν να εισέλθουν στον γλυκό. Είναι συχνό να συναντώνται σε κοραλλιογενείς ύφαλους και τα νεαρά άτομα να εισέρχονται στο γλυκό νερό για να αποφύγουν θηρευτές. Τα υποχρεωτικά ψάρια του γλυκού νερού περνούν το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους στο γλυκό νερό, αλλά αντέχουν σε ένα εύρος αλατότητας καθώς μερικά από αυτά ταξιδεύουν δια μέσου αλμυρού νερού ή είναι διάδρομα. Τα διάδρομα ψάρια μπορούν να εντοπιστούν σε κοραλλιογενείς περιοχές και είναι πολύ σημαντικά για αυτό το ενδιαίτημα. Μάλιστα, εάν υπάρξει απομόνωση, μπορούν να οδηγηθούν προς ειδογένεση (Corush, 2019).

Ζωογεωγραφικές περιοχές των ιχθύων του γλυκού νερού

Ολόκληρος ο πλανήτης είναι χωρισμένος σε έξι ζωογεωγραφικές περιοχές (Darlington 1951): την Αφρικανική περιοχή, την Νεοτροπική περιοχή, την Ανατολική περιοχή, την Παλαιοαρκτική περιοχή, την Νεοαρκτική περιοχή και την Αυστραλιανή περιοχή. Κάθε περιοχή από αυτές έχει ψάρια τα οποία φέρουν τα δικά τους στοιχεία, ως αποτέλεσμα απομόνωσης.

Η **Αφρικανική περιοχή** περιλαμβάνει την αφρικανική ήπειρο και φέρει σημαντική ποικιλότητα ειδών. Φέρει περίπου 2500 είδη ψαριών του γλυκού νερού, από αρχέγονα μέχρι και ενδημικά (Lowe-McConnel 1975, Roberts 1976). Η παρουσία του μεγάλου αριθμού ειδών της Αφρικής, οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων, είναι η μακρά γεωγραφική απομόνωση με σταθερά τροπικό κλίμα και με ελάχιστες επιρροές από τις υπόλοιπες ηπείρους, και η ύπαρξη «λεκανών» ειδογένεσης. Το σταθερό περιβάλλον συμβάλει στην εγκαθίδρυση ειδών, ενώ οι «λεκάνες» στην επιπλέον γεωγραφική απομόνωση κάποιων ειδών και στην κατευθυνόμενη ακτινωτή προσαρμογή τους. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα των ειδών του κλάδου των κιχλιδών (cichlid), τα οποία εξελίχθηκαν πολύ γρήγορα μέσα σε αυτές τις «λεκάνες» ειδογένεσης (Owen et al. 1990). Τα περισσότερα είδη είναι υποχρεωτικά του γλυκού νερού, ενώ τα ευρύαλα που εντοπίζονται στο γλυκό νερό είναι συνήθως κυνηγοί.

Η **Νεοτροπική περιοχή** χωρίζεται σε δύο διακριτές υποπεριοχές: την νότια και την κεντρική Αμερική. Η διαφορά των δύο υποπεριοχών εντοπίζεται στο ότι η νότια Αμερική ήταν απομονωμένη από τις υπόλοιπες ηπείρους για μεγάλο χρονικό

διάστημα, ενώ η κεντρική Αμερική σχηματίστηκε νωρίς στην ιστορία της ζωής της Γης. Η νότια Αμερική κατοικείται από περίπου 2600 διαφορετικά είδη ιχθυοπανίδας, με τα περισσότερα είδη υποχρεωτικών ιχθύων γλυκού νερού από κάθε άλλη ήπειρο (Helfman, 2013). Χαρακτηριστικό αυτής την περιοχής είναι η απουσία των ειδών της οικογένειας των κυπρίνων (Cyprinidae), τα οποία κυριαρχούν στις υπόλοιπες ζωογεωγραφικές περιοχές, εκτός από αυτήν της Αυστραλιανής. Σε αντίθεση, σε αυτήν την περιοχή κυριαρχούν τα μέλη της οικογένειας των χαρακιδών (characins) λόγω οικολογικών και μορφολογικών προσαρμογών. Σε αυτήν την περιοχή, η ιχθυοπανίδα προήλθε από πρόγονους ιχθύων της θάλασσας και ιχθύων που μεταναστεύουν. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα συγκλίνουσας εξέλιξης είναι τα ψάρια της τάξης Gymnotiformes της νότιας Αμερικής και τα είδη της τάξης Mormyrids της Αφρικής. Και οι δύο ομάδες τελεόστεων εμφανίζουν τον ίδιο χαρακτήρα, σώμα που παράγει ηλεκτρική ενέργεια, που εξελίχθηκε με ανεξάρτητο τρόπο. Τα ενδημικά είδη είναι πολλά στην περιοχή του Αμαζόνιου αλλά και στην υπόλοιπη περιοχή. Η ιχθυοπανίδα της κεντρικής Αμερικής, η οποία περιλαμβάνει την Κούβα και τις Αντίλλες, εμφανίζει ομοιότητες με αυτήν της βόρειας Αμερικής, αλλά και πολλά μοναδικά χαρακτηριστικά. Η κατανομή αυτής της περιοχής είναι σύνθετη εξαιτίας της γεωλογικής της ιστορίας (Rosen 1975). Σε αυτήν εντοπίζονται περισσότερα ψάρια υποχρεωτικά του γλυκού νερού παρά ευρύαλα (Miller 1966) και αυτά που κυριαρχούν έχουν αναπτύξει προσαρμογές όσον αφορά την αντοχή σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και αλατότητας και το μικρό μέγεθος σώματος. Για παράδειγμα οι κιχλίδες (cichlids) έχουν προσαρμοστεί πλήρως σε λίμνες της κεντρικής Αμερικής, όπως και οι Αφρικανικές κιχλίδες (cichlids) κάτι που υποδηλώνει παρόμοια φαινόμενα ειδογένεσης (Echelle & Kornfield 1984) που προήλθαν με ανεξάρτητο τρόπο.

Η Ανατολική περιοχή αποτελείται από δύο υποπεριοχές: την χερσόνησο της Ινδίας και την νοτιοανατολική Ασία. Αν και υπάρχει αυτός ο διαχωρισμός, οι δύο υποπεριοχές έχουν περισσότερα κοινά είδη από ότι διαφορετικά, και γενικά κυριαρχούν είδη της οικογένειας των Κυπρινοειδών (Ciprinids). Η χερσόνησος της Ινδίας ήταν ένα ανεξάρτητο νησί που ενώθηκε με την ηπειρωτική Ασία πριν 100 εκατομμύρια χρόνια, δημιουργώντας τα Ιμαλάια Όρη. Σύμφωνα με αυτό, θα ήταν αναμενόμενο να υπάρχουν αρχέγονα είδη, κάτι που δεν παρατηρείται λόγω της προηγούμενης ένωσης του με την Αφρική και της εισροής ειδών από την Ασία. Εντοπίζονται περίπου 700 ψάρια υποχρεωτικά του γλυκού νερού (Jayaram 1974) από τα οποία κανένα δεν είναι ενδημικό είδος επιβεβαιώνοντας τις αλληλεπιδράσεις από την Ασία και την Αφρική (Menon 1973). Η νοτιοανατολική Ασία περιέχει τουλάχιστον 1000 είδη αλλά τα πρότυπα κατανομής τους δεν είναι γνωστά (Zakaria-Ismail 1994). Ωστόσο, έχει γίνει ανάλυση των 549 ιχθύων του γλυκού νερού της Ταϊλάνδης (Smith 1945), με κυρίαρχα είδη αυτά της οικογένειας των κυπρινοειδών (Cyprinidae) και λίγους εκπρόσωπους αρχέγονων ειδών. Υψηλός ενδημισμός εντοπίζεται κυρίως κατά μήκος του ποταμού Μεκόνγκ (Zakaria-Ismail 1994). Τα νησιά της νοτιοανατολικής

Ασίας δεν διαχωρίζονταν από αυτήν και δημιουργήθηκαν όταν ανέβηκε η στάθμη της θάλασσας (Myers 1951). Για αυτό η ιχθυοπανίδα των δύο περιοχών είναι παρόμοια.

Η **Παλαιοαρκτική περιοχή** αποτελείται από την Ευρασία, που δεν περιλαμβάνεται στην Ανατολική περιοχή. Οι πληροφορίες που είναι γνωστές για αυτήν προέρχονται από δεδομένα της ιχθυοπανίδας της Σοβιετικής Ένωσης και της Ευρώπης (Berg 1949, Muus 1967). Κυριαρχούν κυρίως ψάρια υποχρεωτικά του γλυκού νερού της οικογένειας των Κυπρινοειδών (Cyprinidae), εντοπίζονται κάποια ανάδρομα και κάποια ευρύαλα. Η νότια Μεσογειακή περιοχή στο παρελθόν αποτελούσε καταφύγιο ειδών και για αυτό έχει υψηλό ενδημισμό. Εντοπίζονται σε αυτήν τουλάχιστον 132 ενδημικά είδη (Crivelli and Maitland 1995).

Η **Νεοαρκτική περιοχή** αποτελείται από την βόρεια Αμερική μέχρι και το νοτιότερο σημείο του οροπεδίου του Μεξικό. Χωρίζεται σε τρεις υποπεριοχές: την περιοχή που βρέχεται από τον Αρκτικό και τον Ατλαντικό ωκεανό, την περιοχή που βρέχεται από τον Ειρηνικό ωκεανό και την περιοχή κοντά στον κόλπο του Μεξικού (Helfman, 2013). Η βόρεια Αμερική έχει τουλάχιστον 950 ψάρια του γλυκού νερού που είναι καλά μελετημένα ως προς την κατανομή τους (Lee et al. 1980, Hocutt and Wiley 1986). Οι δύο βορειότερες περιοχές έχουν 740 ψάρια του γλυκού νερού και η πλειοψηφία αυτών είναι υποχρεωτικά του γλυκού νερού. Η υποπεριοχή που βρέχεται από τον Αρκτικό και τον Ατλαντικό ωκεανό και συγκεκριμένα ο ποταμός Μισισσιπής ήταν καταφύγιο για πολλά είδη και για αυτό έχει πολλά ενδημικά και αρχέγονα είδη. Η υποπεριοχή που βρέχεται από τον Ειρηνικό περιέχει πολύ λιγότερα είδη από την προηγούμενη, λόγω της μικρότερης έκτασης που καταλαμβάνει και της ξηρασίας που υπάρχει σε αυτήν. Αποτελείται από όρη ή από ερήμους με αποτέλεσμα τα είδη που έχει να διαφέρουν πολύ μεταξύ τους ή ακόμη και να είναι ενδημικά (Minkley et al. 1986). Η υποπεριοχή κοντά στον κόλπο του Μεξικό, αποτελεί ενδιάμεση ζώνη που διαχωρίζει την κεντρική από την βόρεια Αμερική. Αυτό, σε συνδυασμό με τις ιδιαίτερες συνθήκες που δημιουργεί το τοπικό της κλίμα, καθιστά άγνωστη την ιχθυοπανίδα της.

Η **Αυστραλιανή περιοχή** αποτελείται από τρεις υποπεριοχές: την Αυστραλία, την Νέα Ζηλανδία και την Νέα Γουινέα. Χαρακτηρίζεται από υψηλό ενδημισμό που όμοιο με αυτόν, δεν εντοπίζεται σε άλλη ήπειρο. Τα αρχέγονα-ενδημικά είδη είναι απόρροια απομόνωσης της ηπείρου για μεγάλο χρονικό διάστημα, λόγω της ξηρασίας. Η υπόλοιπη ιχθυοπανίδα της ηπείρου δημιουργήθηκε σχετικά νωρίς κατά την εξελικτική ιστορία από διάδρομα ψάρια και ψάρια του αλμυρού νερού (Helfman, 2013). Ο υψηλότερος ενδημισμός εμφανίζεται στην Αυστραλία, ενώ υπάρχουν σε αυτήν κάποια είδη που εντοπίζονται και στην Νέα Γουινέα (Allen 1989). Η ιχθυοπανίδα της Νέας Ζηλανδίας αποτελείται αποκλειστικά από διάδρομα ή ψάρια του αλμυρού νερού (McDowall 1978). Σε αυτό συμβάλει η μακρά απομόνωση του νησιού από την υπόλοιπη ηπειρωτική Αυστραλία και τα ακραία γεωλογικά φαινόμενα

που λαμβάνουν τόπο σε αυτό. Η ιχθυοπανίδα της Νέας Γουινέας είναι πολύ όμοια με αυτήν της Αυστραλίας υποδηλώνοντας ότι ο διαχωρισμός των δύο περιοχών έγινε πρόσφατα στην ιστορία της ζωής της Γης. Το νησί χωρίζεται από μία οροσειρά με αποτέλεσμα το νότιο τμήμα του να έχει όμοια είδη με την Αυστραλία, ενώ το βόρειο χαρακτηρίζεται από την δική του ποικιλότητα ειδών.

1.2.2 Γεωγραφική κατανομή των ιχθύων του αλμυρού νερού

Η ζωογεωγραφία των ιχθύων του αλμυρού νερού είναι λιγότερο κατανοητή από αυτήν των ιχθύων του γλυκού. Ο αριθμός των ιχθύων είναι μεγαλύτερος και κατανεμημένος σε μία μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή, ενώ τυχόν φραγμοί στην μετανάστευση των ειδών δεν είναι εύκολα κατανοητοί (Peter & Cech, n.d.). Συνεπώς, τα όρια μεταξύ των ζωογεωγραφικών περιοχών δεν είναι ποτέ απόλυτα. Συνήθως, τα πρότυπα κατανομής σχετίζονται με ωκεανογραφικά στοιχεία και την θέση των ηπείρων (Rosen 1975b and Springer 1982).

Κατανομή των ιχθύων στις υφαλοκρηπίδες

Η κατανομή των ιχθύων στις υφαλοκρηπίδες σχετίζεται με την παρουσία ηπειρωτικών περιοχών γύρω από τις οποίες σχηματίζονται οι υφαλοκρηπίδες αλλά και με την θερμοκρασία και τα ωκεάνια ρεύματα. Σύμφωνα με την θερμοκρασία, οι υφαλοκρηπίδες μπορούν να χωριστούν σε 5 περιοχές: την τροπική, την βόρεια και νότια εύκρατη και τις δύο πολικές περιοχές (Helfman, 2013).

Τροπικές περιοχές

Περίπου το 40% των ιχθύων, εντοπίζονται στα ρηχά νερά των τροπικών περιοχών και τα περισσότερα από αυτά ζουν σε κοραλλιογενείς υφάλους. Στις τροπικές περιοχές περιλαμβάνονται: η περιοχή του Ινδικού-Ειρηνικού ωκεανού (Indo-Pacific region), η περιοχή του ανατολικού Ειρηνικού (Eastern Pacific region), η περιοχή του δυτικού Ατλαντικού (Western Atlantic region), η περιοχή του ανατολικού Ατλαντικού (Eastern Atlantic region) (Peter & Cech, n.d.). Οι περιοχές αυτές χωρίζονται μεταξύ τους από τις ηπείρους ή από μεγάλες εκτάσεις θάλασσας.

Η περιοχή του Ινδικού-Ειρηνικού ωκεανού (Indo-Pacific region) έχει την πιο μεγάλη ποικιλότητα ειδών σε σχέση με τις υπόλοιπες (Helfman, 2013). Αυτό, οφείλεται πιθανόν στο μεγάλο μέγεθος της περιοχής και στις ευκαιρίες για ειδογένεση που προσφέρει (Ekman 1953, Briggs 1974). Ωστόσο, εντοπίζονται λίγα ενδημικά είδη και πολλά είδη με ευρεία κατανομή μέσα στην αυτήν. Τα ενδημικά προέρχονται από απομονωμένα ωκεάνια νησιά, και η ευρεία κατανομή κάποιων άλλων σχετίζεται με την τεκτονική πλάκα και την κίνηση της (Springer 1982). Η συγκεκριμένη περιοχή είναι πολύ μεγάλη και τα είδη που ζουν σε απομακρυσμένες περιοχές μέσα σε αυτήν, είναι πολύ διαφορετικά.

Η περιοχή του ανατολικού Ειρηνικού (Eastern Pacific region) περιλαμβάνει την περιοχή του Παναμά, τα νότια όρια της καθορίζονται από το ρεύμα κρύου νερού από την Ανταρκτική και τα βόρεια δεν απόλυτα καθορισμένα. Αυτή η περιοχή διαχωρίζεται από την περιοχή του Ινδικού-Ατλαντικού ωκεανού από βαθιά ύδατα και από την περιοχή του δυτικού Ατλαντικού από τον ισθμό του Παναμά. Τα νησιά Γκαλαμπάκος ανήκουν σε αυτήν την περιοχή, κι όπως είναι αναμενόμενο εκεί εντοπίζονται πολλά ενδημικά είδη και γενικά πλούσια ιχθυοπανίδα (Walker 1966).

Η περιοχή του δυτικού Ατλαντικού (Western Atlantic region) περιλαμβάνει την Καραϊβική και τον κόλπο του Μεξικού, μέχρι την ακτή του Κάμπο Φρίο και την άκρη της Φλόριντα. Έχει πλούσια ιχθυοπανίδα σχετική με του κοραλλιογενείς υφάλους, η οποία συναντάται και σε άλλες περιοχές. Τα νησιά των Βερμούδων, έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί είναι το βορειότερο μέρος στο οποίο συναντώνται τροπικά ψάρια. Ακόμη, στις ακτές της Βραζιλίας τα ψάρια που σχετίζονται με τους κοραλλιογενείς υφάλους, εμφανίζονται σποραδικά γιατί η αλατότητα είναι μειωμένη λόγω εκροών ποταμών (Briggs, 1974).

Η περιοχή του ανατολικού Ατλαντικού (Eastern Atlantic region) είναι η μικρότερη και η πιο απομονωμένη περιοχή από τις τροπικές και περιέχει λίγα είδη (Helfman, 2013). Η απουσία κοραλλιογενών υφάλων, θα μπορούσε να εξηγήσει την έλλειψη ειδών. Περιλαμβάνει τις δυτικές ακτές της Αφρικής, από τα νησιά του Πράσινου Ακρωτηρίου, μέχρι την Ανγκόλα και επιπλέον το νησί της Αγίας Ελένης και την νήσο της Αναλήψεως. Από τα 434 είδη που περιέχει (Briggs 1974), τα 120 εντοπίζονται και στην περιοχή του δυτικού Ατλαντικού κάτι που πιθανόν οφείλεται στον διαχωρισμό των ηπείρων της Αμερικής και της Αφρικής, και στην σταδιακή απομάκρυνση τους.

Βόρειες εύκρατες περιοχές

Τα όρια των βόρειων εύκρατων περιοχών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα θερμά ωκεάνια ρεύματα (Peter & Cech, n.d.). Σε αυτές, περιλαμβάνονται η περιοχή της Μεσογείου και του Ατλαντικού (Mediterranean-Atlantic region), η περιοχή της βόρειας Αμερικής του Ατλαντικού (North American Atlantic region), η περιοχή της βόρειας Αμερικής του Ειρηνικού (North American Pacific region) και η περιοχή της Ασίας του Ειρηνικού ωκεανού (Asian-Pacific region).

Η περιοχή της Μεσογείου και του Ατλαντικού (Mediterranean-Atlantic region) περιλαμβάνει τις Ευρωπαϊκές ακτές και τις ακτές της βόρειας Αφρικής που βρέχονται από τον Ατλαντικό, την Μεσόγειο, την Μαύρη και την Κασπία θάλασσα (Peter & Cech, n.d.). Η βόρεια Ευρώπη γειτονεύει με την Αρκτική περιοχή και το αναμενόμενο θα ήταν να έχει ψάρια που μπορούν να επιβιώσουν στο κρύο νερό. Ωστόσο, δέχεται το ζεστό ρεύμα του κόλπου του Μεξικού και η ιχθυοπανίδα αποτελείται κυρίως από είδη των ζεστών νερών και λιγότερο από είδη των κρύων. Ορισμένα μέλη κάποιων οικογενειών είναι ενδημικά της περιοχής, ενώ κάποια άλλα είδη εντοπίζονται και στην

Αρκτική και στην περιοχή της βόρειας Αμερικής του Ατλαντικού. Η Μεσόγειος θάλασσα, παρά την γεωγραφική της απομόνωση, περιέχει είδη που διαφέρουν ελάχιστα από τα αντίστοιχα που εντοπίζονται στις βόρειες ακτές της Αφρικής και στις ακτές της νότιας Ευρώπης. Ακόμη, είδη τα οποία έχουν μεταναστεύσει από την Ερυθρά θάλασσα, είναι τροπικά και διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από αυτά που βρίσκονται στην υπόλοιπη Μεσόγειο. Η Μαύρη και η Κασπία θάλασσα συνδέονται ελάχιστα με την Μεσόγειο, σε επίπεδο ειδών, λόγω μειωμένης αλατότητας. Στην Βαλτική θάλασσα η αλατότητα αυξάνεται στις νοτιότερες περιοχές και αυτό, σε συνδυασμό με τα ρηχά νερά και το μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, προάγει την ποικιλομορφία της ιχθυοπανίδας της Βαλτικής (Ojaveer et al., 2010).

Η περιοχή της βόρειας Αμερικής του Ατλαντικού (North American Atlantic region) αποτελείται από τις ακτές της Βόρειας Αμερικής που βρέχονται από τον Ατλαντικό και το βόρειο τμήμα του κόλπου του Μεξικού. Πιο συχνά, χρησιμοποιείται ως όριο η περιοχή της βόρειας Καρολίνα, γιατί το θερμό ρεύμα του κόλπου του Μεξικού, τείνει να απομακρύνεται από εκεί και έτσι τα κρύα νερά από τον βορρά να επηρεάζουν την θερμοκρασία. Ωστόσο, κατά την διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου, η θερμοκρασία των νερών στις πιο νότιες περιοχές είναι υψηλή, κάτι που επιτρέπει την είσοδο ψαριών από την τροπική ζώνη, ενώ τον χειμώνα κυριαρχούν ψάρια των βόρειων περιοχών. Γενικά, ο αριθμός των ειδών της περιοχής, μειώνεται προς τον βορρά. Εντοπίζονται περίπου 350 είδη στην νότια Καρολίνα αλλά μόνο 35 στην Γροιλανδία (Briggs 1974).

Η περιοχή της βόρειας Αμερικής του Ειρηνικού (North American Pacific region) εκτείνεται από την Κάτω Καλιφόρνια μέχρι τις Αλεούτιες νήσους (Peter & Cech, n.d.). Και σε αυτήν την περιοχή, εντοπίζονται τροπικά ψάρια στα νότια, μίξη τροπικών και εύκρατων ψαριών στις βόρειες περιοχές και εύκρατα ψάρια στις βορειότερες. Η περιοχή είναι ιδιαίτερα πλούσια σε ιχθυοπανίδα και η κατανομή των ειδών εξαρτάται άμεσα από τα ρεύματα. Χρονιές στις οποίες το ρεύμα του κόλπου της Καλιφόρνιας δεν ήταν ισχυρό, η κατανομή των ψαριών από τις βόρειες περιοχές είναι ευρύτερη. Η περιοχή της Καλιφόρνιας γενικά περιέχει είδη με μεγάλη ποικιλομορφία που εντοπίζονται σε λίγες ακόμη περιοχές.

Η περιοχή της Ασίας του Ειρηνικού ωκεανού (Asian-Pacific region) εκτείνεται από το Χονγκ Κονγκ μέχρι την χερσόνησο της Καμτσάτκας (Peter & Cech, n.d.). Τα όρια της είναι αυθαίρετα καθώς το ρεύμα του κόλπου του Κουροσίβο συμπαρασύρει είδη της περιοχής του Ινδικού-Ατλαντικού ωκεανού μέχρι και την νήσο Χοκκάιντο. Το Χονγκ Κονγκ περιέχει είδη των εύκρατων ζωνών, ενώ η Κίνα και η νότια Ιαπωνία κυρίως είδη των τροπικών ζωνών. Μάλιστα, λίγα είδη της νότιας Ιαπωνίας είναι ενδημικά και ακόμη λιγότερα εντοπίζονται και στην βόρεια Ιαπωνία (Kamohara 1964). Η Κίτρινη θάλασσα περιέχει χαρακτηριστικά είδη των βορειότερων περιοχών, καθώς δεν δέχεται την επιρροή του ρεύματος του Κουροσίβο. Τα βόρεια σύνορα της περιοχής

είναι καλύτερα καθορισμένα καθώς οι αρκτικές θερμοκρασίες δεν ευνοούν την ανάπτυξη πολλών ειδών.

Αρκτική περιοχή

Η Αρκτική περιοχή περιλαμβάνει τον Αρκτικό ωκεανό, τα νερά γύρω από την Γροιλανδία και την Βερίγγειο θάλασσα (Peter & Cech, n.d.). Εντοπίζονται λίγα είδη που ζουν εκεί σε μόνιμη βάση και περισσότερα που μπορούν να επιβιώσουν σε πολικές θερμοκρασίες. Ακόμη, τα είδη αυτής της περιοχής συνδέονται με τον Ατλαντικό ή τον Ειρηνικό ωκεανό αλλά εντοπίζονται κατά μήκος όλου του βόρειου πόλου.

Νότιες εύκρατες περιοχές

Οι νότιες εύκρατες περιοχές χωρίζονται σε 3 υποπεριοχές: νότια Αμερική, νότια Αφρική και την Αυστραλιανή. Ο Briggs (1974) διαχώρισε τις 3 υποπεριοχές με βάση την διαφορετική ιχθυοπανίδα στις ακτές της εκάστοτε περιοχής.

Η περιοχή της νότιας Αμερικής εκτείνεται από το Περού και την άκρη της νότιας Αμερικής μέχρι το Ρίο ντε Τζανέιρο της Βραζιλίας. Και σε αυτήν την περιοχή, εντοπίζονται τροπικά ψάρια στα νότια και πολικά στην άκρη της νότιας Αμερικής. Επιπλέον, εμφανίζονται όμοια είδη με αυτά των βόρειων εύκρατων περιοχών. Στην άκρη της νότιας Αμερικής, πολλά είδη είναι ενδημικά και φέρουν ομοιότητες με την ιχθυοπανίδα της Ανταρκτικής. Η περιοχή της νότιας Αφρικής δέχεται πολλά θερμά ρεύματα με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ψάρια που προτιμούν το κρύο νερό όπως αυτά την νότιας Αμερικής. Τα περισσότερα, λοιπόν, ανήκουν σε οικογένειες τροπικών ψαριών με ευρεία κατανομή, αλλά εμφανίζονται και κάποια ενδημικά. Κάτι αξιοσημείωτο είναι ότι αυτή η περιοχή μοιράζεται κάποιες οικογένειες ειδών με την Αυστραλιανή περιοχή, κάτι που ίσως υποδηλώνει τον τρόπο διαχωρισμού των ηπείρων.

Η Αυστραλιανή περιοχή κατοικείται από ψάρια των εύκρατων ζωνών, τα οποία φέρουν ταυτόχρονα τροπικά στοιχεία. Το βόρειο τμήμα του νησιού εκτίθεται σε θερμά ρεύματα του Ειρηνικού και της Ινδίας και κυριαρχούν είδη με τροπικά στοιχεία, ενώ στην Τασμανία και στην Νέα Ζηλανδία τα τροπικά στοιχεία των ειδών εξαφανίζονται και αντικαθίστανται με στοιχεία πολικών. Συμβαίνει, λοιπόν, ο διαχωρισμός της Αυστραλίας σε δύο τμήματα ανάλογα με την θερμοκρασία των νερών. Στο βόρειο τμήμα της Αυστραλίας εντοπίζονται 253 είδη, από τα οποία τα περισσότερα είναι χαρακτηριστικά της περιοχής και κάποια ενδημικά. Ωστόσο, υπάρχουν και κάποια κοινά που εμφανίζονται σε όλη την Αυστραλιανή περιοχή.

Ανταρκτική περιοχή

Η περιοχή της Ανταρκτικής αποτελεί την πιο απομονωμένη περιοχή λόγω της σταθερότητας των συνθηκών που παρέχει. Τα περισσότερα είδη είναι ενδημικά ή

ανήκουν σε συγκεκριμένες οικογένειες και μόνο δύο από αυτά εντοπίζονται και στην Αρκτική περιοχή (Helfman, 2013). Επιπλέον, σε αντίθεση με την Αρκτική, τα ψάρια της Ανταρκτικής, κατά κανόνα, δεν προέρχονται από τις γύρω περιοχές.

Πελαγικές περιοχές

Οι πελαγικές ζώνες αποτελούν μια εκτεταμένη περιοχή του ανοιχτού ωκεανού. Οι ωκεανοί του κόσμου χωρίζονται σε πέντε κύριες πελαγικές ζώνες, καθεμιά από τις οποίες χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο βάθος (*Ingman Marine / "Understanding the Pelagic Zone" Blog Article*, n.d.). Η επιπελαγική ζώνη, η οποία εκτείνεται από την επιφάνεια του ωκεανού έως τα 200 μέτρα βάθος, είναι η πιο φωτεινή και πλούσια σε βιοποικιλότητα, λόγω της διείσδυσης του ηλίου σε αυτήν. Η μεσοπελαγική ζώνη, που κυμαίνεται από τα 200 έως τα 1.000 μέτρα βάθος, είναι η ζώνη όπου το φως αρχίζει να μειώνεται σημαντικά και εμφανίζονται οι πρώτες μεγάλες αλλαγές στις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Στη βαθύπελαγική ζώνη, που εκτείνεται από τα 1.000 έως τα 4.000 μέτρα βάθος, το φως είναι ανύπαρκτο και η θερμοκρασία του νερού πέφτει αισθητά. Ακολουθεί η αβυσσοπελαγική ζώνη, η οποία κυμαίνεται από τα 4.000 έως τα 6.000 μέτρα βάθος και χαρακτηρίζεται από ακραίες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, με ελάχιστη παρουσία ζωής. Τέλος, η ζώνη των τάφρων, η πιο βαθιά από όλες, βρίσκεται σε βάθη που υπερβαίνουν τα 6.000 μέτρα, όπου η πίεση είναι τεράστια και η θερμοκρασία σχεδόν στους 0 °C.

Σε κάθε μία από αυτές τις πελαγικές ζώνες επικρατούν διαφορετικές συνθήκες πίεσης, αλατότητας, οξυγόνου και θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία, ιδιαίτερα, μειώνεται δραματικά όσο αυξάνεται το βάθος, δημιουργώντας ένα περιβάλλον όπου μόνο τα πιο προσαρμοσμένα είδη μπορούν να επιβιώσουν. Αυτές οι ζώνες διαφοροποιούνται ως προς τα είδη που φιλοξενούν, συμβάλλοντας έτσι στη μεγάλη ποικιλία και πολυπλοκότητα των ειδών.

Περιοχές μεγάλου βάθους (deepsea)

Σε περιοχές με μεγάλα βάθη εντοπίζονται δύο κύριες ομάδες ψαριών: τα βαθυπελαγικά και τα βενθικά (Helfman, 2013). Τα βαθυπελαγικά ψάρια ζουν μακριά από τον βυθό, ενώ τα βενθικά ζουν στον πυθμένα των θαλασσών και των ωκεανών. Αυτά τα ψάρια απαντώνται κυρίως στις τροπικές και υποτροπικές ζώνες του πλανήτη, συνήθως κοντά σε ηπειρωτικούς όγκους όπου οι συνθήκες είναι πιο σταθερές και ευνοϊκές για την επιβίωσή και την αναπαραγωγή τους. Αν και ορισμένα από αυτά τα είδη έχουν ευρεία γεωγραφική κατανομή, τα περισσότερα περιορίζονται σε συγκεκριμένες "λεκάνες" ή υποθαλάσσιες περιοχές. Σε αυτές τις λεκάνες, οι συνθήκες αλατότητας, θερμοκρασίας και διαλυτού οξυγόνου παραμένουν σχετικά σταθερές, παρέχοντας ένα ιδανικό περιβάλλον. Αυτή η σταθερότητα επιτρέπει την ανάπτυξη εξειδικευμένων οικοσυστημάτων, όπου τα είδη αυτά μπορούν να ευδοκιμήσουν χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις στις περιβαλλοντικές συνθήκες.

1.3 Πεπτικό Σύστημα

Το πεπτικό σύστημα των ιχθύων είναι σχετικά απλό σε σύγκριση με άλλα σπονδυλωτά (Moraes & De Almeida, 2020). Αποτελείται από έναν πεπτικό σωλήνα χωρίς αυστηρή διαμερισματοποίηση, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται μεταβατικές ζώνες όπου επικρατούν μεταβατικές συνθήκες. Στα ψάρια, παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στη μορφολογία του πεπτικού σωλήνα, οι οποίες αντανακλούν τις προσαρμογές τους στο περιβάλλον και στη διατροφή τους. Για παράδειγμα, τα φυτοφάγα ψάρια συχνά διαθέτουν μακρύτερο έντερο σε σύγκριση με τα σαρκοφάγα, προκειμένου να διευκολύνεται η πέψη και η απορρόφηση των φυτικών ινών (Digital, 2022). Αντίστοιχα, τα σαρκοφάγα ψάρια μπορεί να έχουν πιο κοντό έντερο και ισχυρότερο πεπτικό σύστημα για την πέψη των ζωικών πρωτεϊνών. Οι διάφορες προσαρμογές αντικατοπτρίζονται στο γονιδιακό προφίλ των ψαριών. Γονίδια που ρυθμίζουν τη λειτουργία και την ανάπτυξη των πεπτικών οργάνων μπορούν να διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ διαφορετικών ειδών ψαριών, αντανακλώντας τις εξελικτικές τους πιέσεις.

Η διαδικασία της πέψης είναι μια συντονισμένη αλληλουχία φυσικών, χημικών και ενζυμικών δράσεων που ξεκινά όταν η τροφή εισέρχεται στη στοματική κοιλότητα και τελειώνει με την αποβολή των άχρηστων ουσιών από το πίσω άνοιγμα του εντέρου (Kohlmeier, 2015). Οι φυσικές διαδικασίες της πέψης περιλαμβάνουν τη μάσηση, το τρίψιμο και την ανάμιξη της τροφής (Baldisserotto et al., 2019). Η έκκριση οξέος στο στομάχι αποτελεί χημική διαδικασία που βοηθά στη διάσπαση των χημικών δεσμών μέσω της υδρόλυσης. Η ενζυμική πέψη στον πυλωρό και στο έντερο επικεντρώνεται στη διάσπαση των μορίων πρωτεϊνών, λιπών και υδατανθράκων, βασιζόμενη σε πληθώρα ενζύμων.

Μηχανική πέψη στους ιχθύς

Η μηχανική επεξεργασία της τροφής ξεκινά στο στόμα, όπου η τροφή τεμαχίζεται και θρυμματίζεται με τη βοήθεια των δοντιών, των παρειών και της γλώσσας. Όταν η τροφή φτάσει στο στομάχι, οι ισχυροί μύες και το υδροχλωρικό οξύ συμβάλλουν στη σύνθλιψη των συστατικών και στη διάσπαση των δύσπεπτων σωματιδίων. Οι περισταλτικές κινήσεις του κατώτερου πεπτικού συστήματος μεταφέρουν και αναμειγνύουν τα συστατικά της τροφής κατά μήκος του πεπτικού σωλήνα έως την έξοδο (Kohlmeier, 2015).

Ενζυμική πέψη στους ιχθύς

Η ενζυμική πέψη αρχίζει στο στομάχι με τη δράση των πεψινών σε όξινο περιβάλλον (Kohlmeier, 2015). Οι γαστρικοί αδένες εκκρίνουν υδροχλωρικό οξύ και πρωτεολυτικά ένζυμα (πεψινογόνα, χιτινάση) ως απάντηση στην παρουσία τροφής στο στομάχι. Το μεγαλύτερο μέρος της ενζυμικής πέψης πραγματοποιείται καθώς η τροφή περνά από τα πυλωρικά τυφλά και διασχίζει τον εντερικό αυλό. Τα ένζυμα που συμμετέχουν σε

αυτή τη διαδικασία προέρχονται κυρίως από το πάγκρεας, τα εκκριτικά κύτταρα του εντερικού επιθηλίου και την εντερική χλωρίδα (Nutrient Metabolism, n.d.-b). Τα παγκρεατικά κύτταρα παίζουν σημαντικό ρόλο στην πεπτική διαδικασία των ψαριών, καθώς παράγουν μια πληθώρα ενζύμων απαραίτητων για την πέψη. Αυτά περιλαμβάνουν πρωτεολυτικά ένζυμα όπως θρυψίνη, χυμοθρυψίνη και καρβοξυπεπτιδάσες, καθώς και αμυλάσες, λιπάσες και χιτινάσες, που εμπλέκονται στη διάσπαση πρωτεϊνών, υδατανθράκων, λιπών και χιτίνης αντίστοιχα. Οι παγκρεατικές εκκρίσεις περιέχουν επίσης δικαρβονικά ιόντα που, σε συνεργασία με τα χολικά υγρά, εξουδετερώνουν τα οξέα που προέρχονται από το στομάχι. Η διάσπαση της τροφής ολοκληρώνεται με τη δράση των πεπτικών ενζύμων που εκκρίνονται από το εντερικό επιθήλιο και συγκεντρώνονται κυρίως στην περιοχή των λαχνών, παράγοντας τα τελικά προϊόντα της πέψης που απορροφώνται και μεταφέρονται στην κυκλοφορία του αίματος μέσω των εντεροκυττάρων. Τα πεπτικά ένζυμα των ιχθύων φαίνονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Κύρια πεπτικά ένζυμα των ιχθύων, τα αντίστοιχα πρόδρομα μόρια φαίνονται σε παρένθεση (Bakke et al., 2010)

Περιοχή σύνθεσης	Ένζυμο
Στομάχι	Πεψίνη (Πεψινογόνο)
Πάγκρεας	Θρυψίνη (Θρυψινογόνο)
	Χυμοθρυψίνη (Χυμοθρυψινογόνο)
	Ελαστάση (Προελαστάση)
	Καρβοξυπεπτιδάση A (Προκαρβοξυπεπτιδάση A)
	Καρβοξυπεπτιδάση B (Προκαρβοξυπεπτιδάση B)
	Συνλιπάση (Προσυνλιπάση)
	Παγκρεατική λιπάση
	Παγκρεατική α-αμυλάση
	Ριβονουκλεάση
	Δεοξυριβονουκλεάση
	Φωσφολιπάση A (Προφωσφολιπάση A)
	Εντεροκινάση
Λεπτό έντερο	Αμινοπεπτιδάση
	Διπεπτιδάση
	Γλυκοαμυλάση
Εντερικό επιθήλιο	Διάφορες πεπτιδάσες

1.4 Δευτερογενής απώλεια του στομαχιού

Το στομάχι αποτελεί εξελικτική καινοτομία στην γενεαλογία των γναθόστομων σπονδυλωτών, καθώς έχει λειτουργικό ρόλο στην όξινη πέψη. Αυτή η λειτουργία οφείλεται στην παρουσία των γαστρικών αδένων του στομαχιού, οι οποίοι εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στη γενεαλογία των γναθόστομων περίπου 423 MYA

(Pfeifer Louis, 2020). Τα κύτταρα των γαστρικών αδένων των ψαριών εκκρίνουν υδροχλωρικό οξύ (HCl) μέσω της γαστρικής αντλίας πρωτονίων και πεψινογόνα, πρόδρομα μόρια καταλυτικών ενζύμων, τα οποία ενεργοποιούνται από τα οξέα του στομάχου. Μόλις ενεργοποιηθούν συμβάλουν στην αποικοδόμηση πρωτεϊνών της τροφής, μετατρέποντας αυτές σε εύπεπτα πεπτίδια. Η έκκριση του οξέος και πεπτικών ενζύμων επηρεάζεται από την θερμοκρασία. Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η έκκριση η οποία συμβάλει στην τριτοταγή και τεταρτοταγή διαμόρφωση των ενζύμων.

Το όξινο περιβάλλον του στομάχου και η έκκριση των πεψινογόνων διευρύνει τις αξιοποιήσιμες πηγές πρωτεϊνών. Επιπλέον, το όξινο περιβάλλον προσδίδει αρκετά πλεονεκτήματα (Castro et al., 2014) όπως η διάσπαση των εξωσκελετών ασπόνδυλων, η βελτιωμένη απορρόφηση ασβεστίου και φωσφόρου μέσω της διατροφής και η προστασία του εντέρου από την είσοδο παθογόνων.

Η αντλία πρωτονίων, είναι ετεροδιμερής πρωτεΐνη που αποτελείται από δύο υπομονάδες, την α υπομονάδα (ATP4A γονίδιο) και την β υπομονάδα (ATP4B γονίδιο) αντίστοιχα. Τα πεψινογόνα περιλαμβάνουν το πεψινογόνο A που κωδικοποιείται από το PGA γονίδιο, το πεψινογόνο B (PGB), το πεψινογόνο F (PGF), την πεψινογόνο C (PGC) και την προχυμοσίνη (CYM). Ωστόσο, μόνο το πεψινογόνο A, το πεψινογόνο C και η προχυμοσίνη είναι πεπτικά ένζυμα, και παρατηρείται σε αυτά διαφορετική υδρολυτική εξειδίκευση.

Παρά την πληθώρα πλεονεκτημάτων που παρέχει η ύπαρξη στομάχου, το στομάχι έχει χαθεί δευτερογενώς πολλές φορές ανεξάρτητα κατά την εξελικτική ιστορία των γναθόστομων (Wilson & Castro 2010). Ο ζωολόγος Georges Cuvier (1805) ήταν ο πρώτος που παρατήρησε ότι ορισμένες οικογένειες τελεόστων, όπως οι Cyprinidae και Labridae, δεν έχουν στομάχι. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, το στομάχι έχει χαθεί ανεξάρτητα 15 φορές κατά την εξελικτική ιστορία των ειδών και περίπου το 20-27% των Τελεόστων δεν έχουν στομάχι (Wilson & Castro, 2010). Ωστόσο, αυτός ο φαινότυπος δεν είναι μοναδικός για την γενεαλογία των Τελεόστων, αλλά έχει παρατηρηθεί σε χονδρυϊχθύες (chimearas), δίπνευστους και κάποια θηλαστικά (Castro et al., 2013). Οι τελεόστεοι, ωστόσο, αντιπροσωπεύουν μία γενεαλογία στην οποία έχουν γίνει πολλαπλά ανεξάρτητα γεγονότα απώλειας του στομάχου.

Το 2013 δημοσιεύτηκε μία εργασία, σύμφωνα με την οποία υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του γαστρικού φαινότυπου και της ύπαρξης μιας σειράς γονιδίων (Castro et al. 2013). Πιο αναλυτικά, υποστηρίζεται ότι τα γονίδια που κωδικοποιούν για την αντλία πρωτονίων (ATP4A, ATP4B) και για τα πεπτικά πεψινογόνα (PGA, PGC, CYM) εντοπίζονται μόνο στα είδη που έχουν στομάχι. Έτσι, η ταυτοποίηση αυτών των γονιδίων σε ένα είδος θα μπορούσε να βοηθήσει στη διάκριση του γαστρικού φαινοτύπου. Ωστόσο, σε αυτήν την μελέτη, αποδείχτηκε, ότι στο *fugu* (*Takifugu*

rubripes), ένα είδος χωρίς όξινη πέψη, τα πεψινογόνα έχουν διατηρηθεί για να επιτελούν μη πεπτικές λειτουργίες.

Στην περίπτωση που χαθούν τα πεψινογόνα, δεν απαιτείται πλέον το όξινο περιβάλλον του στομάχου με αποτέλεσμα την απώλεια λειτουργίας του. Σε μία άλλη περίπτωση, εάν τα γονίδια που κωδικοποιούν για την αντλία πρωτονίων συσσωρεύσουν μεταλλάξεις και μετατραπούν σε ψευδογονίδια, τότε πιθανόν θα αφανιστούν και τα γονίδια που κωδικοποιούν για τα πεψινογόνα. Τέλος, εάν, το είδους ακολουθεί μια διατροφή πλούσια σε ασβέστιο ή μια διατροφή βασισμένη σε εύπεπτα συστατικά, τότε στο όξινο περιβάλλον του στόμαχου δεν ασκείται η ίδια πίεση, ώστε να συνεχίσει να υπάρχει (Castro et al., 2013).

1.5 Πεπτική χιτινάση (AMCase ή CHIA)

Η χιτίνη είναι ένας δομικός πολυσακχαρίτης άφθονος στην φύση. Είναι το κύριο δομικό συστατικό των εξωσκελετών των αρθρόποδων, των καρκινοειδών, των μεμβρανών των βακτηρίων και των μυκήτων. Επίσης, βρίσκονται σε μεγάλο ποσοστό και στα κυτταρικά τοιχώματα φυτικών κυττάρων. Το γονίδιο *CHIA* ή *AMCase* (Acidic Mammalian Chitinase) κωδικοποιεί για ένα εκκριτικό ένζυμο το οποίο αποτελείται από 476 κατάλοιπα αμινοξέων και είναι 50kDa, την **όξινη χιτινάση των θηλαστικών** (Kumar & Zhang, 2019). Πρόκειται για ένζυμο που λειτουργεί ως ενδοχιτινάση και καταλύει την υδρόλυση χιτίνης από το εσωτερικό των αλυσίδων. Ανήκει στην οικογένεια των γλυκοσυλ-υδρολασών GH18 μαζί με άλλα ένζυμα υδρόλυσης χιτίνης από βακτήρια, μύκητες, ιούς, ζώα και μερικές χιτινάσες από φυτά. Εκφράζεται κυρίως στο στομάχι και στο γαστρεντερικό σωλήνα, γεγονός που υποδηλώνει τον ρόλο της στην πέψη. Ωστόσο, έχει ανιχνευθεί και σε άλλους ιστούς όπου συμβάλλει στην άμυνα του οργανισμού. Το ένζυμο είναι ανθεκτικό στην αποικοδόμηση από άλλα πεπτικά ένζυμα του στομάχου και το υδροχλωρικό οξύ που εκκρίνεται εκεί, προάγει την ενεργοποίησή του. Επιπλέον, ανάλυση της δραστηριότητας της χιτινάσης σε άτομα από διαφορετικές περιοχές δείχνει ότι η έλλειψη χιτίνης στη διατροφή μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της δραστηριότητας του ενζύμου της πεπτικής χιτινάσης (Paoletti M. G. et al. 2007). Επομένως, η υψηλή δραστηριότητα του ενζύμου μπορεί να σχετίζεται με τις ανθρώπινες διατροφικές συνήθειες, αλλά αυτή η υπόθεση δεν έχει επιβεβαιωθεί.

Στον άνθρωπο, η AMCase είναι μέλος μιας οικογένειας πρωτεϊνών, οι οποίες εμφανίζουν ομολογία μεταξύ τους. Οι πρωτεΐνες αυτές είναι η χιτοτριοσιδάση (CHIT1), η πρωτεΐνη του χόνδρου 39 (CHI3L1), η πρωτεΐνη χονδροκυττάρων 39 (CHI3L2) και η πρωτεΐνη των ωοθηκών 1 (OVGP1) (Kumar & Zhang, 2019). Ωστόσο, μόνο οι AMCase και CHIT1 αναγνωρίζονται ως αληθινές χιτινάσες καθώς είναι οι μόνες που διαθέτουν το καταλυτικό κέντρο υδρόλυσης χιτίνης (DXDXDWE), ενώ οι υπόλοιπες είναι καταλυτικά ανενεργές λόγω των μεταλλάξεων (Olland et al., 2008, Yang & Fukamizo, 2019). Η AMCase εμφανίζει υψηλή ομοιότητα με την CHIT1 και

διαφέρουν μεταξύ τους μόνο ως προς την ενζυμική τους συμπεριφορά σε όξινο pH (Olland et al., 2008). Το γονίδιο *AMCase* και το γονίδιο *CHIT1* βρίσκονται στο χρωμόσωμα 1 και σε συνδυασμό με την ομοιότητα και την διατήρηση των ιντρονίων υποστηρίζεται ότι αυτά τα γονίδια μπορεί να έχουν προκύψει μέσω διπλασιασμού γονιδίων που έλαβε χώρα κατά την εμφάνιση της γνάθου (Kumar & Zhang, 2019). Η *AMCase* είναι εξαιρετικά σταθερή σε όξινο pH και εμφανίζει βέλτιστη δραστηριότητα σε pH 2. Η *CHIT1*, από την άλλη πλευρά, δείχνει ένα βέλτιστο pH 5, ενώ είναι ανενεργή σε χαμηλότερο από αυτό. Για αυτό τον λόγο, παρατηρούνται δισουλφιδικοί δεσμοί τόσο στην *AMCase*, όσο και στην *CHIT1* (Cys-26 και Cys-51, Cys-307 και Cys-372), αλλά λόγω της σταθερότητας της *AMCase* σε πιο όξινο pH, εντοπίζεται σε αυτήν ένα επιπλέον ζεύγος κυστεϊνών (Cys49-Cys394). Όσον αφορά την θερμοκρασία η πεπτική χιτινάση έχει ένα μεγάλο εύρος αντοχής περίπου 30-70°C.

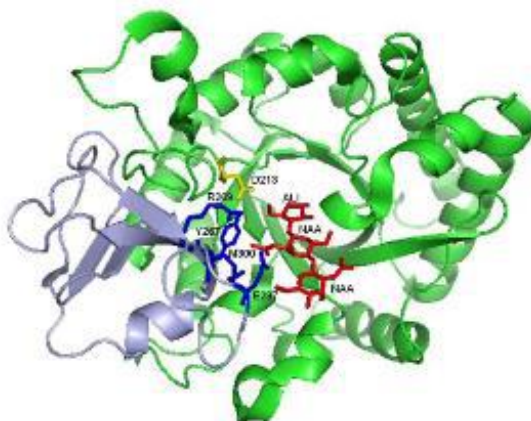
Η πεπτική χιτινάση αποτελείται από μία περιοχή υδρόλυσης της χιτίνης στο αμινοτελικό άκρο (catalytic domain, CatD ή CH18) και μία περιοχή δέσμησης χιτίνης στον καρβοξυτελικό άκρο (chitin-binding domain, CBD) οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με μια μικρή περιοχή άρθρωσης (Εικόνα 4) (Holen et al., 2023, UniProt, n.d.). Η CBD περιοχή αναγνωρίζει την χιτίνη και η CatB καταλύει την υδρόλυση της. Ωστόσο, κάποιες μελέτες (Holen et al., 2023) υποστηρίζουν ότι το ένζυμο παραμένει λειτουργικό όταν απομακρύνεται η CBD περιοχή, σε συνθήκες κορεσμένου υποστρώματος.



Εικόνα 4: *AMCase* domains, δισουλφιδικοί δεσμοί (UniProt, n.d.-b).

Στην περίπτωση του ανθρώπου, υπάρχει μία τριάδα θετικά φορτισμένων αμινοξέων που εμπλέκονται στην ενεργοποίηση του ενζύμου από το όξινο pH. Αυτά τα αμινοξέα είναι Arg-145, His-208 και His-269 και φαίνεται να είναι συντηρημένα ανάμεσα στα είδη. Υποστηρίζεται, επίσης, ότι εμπλέκονται στην λειτουργία της ενεργούς θέσης χιτινάσης. Λειτουργούν διαταράσσοντας τους δεσμούς υδρογόνου μεταξύ των αμινοξέων του ενεργού κέντρου με αποτέλεσμα την σύνδεση ενεργού κέντρου-υποστρώματος, ή εξασφαλίζοντας την σωστή διαμόρφωση που πρέπει να λάβει το υπόστρωμα για να αλληλεπιδράσει με το ενεργό κέντρο (Olland et al., 2008). Βρίσκονται κοντά στο ενεργό κέντρο του ενζύμου, στην περιοχή του οχταμερούς TIM-barrel, που παρεμβάλλεται από έναν α/β λοβό που αποτελείται από αντιπαράλληλα β πτυχωτά φύλλα και μια α -έλικα. Η TIM barrel δομή είναι δομικά συντηρημένη και πήρε το όνομα της από την φωσφορική ισομεράση της τριόζης, ένα ένζυμο του μονοπατιού της γλυκόλυσης (Nagarajan & Nanajkar, 2020). Τα TIM barrel περιέχουν 200-250 υπολείμματα αμινοξέων, που σχηματίζουν 8 β -κλώνους και 8 α -έλικες (Εικόνα 6). Οι β -κλώνοι είναι διατεταγμένοι παράλληλα, και ο κάθε ένας συνδέεται με μία α -έλικα με αποτέλεσμα το TIM barrel να σχηματίζεται από 8

επαναλαμβανόμενες δευτεροταγείς δομές α-έλικας και β-κλώνου. Ο παρεμβαλλόμενος λοβός μετά την 7^η επανάληψη α-έλικας και β- κλώνου, ονομάζεται τομέας εισαγωγής χιτινάσης (chitinase insertion domain, CID) και δεν εμφανίζεται σε άλλες δομές TIM barrel (Εικόνα 5) (Hai Li et al., 2010). Σε μελέτες που έγιναν σε χιτινάσες μικροοργανισμών, προκύπτει ότι η δομή CID παρέχει δομική στήριξη, συμβάλει στην αναδίπλωση του μορίου ή στην σωστή διαμόρφωση του υποστρώματος ώστε να αλληλεπιδράσει με το ενεργό κέντρο. Επιπλέον, στην σταθερότητα αυτής της δομής συμβάλει κι ο επιπλέον δισουλφιδικός δεσμός που εντοπίζεται στην πεπτική χιτινάση, αλλά και οι δεσμοί υδρογόνου και οι γέφυρες άλατος που σχηματίζονται από τα πολικά κατάλοιπα του «πυρήνα» του βαρελιού.

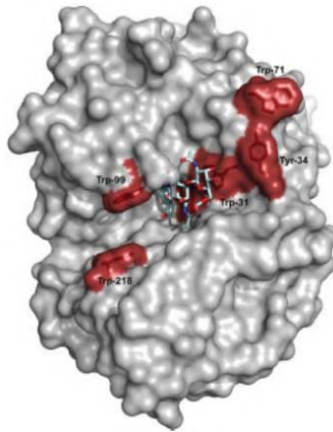


Εικόνα 5: ανθρώπινη χιτοτρισιδάση, PDB: 1HKM, TIM barrel με πράσινο χρώμα, CID με γκρι χρώμα.



Εικόνα 6: TIM barrel fold, PDB: 5BVL.

Αρωματικά αμινοξέα βρίσκονται εκτεθειμένα στην περιοχή δέσμευσης του υποστρώματος (Trp-71, Tyr-34, Trp-31, Trp-360, Trp-99, Trp-218) και διατηρούνται σε μεγάλο βαθμό σε όλα τα είδη, καθώς είναι αυτά που θα σχηματίσουν δεσμούς υδρογόνου με το υπόστρωμα (Εικόνα 7). Ωστόσο, λόγω στερεοχημικής παρεμπόδισης των ογκωδών αρωματικών αμινοξέων, το ένζυμο εμφανίζει προτίμηση για μικρές αλυσίδες χιτίνης κι αυτό, εμφανίζεται στις χιτινάσες όλων των ειδών.



Εικόνα 7: Περιοχή δέσμευσης υποστρώματος (Olland et al., 2008).

Οι χιτινάσες στο στομάχι των ψαριών αποτελούν αντικείμενο ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, καθώς τα ψάρια τρέφονται με τροφές που περιέχουν χιτίνη (Kawashima et al., 2016). Αυτή η διατροφή περιλαμβάνει οργανισμούς όπως τα καβούρια, οι γαρίδες και το ζωοπλαγκτόν, που περιέχουν α-χιτίνη, καθώς και καλαμάρια, τα οποία περιέχουν β-χιτίνη. Πρόκειται για είναι ένζυμο που καταλύει την υδρόλυση χιτίνης και ανήκει στην οικογένεια των γλυκοσυλ-υδρολασών GH18. Υψηλή δραστηριότητες χιτινάσης εντοπίστηκαν στο στομάχι πολλών ψαριών, αλλά και σε άλλα σημεία του πεπτικού συστήματος (Ikeda et al., 2017). Από ορισμένα είδη τελεόστεων, όπως το *Branchiostegus argentatus*, έχουν απομονωθεί δύο ισοένζυμα χιτινάσης (*afcase1* - *acidic fish chitinase 1* και *afcase2* - *acidic fish chitinase 2*), ενώ από άλλα, όπως το *Synbranchus marmoratus*, έχουν απομονωθεί περισσότερα. Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι ο αριθμός των ισοενζύμων χιτινάσης στο στομάχι των ψαριών διαφέρει ανάλογα με το είδος. Οι μοριακές μάζες των χιτινασών των ψαριών εκτιμήθηκαν περίπου μεταξύ 38 και 62kDa. Έχουν βέλτιστο pH στην όξινη περιοχή (pH 2–5) και λειτουργούν σε ένα εύρος θερμοκρασιών από 50°C έως 80°C. Μελέτες για την αποσαφήνιση της δομής των χιτινασών του στομάχου των ψαριών έδειξαν ότι αυτές περιλαμβάνουν διατηρημένες περιοχές και αλληλουχίες. Οι χιτινάσες αυτές ανήκουν στην οικογένεια GH18, της οποίας χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι η καταλυτική περιοχή υδρόλυσης χιτίνης (catalytic domain, CatD ή CH18). Αυτό σημαίνει ότι διατηρούν την καταλυτική περιοχή, η οποία αποτελείται από μια δομή TIM-βαρελίου (β/α) με 8 πτυχώσεις, καθώς και την περιοχή δέσμευσης του υποστρώματος (chitin-binding domain, CBD). Ωστόσο, έχει βρεθεί ότι, παρόλο που η περιοχή GH18 της χιτινάσης του Atlantic salmon (*Salmo salar*) μοιάζει με την αντίστοιχη περιοχή της ανθρώπινης χιτινάσης, η περιοχή CBD παρουσιάζει μικρή ομοιότητα (Holen et al., 2023).

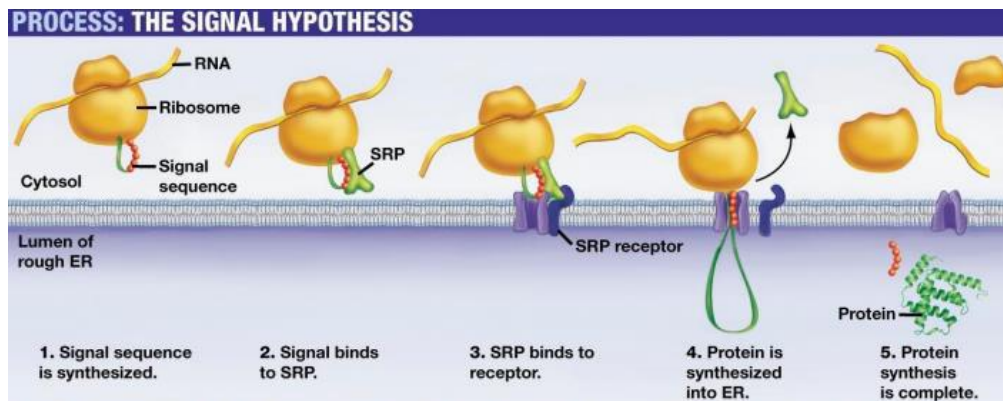
Μελέτες για τις πεπτικές χιτινάσες των χονδριχθίων (Chondrichthyes), και συγκεκριμένου του οργανισμού blue shark (*Prionace glauca*), δείχνουν ότι υπάρχει μόνο ένα αντίγραφο του ενζύμου της πεπτικής χιτινάσης (Ikeda et al., 2017). Παρά αυτό, το ένζυμο εκτελεί πολλαπλές λειτουργίες, όπως η διάσπαση της τροφής και η

άμυνα απέναντι σε παθογόνους οργανισμούς. Ακόμη, φυλογενετικές αναλύσεις μιας ομάδας Χονδρυϊχθύων, δείχνουν ότι τα ένζυμα αυτά είναι αρκετά απομακρυσμένα από εκείνα των θηλαστικών και των Τελεόστεων, υποδηλώνοντας μία ειδικής κατηγορίας χιτινασών (Watanabe et al., 2018).

Σήμα εκκριτικού μονοπατιού

Οι ευκαρυωτικές πρωτεΐνες έχουν γενικά ενσωματωμένα πεπτίδια που λειτουργούν ως σήματα. Παραδείγματα αποτελούν τα πεπτίδια εκκριτικού σήματος (SP), σήματα πυρηνικού εντοπισμού (NLS), σήματα μιτοχονδριακής στόχευσης (MTS), αλλά και σήματα που στοχεύουν άλλες υποκυτταρικές δομές.

Οι περισσότερες εκκριτικές πρωτεΐνες συντίθενται σε συνδεδεμένα ριβοσώματα του αδρού ενδοπλασματικού δικτύου (ER) και έπειτα ακολουθούν το εκκριτικό μονοπάτι (Cooper & Hausman, 2015). Τα ριβοσώματα είναι ελεύθερα στο κυτοσόλιο όταν αρχίζει η μετάφραση αλλά μόλις αποκαλυφθεί η σηματοδοτική αλληλουχία SP προωθούνται στην μεμβράνη του αδρού ενδοπλασματικού δικτύου. Με άλλα λόγια, η σύνδεση των ριβοσωμάτων στο αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο υπαγορεύεται από την αμινοξική αλληλουχία της πεπτιδικής αλυσίδας που συνθέτουν. Η αλληλουχία σήματος έχει μήκος 15-40 κατάλοιπα αμινοξέων και είναι πλούσια σε υδρόφοβα κατάλοιπα και κυρίως λευκίνη, βαλίνη και αλανίνη. Κατά τη μετάφραση του mRNA, το σήμα SP αλληλεπιδρά με το σύμπλεγμα σωματιδίου αναγνώρισης σήματος (SRP) – ριβοσώματος και διακόπτει τη μετάφραση. Η συν-μεταφραστική μετατόπιση στον αυλό του ενδοπλασματικού δικτύου συμβαίνει όταν το σύμπλεγμα συνδέεται με τον υποδοχέα SRP και το ριβόσωμα τοποθετηθεί στο τρανσλοκόνιο. Το τρανσλοκόνιο είναι ένας δίαυλος που αποτελείται από 3 υπομονάδες και είναι απαραίτητο για την μετατόπιση των πρωτεϊνών. Μόλις γίνει η εισαγωγή στον αυλό του ενδοπλασματικού δικτύου, αποκόπτεται το πεπτίδιο του σήματος SP από την πεπτιδάση σήματος. Το σύμπλοκο SRP είναι μια ριβονουκλεοπρωτεΐνη, που αποτελείται από ένα 7S RNA και έξι υπομονάδες πρωτεΐνης (SRP9, SRP14, SRP19, SRP54, SRP68 και SRP72) στους ευκαρυωτικούς οργανισμούς. Η SRP54 μαζί με την α υπομονάδα του υποδοχέα SRP συμμετέχουν στην υδρόλυση του GTP, δηλαδή στην παροχή ενέργειας για να γίνει η μετατόπιση της πρωτεΐνης στον αυλό του ενδοπλασματικού δικτύου.



Εικόνα 8: Μονοπάτι SRP, (Cooper & Hausman, 2015).

Η πρωτεϊνοσύνθεση στα συνδεδεμένα ριβοσώματα σχετίζεται με συµμεταφραστικές τροποποιήσεις. Κατά την διάρκεια της μετάφρασης στα ριβοσώματα της µεµβράνης, στα τμήματα που μεταφράστηκαν πρώτα έχουν ήδη αρχίσει να υφίστανται τροποποιήσεις. Συνήθως πρόκειται για πρωτεολυτική τροποποίηση, αναδίπλωση, σχηματισμό δισουλφιδικών δεσμών και γλυκοσυλίωση. Η ώριμη πρωτεΐνη υφίσταται περαιτέρω μετα-μεταφραστικές τροποποιήσεις στο Ενδοπλασματικό δίκτυο και έπειτα στο Golgi, συσσωματώνεται σε εκκριτικά κυστίδια και τελικά εξάγεται έξω από το κύτταρο.

Οικοφυσιολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν την λειτουργία της πεπτικής χιτινάσης

Θερμοκρασία

Καθώς τα περισσότερα ψάρια είναι εξώθερμα, η φυσιολογία τους επηρεάζεται έντονα από τη θερμοκρασία. Οι επιδράσεις της θερμοκρασίας στις δραστηρότητες των πεπτικών ενζύμων, είναι σημαντικές, και μειώνονται σε θερμοκρασίες εκτός του βέλτιστου εύρους (Amin et al., 2016). Η προσαρμογή των ενζύμων στην θερμοκρασία είναι γενετικά καθορισμένη και μπορεί να περιλαμβάνει αλλαγές, όπως διαφοροποίηση στη δομή και τη συγγένεια με τα υποστρώματα. Γενικά, ψάρια σε ψυχρά περιβάλλοντα έχουν πεπτικά ένζυμα με υψηλότερη καταλυτική απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες, σε σύγκριση με θερμόαιμα ζώα ή ψάρια σε θερμότερα περιβάλλοντα (Stefansson et al., 2017). Επιπλέον, στα ψάρια σε θερμά περιβάλλοντα, αυξάνεται η έκκριση οξέων του στομάχου που οδηγεί στην ενεργοποίηση κάποιων πεπτικών ενζύμων.

Διατροφή

Τα ψάρια καταναλώνουν χιτινώδεις ουσίες ως μέρος της διατροφής τους. Διατροφή πλούσια σε χιτίνη, περιλαμβάνει καβούρια, γαρίδες και ζωοπλαγκτόν, που περιέχουν α-χιτίνη, καθώς και καλαμάρια που περιέχουν β-χιτίνη. Αυτό θα μπορούσε να εξηγήσει την ύπαρξη δραστηρότητας του ενζύμου της χιτινάσης στο στομάχι των ψαριών (Ikeda et al., 2017). Πιθανόν, οι χιτινάσες του στομαχίου των ψαριών να

βοηθούν στη διάσπαση των χιτινωδών ουσιών που καταναλώνονται. Μάλιστα, μια πρόσφατη μελέτη (Agbohessou et al., 2022) έδειξε ότι συμπληρώματα της διατροφής με χιτίνη, αυξάνει την ανάπτυξη των ψαριών, υποδηλώνοντας την ικανότητα αποδόμησης χιτίνης ως πηγή θρεπτικών συστατικών. Ωστόσο, η αύξηση της δραστηριότητας του ανθρώπινου πεπτικού ενζύμου της χιτινάσης δεν έχει επιβεβαιωθεί ότι σχετίζεται με τις διατροφικές συνήθειες (Paoletti et al. 2007).

Φαρυγγικά δόντια

Υπάρχουν μελέτες στις οποίες υποδηλώνεται η συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων έκφρασης της πεπτικής χιτινάσης και της μηχανικής πέψης (Lindsay 1983). Ψάρια που διασπούν την τροφή μέσω φαρυγγικών δοντιών (cyprinids) ή άλλων δομών της στοματικής κοιλότητας, κωδικοποιούν για πεπτική χιτινάση με χαμηλή δραστηριότητα, παρά την κατανάλωση χιτίνης από την διατροφή. Επίσης, ψάρια που τείνουν να καταβροχθίζουν το θήραμα τους ολόκληρο κωδικοποιούν για πεπτική χιτινάση με υψηλή δραστηριότητα. Αυτό, πιθανόν, υπογραμμίζει τον ρόλο της χιτινάσης στην υδρόλυση του εξωτερικού περιβλήματος του θηράματος, προωθώντας μικρότερα συστατικά της τροφής στα υπόλοιπα πεπτικά ένζυμα. Στα ψάρια που έχουν χάσει το στομάχι τους, η ύπαρξη των φαρυγγικών δοντιών είναι ιδιαίτερα σημαντική για να τεμαχίσουν το θήραμα τους.

Αλατότητα

Όσον αφορά το αλμυρό νερό, έχει αναφερθεί ότι η δραστηριότητα της χιτινάσης των ειδών *Scomber japonicus* και *Pennahia argentata*, ενεργοποιήθηκε με την προσθήκη NaCl (Matsumiya et al., 2015). Υποστηρίζεται ότι τα ψάρια καταπίνουν θαλασσινό νερό μαζί με τα συστατικά της διατροφής τους και με αυτόν τον τρόπο ενεργοποιείται η πεπτική χιτινάση. Θεωρείται ότι αυτό το χαρακτηριστικό αντικατοπτρίζει έναν φυσιολογικό ρόλο των χιτινασών στην πέψη διατροφικών συστατικών παρουσία αλάτων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, είναι πιθανόν το ένζυμο της πεπτικής χιτινάσης να ενεργοποιείται κατά την διάρκεια της μετανάστευσης (Holen et al., 2023). Για παράδειγμα, τα ανάδρομα ψάρια, γεννιούνται στα ποτάμια όπου το ένζυμο είναι απενεργοποιημένο, ενώ κατά την εισροή τους στην θάλασσα ενεργοποιείται.

Οι διάφοροι παράγοντες, αλληλεπικαλύπτονται και αλληλοσυνδέονται με αποτέλεσμα να σχηματίζονται ζώνες ενδιατημάτων. Η ύπαρξη του ενός συχνά συνεπάγεται την ύπαρξη και κάποιων άλλων ή η ύπαρξη του ενός αποκλείει κάποιους άλλους. Για παράδειγμα, εάν κάποια είδη εντοπίζονται σε ένα μεγάλο βάθος, τότε υποχρεωτικά είναι προσαρμοσμένα στην χαμηλή θερμοκρασία και στην διατροφή που παρέχει αυτή η ζώνη. Σε ένα δεύτερο σενάριο, η διατροφή ενός είδους με επιτελαγικούς οργανισμούς σημαίνει αυτόματα ότι δεν ζει σε μεγάλα βάθη και σε κρύα νερά.

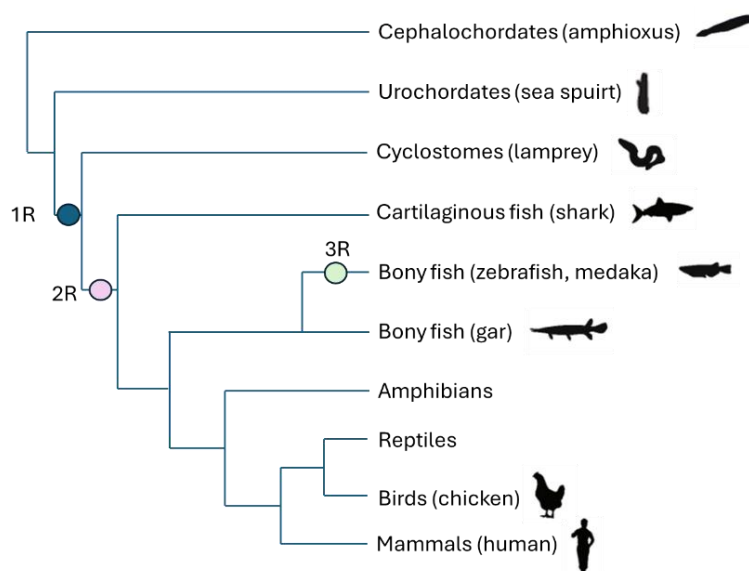
1.6 Γονιδιωματικοί διπλασιασμοί

Ο γονιδιακός διπλασιασμός, αποτελεί έναν μηχανισμό εξέλιξης καθώς πιστεύεται ότι παρέχει το γενετικό υλικό για την εξέλιξη νέων γονιδιακών λειτουργιών. Στο βιβλίο του, *Evolution by gene duplication* (Ohno, 1970), ο Ohno κατέληξε ότι ο μόνος τρόπος για να εμφανιστεί ένα νέο γονίδιο είναι ο γονιδιακός διπλασιασμός και πως οι διπλασιασμοί μπορούν να επηρεάσουν ολόκληρα γονιδιώματα (Magadum et al., 2013). Σήμερα, αναγνωρίζεται η σημαντικότητα των διπλασιασμών, όσον αφορά μεμονωμένα γονίδια, ομάδες γονιδίων, ολόκληρα χρωμοσώματα αλλά και ολόκληρα γονιδιώματα. Η πολυπλοειδία, η οποία είναι αποτέλεσμα των διπλασιασμών, μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα των ειδών με την διαφοροποίηση γονιδίων και την εισαγωγή νέων μονοπατιών μειώνοντας, έτσι το ρίσκο για εξαφάνιση. Οι γονιδιωματικοί διπλασιασμοί οδηγούν αρχικά σε πολυπλοειδία και όλα τα γονίδια να διατηρούν τη λειτουργία τους αμέσως μετά τον διπλασιασμό. Η πολυπλοειδία συνήθως χάνεται κατά τη διάρκεια της εξέλιξης καθώς τα διπλασιασμένα χρωμοσώματα συσσωρεύουν μεταλλάξεις μέχρι να διαφοροποιηθούν τόσο που να μην αναγνωρίζονται πια ως ομόλογα κατά τη μίτωση. Έτσι ο οργανισμός μπορεί να επιστρέψει ξανά σε διπλοειδία, διατηρώντας όμως στο γονιδίωμα του στοιχεία της προγονικής πολυπλοειδίας, όπως γονίδια τα οποία έχουν διατηρηθεί ως αντίγραφα. Η συσσώρευση μεταλλάξεων μετά τον διπλασιασμό, τόσο σε ρυθμιστικές θέσεις όσο και σε αλληλουχίες γονιδίων που κωδικοποιούν πρωτεΐνες, συνήθως οδηγεί στην απώλεια λειτουργίας του ενός αντίγραφου του γονιδίου. Ωστόσο, κάποιες φορές, μπορούν να οδηγήσουν σε θετικά επιλεγόμενους φαινότυπους και σε διαφοροποίηση λειτουργίας των διπλασιασμένων γονιδίων. Είναι δεδομένο ότι οι διπλασιασμοί του γονιδιώματος αποτελούν σημαντικό μηχανισμό της εξέλιξης και ότι έχουν καθορίσει την εξέλιξη πολλών γενεαλογιών (Glasauer & Neuhauss, 2014).

1.6.1 Πρώτος και δεύτερος διπλασιασμός ολόκληρου του γονιδιώματος

Ο Ohno, παρουσίασε την υπόθεση ότι το γονιδίωμα των Σπονδυλωτών, υπέστη είτε έναν, είτε δύο γύρους διπλασιασμού ολόκληρου του γονιδιώματος (Whole Genome duplication - WGD), η οποία ονομάστηκε υπόθεση 2R (Ohno, 1970). Σύμφωνα με αυτήν την υπόθεση, ισχύει ο κανόνας 1-2-4. Παράδειγμα που επιβεβαιώνει την υπόθεση αυτή, αποτελούν τα συμπλέγματα των γονιδίων *Hox*, τα οποία κωδικοποιούν μεταγραφικούς παράγοντες με σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των οργανισμών (Soshnikova, 2014). Τα τετράποδα έχουν τέσσερα συμπλέγματα των γονιδίων *Hox*, ενώ τα κεφαλοχορδωτά μόνο ένα. Μάλιστα, για να αποδειχτεί ότι πρόκειται για διπλασιασμούς ολόκληρου του γονιδιώματος κι όχι για γονιδιακούς διπλασιασμούς, πραγματοποιήθηκε ανάλυση συνταινικότητας των συμπλεγμάτων *Hox*, η οποία έδειξε ότι η σειρά των γονιδίων πάνω στο χρωμόσωμα ήταν συντηρημένη κι έφερε περισσότερες αποδείξεις για την ύπαρξη WGD. Η συμφωνία

των αποτελεσμάτων όλων των παραπάνω ερευνών καθιστά την υπόθεση 2R ευρέως αποδεκτή από την επιστημονική κοινότητα και σύμφωνα με την επικρατούσα μορφή της σήμερα, ο πρώτος διπλασιασμός (1R) συνέβη νωρίς στη γενεαλογία των Σπονδυλωτών, πριν την εμφάνιση των Άγναθων, και ο δεύτερος (2R), πριν από την εμφάνιση των Γναθόστομων (Kasahara, 2007, Pérez-Fernández, 2013) (Εικόνα 9).



Εικόνα 9: Γονιδιωματικοί διπλασιασμοί στα Σπονδυλωτά, (Pérez-Fernández, 2013).

1.6.2 Τρίτος διπλασιασμός ολόκληρου του γονιδιώματος

Εκτός από τον 1R και 2R, έχει συμβεί ένας τρίτος διπλασιασμός του γονιδιώματος (3R), ο οποίος είναι ειδικός μόνο για τους Τελεόστεους (Teleost Specific Whole Genome Duplication, TS-WGD) καθώς συνέβη στη βάση της γενεαλογίας τους (Εικόνα 9). Σύμφωνα με αυτήν την υπόθεση, ο κανόνας 1-2-4 διευρύνεται και γίνεται 1-2-4-8. Αυτός υποδηλώνει ότι κάθε γονίδιο των τετραπόδων, έχει δύο ορθόλογα στα είδη των τελεόστεων (Taylor et al., 2001). Πράγματι, αυτός ο κανόνας ισχύει για πολλά γονίδια των τελεόστεων αλλά όχι για όλα. Το γεγονός αυτό, καθιστά ασαφές το αν τα γονίδια αυτά είναι προϊόντα διπλασιασμού ολόκληρου του γονιδιώματος ή άλλων μικρότερης κλίμακας διπλασιασμών, όπως διπλασιασμοί ολόκληρων χρωμοσωμάτων ή χρωμοσωμικών τμημάτων. Και πάλι, μελέτες πάνω στα γονίδια Hox, στα είδη Pufferfish, Medaka, και Zebrafish, έφεραν περισσότερες αποδείξεις για την ύπαρξη ενός TS-WGD. Σε σχέση με τον άνθρωπο στον οποίο εντοπίζονται τέσσερα συμπλέγματα γονιδίων Hox, σε αυτούς τους Τελεόστεους έχουν παρατηρηθεί επτά ή οκτώ. Η ύπαρξη επτά αντί για οκτώ συμπλέγματα στους Τελεόστεους, εξηγείται με την απώλεια του ενός από αυτά μετά τον διπλασιασμό του γονιδιώματος τους. Ακόμη, μελέτες συνταϊνικότητας των συμπλεγμάτων Hox, δηλαδή η συντηρημένη σειρά των γονιδίων πάνω στο χρωμόσωμα, επιβεβαιώνει το TS-WGD. Επιπλέον, στην επιβεβαίωση του TS-WGD, συμβάλουν αναλύσεις μοριακών ρολογιών, οι οποίες προβλέπουν την ηλικία των παράλογων γονιδίων, άρα και την περίοδο διπλασιασμού

του γονιδιώματος. Επιπλέον, αλληλουχήσεις ολόκληρου γονιδιώματος σε έναν μεγάλο αριθμό ψαριών, έχουν καταλήξει στην ύπαρξη ενός τουλάχιστον γονιδιωματικού διπλασιασμού στη γενεαλογία των Τελεόστεων. Όλες οι παραπάνω μελέτες, συμφωνούν στην ύπαρξη του TS-WGD, και έτσι ο τρίτος γύρος διπλασιασμού του γονιδιώματος αποκλειστικά για την γενεαλογία των Τελεόστεων, είναι ευρέως αποδεκτός από την επιστημονική κοινότητα (Glasauer & Neuhauss, 2014).

1.6.3 Η μοίρα των γονιδίων μετά τον γονιδιωματικό διπλασιασμό

Τα γονίδια, αμέσως μετά τον γονιδιωματικό διπλασιασμό διατηρούν την αρχική λειτουργία τους, ωστόσο από εκεί και έπειτα ακολουθούν διαφορετικές πορείες, καθώς θα συσσωρεύσουν μεταλλάξεις και υπόκεινται σε διαφορετικές εξελικτικές πιέσεις. Σε κάποιο βαθμό, η τύχη των διπλών γονιδίων εξαρτάται από τη φύση των μεταλλάξεων που συμβαίνουν στα δύο αντίγραφα και σε κάποιον άλλον, από τους μηχανισμούς της εξέλιξης που θα δράσουν πάνω σε αυτά. Απουσία εξελικτικής πίεσης, το ένα αντίγραφο του γονιδίου θα συσσωρεύσει τυχαίες μεταλλάξεις και με την πάροδο του χρόνου θα μετατραπεί σε ψευδογονίδιο. Το φαινόμενο αυτό, ονομάζεται απώλεια λειτουργίας (Non-functionalization), και αποτελεί την πιο συχνή πορεία που μπορεί να ακολουθήσει ένα διπλασιασμένο γονίδιο. Ωστόσο, είναι πιθανόν να μην μετατραπεί σε ψευδογονίδιο και αντί αυτού, και τα δύο αντίγραφα να διατηρήσουν την προγονική τους λειτουργία ή να αποκτήσουν νέα (Neofunctionalization). Τέλος, είναι πιθανόν, τα διπλασιασμένα γονίδια να συσσωρεύσουν μεταλλάξεις, τόσο σε περιοχές που κωδικοποιούν την πρωτεΐνη όσο και σε ρυθμιστικές, ώστε να διατηρήσουν ένα μέρος της προγονικής λειτουργίας, με αποτέλεσμα να είναι και τα δύο απαραίτητα, (Subfunctionalization) (Glasauer & Neuhauss, 2014) ή να διατηρήσουν και τα δυο αντίγραφα αναλλοίωτη την προγονική λειτουργία αλλά να εκφράζονται κάτω από διαφορετικές συνθήκες (Εικόνα 10).

Απώλεια λειτουργίας (Non-functionalization)

Αρχικά, τα παράλογα γονίδια που προκύπτουν είναι πανομοιότυπα μεταξύ τους, αλλά σταδιακά, λόγω τυχαιότητας, είναι πιθανό να χαθεί ένα από τα δύο (Glasauer & Neuhauss, 2014). Η απώλεια του ενός παραλόγου πιθανώς οφείλεται στη συσσώρευση μεταλλάξεων. Επιπλέον, δεδομένου ότι οι περισσότερες μεταλλάξεις είναι ουδέτερες ή αρνητικές όσον αφορά τη λειτουργικότητα της πρωτεΐνης, αυτό οδηγεί στη σταδιακή απώλεια λειτουργίας του ενός αντιγράφου. Ο Ohno (Ohno, 1970) πρότεινε ότι αυτό το φαινόμενο, της συσσώρευσης επιβλαβών μεταλλάξεων και της απώλειας λειτουργίας, αποτελεί τη συνηθέστερη μοίρα κατά την εξέλιξη των διπλασιασμένων γονιδίων, κάτι που σήμερα έχει επιβεβαιωθεί από πολλές μελέτες.

Απόκτηση νέας λειτουργίας (Neofunctionalization)

Η περίπτωση της απόκτησης νέας λειτουργίας αποτελεί κλασικό παράδειγμα της αποκλίνουσας εξέλιξης στην οποία τα διπλασιασμένα γονίδια διαφοροποιούνται και

αναπτύσσουν νέες ιδιότητες, μια ιδέα που υποστηρίζεται και από τον Ohno (1970). Η μειωμένη εξελικτική πίεση για να διατηρηθεί η προγονική λειτουργία και στα δύο αντίγραφα, οδηγεί σε συσσώρευση τυχαίων μεταλλάξεων, σε ένα από τα δύο, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει αλλαγή στην λειτουργία του. Εάν, οι μεταλλάξεις αυτές αποδειχτούν ωφέλιμες για την εγκαθίδρυση μίας νέας λειτουργίας, που αποτελεί εξελικτική καινοτομία του είδους, αυτή θα εδραιωθεί μέσω φυσικής επιλογής. Σε αυτή την περίπτωση, τα διπλασιασμένα γονίδια διατηρούνται επειδή η απώλεια οποιουδήποτε αντιγράφου θα ήταν επιζήμια για τον οργανισμό (Lynch and Conery, 2000). Ωστόσο, η περίπτωση αυτή αποτελεί την πιο σπάνια καθώς είναι λιγότερο πιθανό να συμβούν ωφέλιμες μεταλλάξεις σε σχέση με επιβλαβείς (Glasauer & Neuhauss, 2014).

Διαχωρισμός λειτουργίας (Subfunctionalization)

Στη περίπτωση του διαχωρισμού της λειτουργίας, το κάθε ένα θυγατρικό γονίδιο τελικά θα έχει μέρος της αρχικής λειτουργίας του αρχέγονου γονιδίου. Πιο αναλυτικά, τα δύο αντίγραφα επιτελούν διαφορετικές λειτουργίες μεταξύ τους οι οποίες όμως είναι απαραίτητες για να ολοκληρωθεί η προγονική. Το subfunctionalization, μπορεί να επιτευχθεί με δύο διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος είναι μέσω γενετικής παρέκκλισης και ο δεύτερος μέσω προσαρμοστικής εξέλιξης. Όταν δρα η γενετική παρέκκλιση, οι αλλαγές δεν καθοδηγούνται με στόχο τη βελτιστοποίηση της κατανομής της λειτουργίας μεταξύ των διαφορετικών γονιδίων. Σε αντίθεση, δρα η προσαρμοστική εξέλιξη, η φυσική επιλογή είναι υπεύθυνη για τις αλλαγές που συμβαίνουν στα θυγατρικά γονίδια. Γενικά, στην συγκεκριμένη περίπτωση, δεν είναι συχνό οι αλλαγές να κατευθύνονται από την φυσική επιλογή, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι πρόκειται για ένα θεωρητικά ατεκμηρίωτο μοντέλο (Glasauer & Neuhauss, 2014). Ακόμη, υπάρχει περίπτωση η διαφοροποίηση των γονιδίων να σχετίζεται με την ρύθμιση της έκφρασης τους σε διαφορετικές συνθήκες, αναπτυξιακά στάδια ή ιστούς.

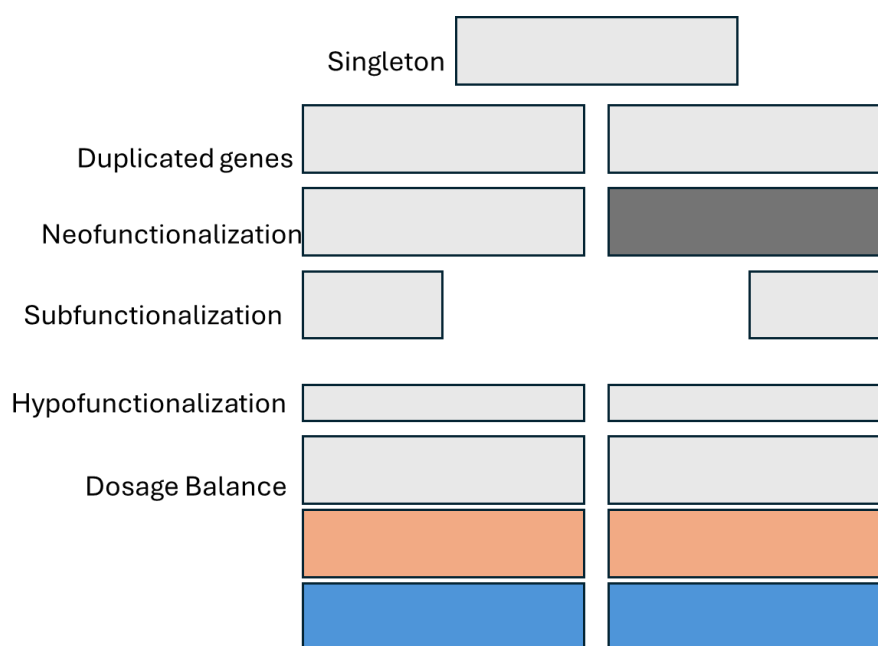
Υπολειτουργικότητα (Hypofunctionalization)

Μία ακόμη κοινή πορεία που μπορεί να ακολουθήσουν τα διπλασιασμένα γονίδια είναι αυτή της υπολειτουργικότητας (Hypofunctionalization) ή της κατανομής της δόσης (Qian et al., 2010, Gout and Lynch, 2015, Lan και Pritchard, 2016, Panchy et al., 2016, Veitia, 2017). Ουσιαστικά, συμβαίνει αλλαγή στα επίπεδα έκφρασης των διπλασιασμένων γονιδίων, με αποτέλεσμα η συνολική ποσότητα γονιδιακού προϊόντος να είναι μικρότερη της προγονικής. Σε αυτήν την περίπτωση, ο διπλασιασμός των γονιδίων εδραιώνεται, και τα δύο αντίγραφα καθίστανται απαραίτητα, καθώς ακόμη κι έτσι δεν επαρκεί το συνολικό προϊόν τους. Υπάρχει περίπτωση, να συμβαίνει διαμοιρασμός εργασίας ανάμεσα στα δύο παράλογα, ωστόσο, αυτό δεν είναι απαραίτητο και σε αντίθετη περίπτωση η έκφραση των δύο γονιδίων είναι ανταγωνιστική. Το Hypofunctionalization είναι δύσκολο να διακριθεί

ανάμεσα σε Subfunctionalization και Neofunctionalization και συχνά συγχέεται με αυτά (Birchler & Yang, 2022).

Ισορροπία δοσολογίας (Dosage balance)

Ένας σημαντικός μηχανισμός που δρα για την διατήρηση των διπλασιασμένων γονιδίων είναι dosage balance (Birchler et al., 2005, Birchler and Veitia 2012). Συγκεκριμένα συμπλέγματα γονιδίων είναι συχνότερο να εντοπίζονται στο γονιδίωμα σε διπλασιασμένη κατάσταση σε σχέση με κάποια άλλα (Blanc and Wolfe, 2004, Freeling and Thomas, 2006, Kuzmin et al., 2020). Αυτό, οφείλεται στο γεγονός ότι η σχετική γονιδιακή δοσολογία τείνει να διατηρείται γιατί αυτά τα γονίδια είναι ευαίσθητα στην γονιδιακή δόση. Η διατήρηση της γονιδιακής ισορροπίας αυτών των γονιδίων φαίνεται να είναι τόσο σημαντική που η μείωση της σχετικής γονιδιακής δοσολογίας μέσω απενεργοποίησης του ενός παραλόγου γονιδίου, μπορεί να έχει αρνητικές επιδράσεις στην ανάπτυξη ή/και στην φυσιολογία ενός οργανισμού. Αυτή η απενεργοποίηση, έχει παρόμοια δράση πάνω στα είδη με την ανευπλοειδία. Τέτοια γονίδια είναι τα γονίδια που κωδικοποιούν μεταγραφικούς παράγοντες, γονίδια τα οποία κωδικοποιούν πρωτεΐνες οι οποίες συμμετέχουν σε διάφορα σηματοδοτικά μονοπάτια, γονίδια που κωδικοποιούν πρωτεΐνες αλληλεπίδρασης με την χρωματίνη και γονίδια που παράγουν microRNAs τα οποία δρουν ως ρυθμιστικά στοιχεία (Zhang et al., 2009, Abrouk et al., 2012, Peterson et al., 2021). Με αυτόν τον μηχανισμό, αναδεικνύονται η σημασία της διατήρησης της σχετικής γονιδιακής ισορροπίας και οι αρνητικές επιδράσεις που έχουν κάποια γονίδια εάν δεν βρίσκονται σε συγκεκριμένη στοιχειομετρική κατάσταση μέσα στο κύτταρο.



Εικόνα 10: Η μοίρα των διπλασιασμένων γονιδίων, (Birchler, J. A., & Yang, H. 2022).

2. Σκοπός

Οι τελεόστεοι εμφανίζουν ιδιαίτερο εξελικτικό ενδιαφέρον λόγω των ποικίλων προσαρμογών αλλά και του ειδικού διπλασιασμού που έχει λάβει χώρα στην βάση της γενεαλογία τους. Η όξινη πέψη είναι πολύ σημαντική για την επιβίωση των ιχθύων, καθώς φροντίζει για την ενεργοποίηση κάποιων πεπτικών ενζύμων όπως η πεπτική χιτινάση (AMCase ή CHIA). Επιπλέον, χάρη στο στομάχι, όργανο της όξινης πέψης, διευρύνονται οι αξιοποιήσιμες πηγές πρωτεϊνών, επιτελείται η διάσπαση των εξωσκελετών ασπόνδυλων και η απορρόφηση ιόντων και προστατεύεται ο οργανισμός από την είσοδο παθογόνων. Ωστόσο, μελέτες έχουν δείξει ότι η απώλεια του στομάχου είναι πολύ συχνή μεταξύ των Τελεόστεων και σχετίζεται με την απουσία κάποιων γονιδίων, υπό την επίδραση παραγόντων του περιβάλλοντος. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η διερεύνηση της εξελικτικής μοίρας της πεπτικής χιτινάσης και εάν επιδρούν στους διπλασιασμούς αυτού του γονιδίου, οικοφυσιολογικοί παράγοντες.

3. Υλικά και Μέθοδοι

3.1 Διερεύνηση βάσεων δεδομένων και ανάκτηση αλληλουχιών

Πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική αναζήτηση για τα πεπτικά ένζυμα του ανθρώπου (*Homo sapiens*), η οποία αποκάλυψε μια σειρά από ένζυμα που συμμετέχουν στην πέψη και την απορρόφηση των θρεπτικών ουσιών. Από αυτά, ιδιαίτερο ενδιαφέρον είχε η χιτινάση (CHIA ή AMCase – acidic mammalian chitinase), ένα σημαντικό ένζυμο με πολλές λειτουργίες (Hu et al., 2021). Πραγματοποιήθηκε διερεύνηση στις βάσεις δεδομένων Ensembl (Cunningham et al., 2022) και NCBI (nucleotide collection (nr/nt)) (Sayers et al., 2022), ώστε να εντοπιστούν γονίδια που κωδικοποιούν για χιτινάσες, στην τσιπούρα (*Sparus aurata*), χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο BLAST, όπως αυτός είναι ενσωματωμένος στην βάση δεδομένων Ensembl (Ensembl Release 105).

Οι αλληλουχίες των οργανισμών, συλλέχθηκαν χρησιμοποιώντας, επίσης, τον αλγόριθμο BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) (Altschul et al., 1990), όπως αυτός είναι ενσωματωμένος στη βάση δεδομένων της NCBI, Reference protein (RefSeq protein). Ως αλληλουχία επερώτησης, τέθηκε η πρωτεϊνική αλληλουχία της τσιπούρας (*Sparus aurata*) για το ένζυμο της χιτινάσης, και με αυτόν τον τρόπο, ο αλγόριθμος BLAST εντόπισε ομόλογες αμινοξικές αλληλουχίες σε όλους τους ακτινοπτερύγιους της βάσης δεδομένων Reference protein (RefSeq protein), με βάση την ομοιότητα αυτών με την αλληλουχία επερώτησης. Επιλέχθηκαν οι αλληλουχίες που κωδικοποιούν για πρωτεΐνες (amino acid sequences) επειδή είναι διατηρημένες ανάμεσα σε απομακρυσμένα είδη, και ο αλγόριθμος BLASTP (BLAST Protein) είναι μια ευαίσθητη μέθοδος για την ανίχνευση ομόλογων αλληλουχιών. Διερευνήθηκαν, ακόμη, το είδος Elephant shark (*Callorhinchus mili*), ως εκπρόσωπος των Χονδρυϊχθύων, η γενεαλογία του οποίου έχει διαφοροποιηθεί 'νωρίς' κατά την εξέλιξη των σπονδυλωτών και τρία είδη, ο ποντικός (*Mus musculus*), ο άνθρωπος (*Homo sapien*), και το κοτόπουλο (*Gallus gallus*), ως εκπρόσωποι των Τετραπόδων.

Βάση δεδομένων Reference protein (RefSeq protein)

Η Reference Sequence (RefSeq) είναι μια επιμελημένη βάση δεδομένων που αναπτύχθηκε από το National Center for Biotechnology Information (NCBI), με στόχο να παρέχει αλληλουχίες γονιδίων, mRNAs και πρωτεϊνών για την έρευνα της γονιδιωματικής και της βιολογίας. Η RefSeq παρέχει ακριβείς, επιβεβαιωμένες, συνεπείς και μη επαναλαμβανόμενες αλληλουχίες αναφοράς για διάφορους οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων, των ζώων, των φυτών, των μικροοργανισμών και των ιών (Pruitt et al., 2007). Συγκεκριμένα, περιέχει 194 γονιδιώματα ακτινοπτερυγίων. Η Reference protein (RefSeq) αντιπροσωπεύει τη μοναδική και τυποποιημένη αλληλουχία πρωτεΐνης που κωδικοποιείται από κάθε γονίδιο. Αυτές οι αλληλουχίες λειτουργούν ως σημείο αναφοράς για τη μελέτη της εκάστοτε πρωτεΐνης και διευκολύνουν τους ερευνητές. Χρησιμοποιείται ευρέως για

την ανάλυση των αλληλουχιών, τη σύγκριση γονιδιωμάτων, τη μελέτη της εξελικτικής βιολογίας και τη διαγνωστική έρευνα. Η συλλογή RefSeq είναι διαθέσιμη χωρίς περιορισμούς και μπορεί να ανακτηθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, όπως μέσω, αναζήτησης με μια ακολουθία μέσω [BLAST](#) (Basic Local Alignment Search Tool) (Altschul et al., 1990).

3.2 Στοίχιση αλληλουχιών

Διερεύνηση της Δομής και της Λειτουργίας του Ενζύμου

Για την στοίχιση των αλληλουχιών χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος MAFFT (Katoh et al., 2017), ο οποίος πραγματοποιεί πολλαπλή στοίχιση αλληλουχιών. Οι στοιχίσεις επεξεργάστηκαν χειροκίνητα μέσω του προγράμματος AliView (Larsson, 2014), και αφαιρέθηκαν αλληλουχίες πρωτεϊνών οι οποίες δεν φέρουν τις ιδιότητες της πρωτεΐνης που κωδικοποιείται από το γονίδιο CHIA. Οι ιδιότητες αυτές είναι η δραστηριότητα χιτινάσης και η σταθερότητα του βιομορίου σε όξινο pH και αντικατοπτρίζονται αφενός στην παρουσία του συντηρημένου ενεργού κέντρου δραστηριότητας χιτινάσης (DXDXDWE) και αφετέρου στην ύπαρξη δύο συγκεκριμένων κυστεϊνών (Cys49-Cys392) οι οποίες σχηματίζουν έναν δισουλφιδικό δεσμό. Αυτά, αποτελούν τα κριτήρια διαχωρισμού της πεπτικής χιτινάσης από τις υπόλοιπες συγγενικές της χιτινάσες. Στην συνέχεια, αφαιρέθηκαν αλληλουχίες οι οποίες κωδικοποιούνται από το ίδιο γονίδιο και αποτελούν εναλλακτικά μεταγγραφα. Τέλος, για την επιβεβαίωση της ομολογίας πραγματοποιήθηκε αντίστροφο (Reciprocal) BLAST. Τα Reciprocal Best Hits αποτελούν την πιο συχνή μέθοδο για την ανίχνευση ομόλογων στη συγκριτική γονιδιωματική (Moreno-Hagelsieb & Latimer, 2007). Ένα Reciprocal Best Hit ανιχνεύεται όταν οι πρωτεΐνες που κωδικοποιούνται από δύο γονίδια, καθένα σε διαφορετικό γονιδίωμα, εντοπίζουν η μία την άλλη ως το καλύτερο αποτέλεσμα βαθμολογίας (Best Hit) στο αντίστοιχο γονιδίωμα. Αυτή η προσέγγιση βοηθά στην επιβεβαίωση της ύπαρξης εξελικτικής σχέσης μεταξύ των γονιδίων, καθώς αποκλείουν τα ψευδώς θετικά αποτελέσματα. Μεταξύ των ειδών που διερευνήθηκαν, βρίσκεται η γενεαλογία του είδους Spotted gar (*Lepisosteus ocalatus*), η οποία βρίσκεται εξελικτικά πριν από τον τρίτο γύρο διπλασιασμού ολόκληρου του γονιδιώματος (Teleost Specific Genome Duplication – TSGD).

Καταλυτική τριάδα

Στην περίπτωση του ανθρώπου η πεπτική χιτινάση φέρει τρία θετικά φορτισμένα αμινοξέα (Arg145, His208, His269), τα οποία υποστηρίζεται ότι εμπλέκονται στην ενεργοποίηση του ενζύμου από το όξινο pH, είναι απαραίτητα για την σωστή λειτουργία της ενεργούς θέσης χιτινάσης και είναι συντηρημένα ανάμεσα στα είδη (Olland et al., 2008). Για την διερεύνηση αυτού, η τριάδα των αμινοξέων σημειώθηκε χειροκίνητα κατά την διάρκεια της στοίχισης των αλληλουχιών, με αποτέλεσμα την λήψη πληροφοριών για το είδος των αμινοξέων, το συνολικό φορτίο της τριάδας και

την θέση τους. Επιπλέον, για την απεικόνιση των συντηρημένων αμινοξέων δημιουργήθηκε ένα WebLogo (λογότυπο αλληλουχιών) χρησιμοποιώντας την εφαρμογή WebLogo 3 (Crooks et al., 2004). Το WebLogo είναι μια γραφική αναπαράσταση των αμινοξέων μιας πολλαπλής στοίχισης αλληλουχιών. Κάθε λογότυπο αποτελείται από στήλες συμβόλων, μία στήλη για κάθε θέση της αλληλουχίας. Το συνολικό ύψος της στήλης δείχνει τον βαθμό διατήρησης της αλληλουχίας στη συγκεκριμένη θέση, ενώ το ύψος των συμβόλων μέσα στη στήλη υποδηλώνει τη σχετική συχνότητα κάθε αμινοξέος ή νουκλεϊκού οξέος σε αυτή τη θέση. Πριν τη φυλογενετική ανάλυση, οι στοιχίσεις επεξεργάστηκαν χειροκίνητα μέσω του προγράμματος AliView (Larsson, 2014), όπου αφαιρέθηκαν κενά ή/και ασαφή τμήματα που υπήρχαν στις αλληλουχίες με αποτέλεσμα την μετατόπιση της θέσης των τριών καταλυτικών αμινοξέων.

Αναγνώριση των περιοχών του ενζύμου

Η ανίχνευση των περιοχών της πρωτεΐνης (CH18, catalytic domain και CBD, carbohydrate-binding module) έγινε με τη χρήση του αλγόριθμου dbCAN3 (Zheng et al., 2018). Ο dbCAN3 είναι ένας αυτοματοποιημένος αλγόριθμος που εντοπίζει τις ενεργές περιοχές των ενζύμων υδρόλυσης υδατανθράκων και προβλέπει τα υποστρώματα που χρησιμοποιούν. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν όλες οι αλληλουχίες των ειδών, αφού προηγουμένως φιλτραρίστηκαν βάσει του ενεργού κέντρου και των επιπλέον κυστεϊνών του βιομορίου. Το αποτέλεσμα είναι η συλλογή πληροφοριών για τον αριθμό EC (Enzyme Commission number), την παρουσία της περιοχής υδρόλυσης της χιτίνης και τη θέση της, καθώς και την παρουσία των περιοχών δέσμευσης υδατανθράκων.

Σηματοδοτική αλληλουχία εκκριτικού μονοπάτιού

Για να μελετηθεί η ύπαρξη σηματοδοτικών αλληλουχιών οι οποίες καθοδηγούν τις πρωτεΐνες στο αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο (ER), χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος TargetP (Armenteros et al., 2019). Ο TargetP έχει μεγαλύτερη ακρίβεια στην πρόβλεψη της θέσης τομής, δηλαδή το σημείο όπου θα κόψει η πεπτιδάση (Imai & Nakai, 2020). Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν όλες οι αλληλουχίες των ειδών, και λήφθηκαν πληροφορίες για το είδος της σηματοδοτικής αλληλουχίας, μετά το αρχικό φιλτράρισμα με βάση το ενεργό κέντρο και τις επιπλέον κυστεΐνες του βιομορίου, την πιθανότητα αυτού του σήματος να βρίσκεται σε πρωτεΐνες του εκκριτικού μονοπατιού (SP), τη θέση τομής, καθώς και την πιθανότητα της θέσης τομής.

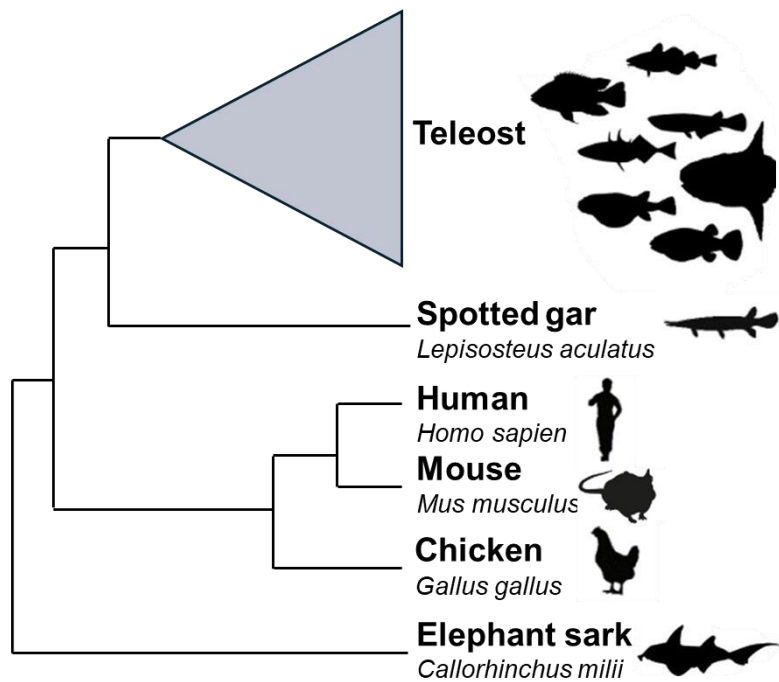
3.3 Φυλογενετική ανάλυση

Για τον προσδιορισμό της εξελικτικής ιστορίας και των εξελικτικών σχέσεων μεταξύ των ομόλογων γονιδίων των οργανισμών, πραγματοποιήθηκε φυλογενετική ανάλυση.

Πριν τη φυλογενετική ανάλυση, οι στοιχίσσεις επεξεργάστηκαν χειροκίνητα μέσω του προγράμματος AliView (Larsson, 2014), όπου αφαιρέθηκαν κενά ή/και ασαφή τμήματα που υπήρχαν στις αλληλουχίες. Έπειτα χρησιμοποιήθηκε το Mega11 (Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 11) (Tamura et al., 2021) για τη δημιουργία φυλογενετικών δέντρων με καθορισμένη ρίζα, η οποία θα προσδιορίσει την εξελικτική ιστορία των γεγονότων διπλασιασμού των αλληλουχιών. Αρχικά έγινε εντοπισμός του καλύτερου μοντέλου αντικατάστασης το οποίο περιγράφει την εξέλιξη των αλληλουχιών, λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλές αντικαταστάσεις που μπορεί να έχουν συμβεί για μία θέση στο γονίδιο.

Για την κατασκευή των δέντρων των γονιδίων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood). Αυτή η μέθοδος λαμβάνει υπόψη όλες τις θέσεις μιας πολλαπλής στοίχισης αλληλουχιών και υπολογίζει την πιθανότητα για κάθε πιθανό εξελικτικό μονοπάτι, με βάση ένα συγκεκριμένο εξελικτικό μοντέλο, ώστε να προσεγγίσει όσο το δυνατόν καλύτερα την πραγματικότητα. Η στατιστική αξιολόγηση των κλάδων του δέντρου έγινε με τη μέθοδο Bootstrap, κατά την οποία πραγματοποιείται μία τυχαία δειγματοληψία θέσεων της πολλαπλής στοίχισης, από την οποία δημιουργείται μία νέα στοίχιση και με αυτήν υπολογίζεται ένα νέο δέντρο. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται 100 φορές και όλα τα δέντρα συνυπολογίζονται για την δημιουργία ενός νέου. Πάνω στον κόμβο του νέου εμφανίζεται ο αριθμός των bootstrap, δηλαδή η συχνότητα εμφάνισης αυτού του κόμβου (Yang & Rannala, 2012). Γενικά, στα φυλογενετικά δέντρα, κλάδοι με bootstrap κάτω από 50 θεωρούνται μη αξιόπιστοι. Για τη διάκριση των διάφορων οργανισμών με βάση την ταξινόμηση τους, χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά χρώματα στους βρόγχους των δέντρων. Με μπλε συμβολίζονται οι Τελεόστεοι, με πορτοκαλί οι ακτινοπτερίγιοι αλλά μη Τελεόστεοι, με πράσινο οι εκπρόσωποι των Τετραπόδων και οι Χονδρυϊχθύες με μαύρο.

Σύμφωνα με το δέντρο των ειδών (species tree) (Εικόνα 11), το Elephant shark (*Callorhynchus milii*), αποτελεί εξωομάδα των Ευτελεόστομων και η γενεαλογία του έχει διαφοροποιηθεί νωρίτερα από όλα τα υπόλοιπα είδη που συμπεριλαμβάνονται στην παρούσα μελέτη. Ο κλάδος των Τελεόστεων βρίσκεται στην πάνω πλευρά του δέντρου και έξω από αυτόν το Spotted gar (*Lepisosteus oculatus*).



Εικόνα 11: Τοπολογία ενός πρότυπου δέντρου των ειδών ενδιαφέροντος.

3.4 Ανάκτηση πληροφοριών για τους οργανισμούς ενδιαφέροντος

Στην παρούσα μελέτη, συγκεντρώθηκαν στοιχεία για κάποιους ακτινοπτερύγιους προκειμένου να εξεταστεί η παρουσία του γονιδίου που κωδικοποιεί για την πεπτική χιτινάση, υπό την επίδραση κάποιων οικοφυσιολογικών παραγόντων. Οι οργανισμοί αυτοί λήφθηκαν από την βάση δεδομένων της NCBI, Reference protein (RefSeq protein) κατά την διάρκεια της διερεύνησης της και της ανάκτηση αλληλουχιών, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) (Altschul et al., 1990). Μετά τον αρχικό έλεγχο, με βάση τα δομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του ενζύμου, διαπιστώθηκε ότι πολλοί οργανισμοί δεν κωδικοποιούσαν για την πεπτική χιτινάση. Συνεπώς, οι οργανισμοί αυτοί μπορεί να φέρουν ή να μην φέρουν το ένζυμο ενδιαφέροντος.

Πέραν των γενετικών πληροφοριών, αναζητήθηκαν δεδομένα από την FishBase για όλα τα είδη ψαριών. Η FishBase (Froese et al., 2023) είναι μια ιδιαίτερα χρήσιμη βάση δεδομένων που συγκεντρώνει εκτενείς πληροφορίες για περισσότερα από 34.000 είδη ψαριών. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, λήφθηκαν από την FishBase πληροφορίες για την ταξινομική κατανομή των ειδών και εάν ζουν στο γλυκό ή αλμυρό νερό. Επιπλέον πληροφορίες που συλλέχθηκαν αφορούν την κλιματική ζώνη και το εύρος βάθους στο οποίο απαντώνται οι εν λόγω οργανισμοί, καθώς και τις μεταναστευτικές και διατροφικές τους συνήθειες.

Ακόμη, πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική αναζήτηση για την καταγραφή ανατομικών δομών όπως το στομάχι και τα φαρυγγικά δόντια των εξεταζόμενων

οργανισμών. Η παρουσία ή έλλειψη αυτών των δομών καταγράφηκε προκειμένου να συγκεντρωθούν λεπτομερείς πληροφορίες για την ανατομία και τη φυσιολογία των ειδών αυτών, ενισχύοντας την κατανόηση για τη βιολογία και τον τρόπο ζωής των ακτινοπτερυγίων. Με την παραπάνω προσέγγιση, επιτεύχθηκε η λήψη μιας πιο ολοκληρωμένης εικόνας για τους εξεταζόμενους οργανισμούς.

Τέλος, συλλέχθηκαν πληροφορίες για την παρουσία του πεπτικού ενζύμου πεψινογόνου A (*pga*). Το συγκεκριμένο ένζυμο χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης για την παρουσία στομαχίου, καθώς σύμφωνα με την θεωρία (Castro et al. 2013), η απουσία του πεψινογόνου A (*pga*) συσχετίζεται με την απουσία του στομαχίου αλλά όχι με απόλυτο τρόπο. Η διερεύνηση και η ανάκτηση των αλληλουχιών του πεψινογόνου πραγματοποιήθηκε με τον ίδιο τρόπο με αυτήν όπως και για την πεπτική χιτινάση.

4. Αποτελέσματα

4.1 Διερεύνηση βάσεων δεδομένων και ανάκτηση αλληλουχιών

Από την βάση δεδομένων, εντοπίστηκαν με BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) (Altschul et al., 1990) 198 είδη με 1932 αλληλουχίες. Οι οργανισμοί αυτοί είναι όσοι εμφανίζουν αλληλουχίες με κάποια ποσοστά ομοιότητας με την αλληλουχία επερώτησης και εμπεριέχονται στην βάση δεδομένων της NCBI, Reference protein (RefSeq). Συνεπώς, δεν επιλέχθηκαν αλλά λήφθηκαν κατά την διάρκεια της διερεύνησης και της ανάκτησης αλληλουχιών, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο BLAST (Basic Local Alignment Search Tool). Εντούτοις, είναι αναμενόμενο ότι δεν κωδικοποιούν όλοι για την πεπτική χιτινάση. Στόχος του αλγόριθμου BLASTP (Basic Local Alignment Search Tool for Proteins) είναι να εντοπίσει περιοχές ομοιότητας μεταξύ αλληλουχιών που μπορούν να υποδεικνύουν εξελικτικές σχέσεις. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο αλγόριθμος BLAST εντόπισε αυτόν τον μεγάλο αριθμό αλληλουχιών, καθώς το ένζυμο ενδιαφέροντος ανήκει σε μία οικογένεια χιτινασών που μοιράζονται ομοιότητες, με αποτέλεσμα να ληφθούν και συγγενικά ένζυμα. Όλες οι πρωτεΐνες που εντοπίστηκαν είναι ομόλογες αλλά όχι ορθόλογες και φαίνεται να έχουν προκύψει από γονιδιακούς διπλασιασμούς ή άλλες εξελικτικές διαδικασίες. Επομένως, δεν αντικατοπτρίζουν όλες οι αλληλουχίες το ένζυμο της πεπτικής χιτινάσης ανάμεσα στα διάφορα είδη, αλλά πρόκειται και για αλληλουχίες συγγενικών ενζύμων.

4.2 Στοίχιση αλληλουχιών

Διερεύνηση της Δομής και της Λειτουργίας του Ενζύμου

Μετά την απόρριψη αλληλουχιών με βάση τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ενζύμου, δηλαδή την λειτουργία του σε όξινο περιβάλλον, προκύπτουν 113 είδη με 245 αλληλουχίες. Στους τελεόστεους εντοπίστηκε ποικιλία του αριθμού των παράλογων του γονιδίου που κωδικοποιεί για την πεπτική χιτινάση, όπως φαίνεται και στον Πίνακα Π1. Συγκεκριμένα για το λαβράκι και την τσιπούρα εντοπίστηκαν 2 παράλογα και στα δύο είδη. Ένα ορθόλογο εντοπίστηκε στον άνθρωπο και ένα στο Elephant shark (*Callorhinchus milii*), το οποίο δεν τηρεί τα κριτήρια επιλογής και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ρίζα. Τέλος, το Spotted gar έχει 2 παράλογα. Αποτελέσματα για τον αριθμό των γονιδίων στα είδη που αναφέρονται παραπάνω φαίνονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Σύνοψη του αριθμού των ομόλογων γονιδίων ειδών έντονου ενδιαφέροντος.

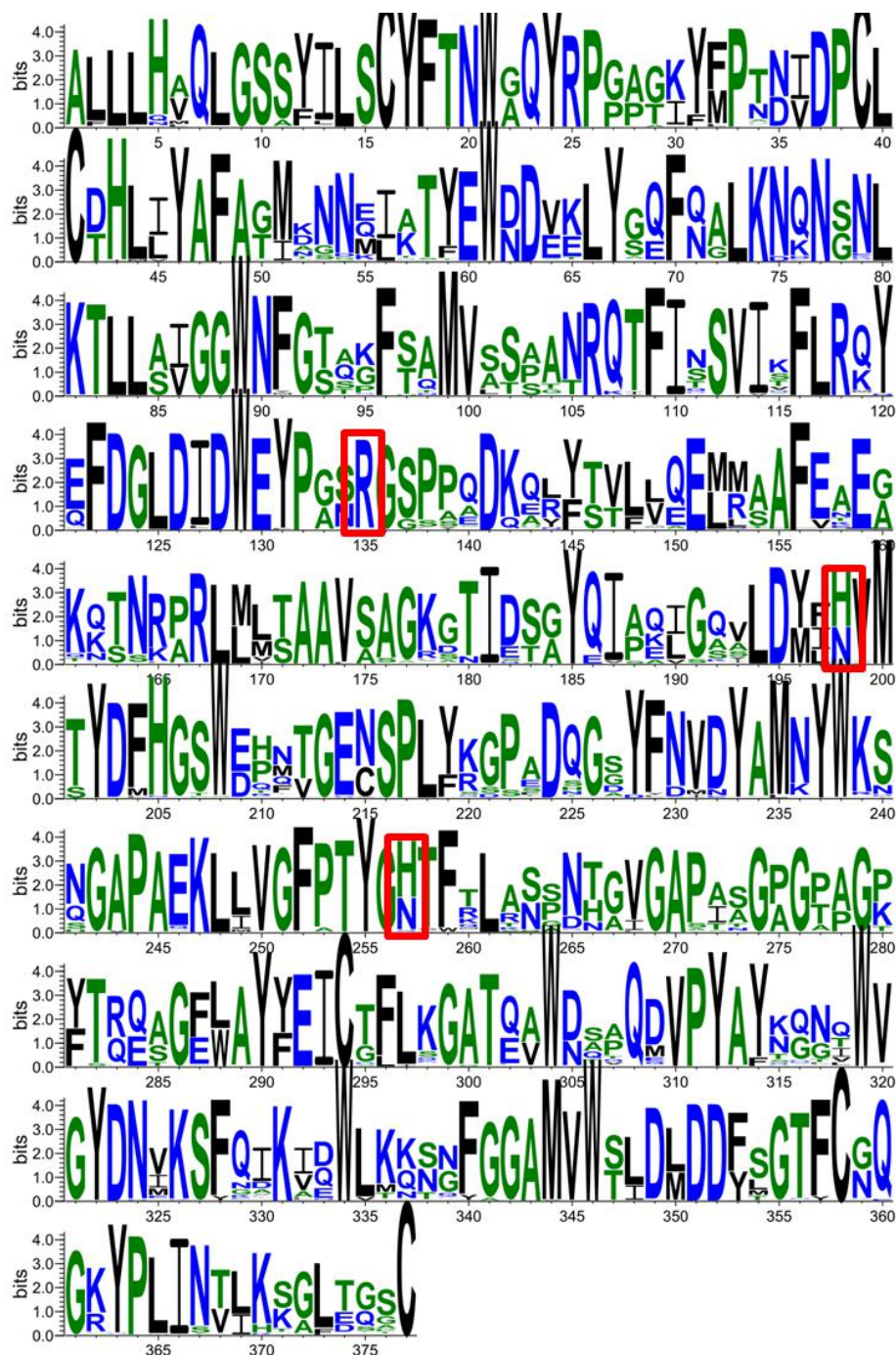
Επιστημονική ονομασία	Κοινή ονομασία	Αριθμός γονιδίων <i>chia</i>
<i>Homo sapiens</i>	Ανθρώπος	1
<i>Lepisosteus oculatus</i>	Spotted gar	2
<i>Callorhinchus milii</i>	Elephant shark	-
<i>Sparus aurata</i>	Τσιπούρα	2
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Λαβράκι	2

Καταλυτική τριάδα

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής WebLogo 3 (Crooks et al., 2004) σχετικά με την συντήρηση της τριάδας των καταλυτικών αμινοξέων φαίνονται στην Εικόνα 12. Πριν την χρήση της εφαρμογής οι στοιχίσεις επεξεργάστηκαν χειροκίνητα και αφαιρέθηκαν κενά ή/και ασαφή τμήματα που υπήρχαν στις αλληλουχίες με αποτέλεσμα την μετατόπιση της θέσης των τριών καταλυτικών αμινοξέων. Η αργινίνη (Arg/R) 145 μετατοπίστηκε στην θέση 135, η ιστιδίνη (His/H) 208 στην θέση 198 και η ιστιδίνη (His/H) 269 στην θέση 257. Μόνο το αμινοξύ αργινίνη στην θέση 135 είναι συντηρημένο ανάμεσα στα είδη, ενώ τα αμινοξέα ιστιδίνη στην θέση 198 και ιστιδίνη στην θέση 257, καταλαμβάνονται από ιστιδίνη και λιγότερο συχνά από ασπαραγίνη (Asn/N). Πληροφορίες για το είδος των αμινοξέων, το συνολικό φορτίο της τριάδας και την θέση τους φαίνονται στον Πίνακα Π2. Η θέση των αμινοξέων αλλάζει ελάχιστα ανάλογα με το συνολικό μέγεθος της κάθε πρωτεΐνης, ενώ το φορτίο των αμινοξέων συχνά μεταβάλλεται. Ωστόσο, το συνολικό φορτίο της καταλυτικής τριάδας παραμένει σταθερό. Παραδείγματα των ειδών ενδιαφέροντος φαίνονται στον Πίνακα 5. Η αλληλουχία του Elephant shark (*Callorhinchus milii*), όπως ήταν αναμενόμενο, ακολουθεί το δικό της πρότυπο.

Πίνακας 5: Καταλυτική τριάδα κάποιων ομόλογων γονιδίων και το φορτίο της.

Αλληλουχία	1° αμινοξύ - φορτίο	2° αμινοξύ - φορτίο	3° αμινοξύ - φορτίο	Συνολικό φορτίο
<i>Homo sapiens</i>	Arg145 – (+)	His208 – (+)	His269 – (+)	+
<i>Lepisosteus oculatus</i> (α)	Arg145 – (+)	His208 – (+)	His269 – (+)	+
<i>Lepisosteus oculatus</i> (β)	Arg145 – (+)	Asn208 – (0)	Gln269 – (0)	+
<i>Callorhinchus milii</i>	Arg143 – (+)	Ser206 – (0)	Arg267 – (+)	+
<i>Sparus aurata</i> (α)	Arg145 – (+)	His208 – (+)	His269 – (+)	+
<i>Sparus aurata</i> (β)	Arg145 – (+)	Asn208 – (0)	Asn269 – (0)	+
<i>Dicentrarchus labrax</i> (α)	Arg145 – (+)	His208 – (+)	His269 – (+)	+
<i>Dicentrarchus labrax</i> (β)	Arg145 – (+)	Asn208 – (0)	Asn269 – (0)	+



Εικόνα 12: : WebLogo των αλληλουχιών της πεπτικής χιτίνης. Καταλυτική τριάδα: Arg 135, His 198, His 257.

Αναγνώριση των περιοχών του ενζύμου

Σύμφωνα με τον αλγόριθμο dbCAN3, σε όλες τις αλληλουχίες ανιχνεύεται η ενεργή περιοχή υδρόλυσης χιτίνης, αν και η θέση της μπορεί να διαφέρει. Η παρουσία της ενεργής περιοχής υποδεικνύει ότι πρόκειται για ενεργό ένζυμο υδρόλυσης χιτίνης, χωρίς όμως να εγγυάται ότι πρόκειται συγκεκριμένα για την πεπτική χιτίνιση. Ταυτόχρονα, ο αλγόριθμος εντόπισε την περιοχή δέσμευσης υδατανθράκων (CBM14 ή 14 carbohydrate-binding module) σε όλες τις αλληλουχίες, εκτός από το ένα

παράλογο των ειδών *Paramormyrops kingsleyae*, *Anarrhichthys ocellatus*, *Oncorhynchus tshawytscha*, *Siniperca chuatsi*, *Neoarius graeffei* και *Eleginops maclovinus* όπως φαίνεται στον Πίνακα Π3. Αποτελέσματα του αλγόριθμου dbCAN3 για αλληλουχίες ειδών ενδιαφέροντος φαίνονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6: Αποτελέσματα του αλγόριθμου dbCAN3 για αλληλουχίες ορισμένων ειδών.

Αλληλουχία	Περιοχή υδρόλυσης χιτίνης - θέση	Περιοχή δέσμευσης υδατανθράκων – θέση
<i>Homo sapiens</i>	GH18 (22-366)	CBM14
<i>Lepisosteus oculatus</i> (α)	GH18 (22-366)	CBM14
<i>Lepisosteus oculatus</i> (β)	GH18 (23-365)	CBM14
<i>Callorhinchus milii</i>	GH18 (2-347)	CBM14
<i>Sparus aurata</i> (α)	GH18 (23-365)	CBM14
<i>Sparus aurata</i> (β)	GH18 (25-367)	CBM14
<i>Dicentrarchus labrax</i> (α)	GH18 (23-365)	CBM14
<i>Dicentrarchus labrax</i> (β)	GH18 (25-366)	CBM14

Σηματοδοτική αλληλουχία εκκριτικού μονοπατιού

Σύμφωνα με το TargetP οι περισσότερες αλληλουχίες έχουν σήμα ενδοπλασματικού εντοπισμού, ανήκουν στις πρωτεΐνες του εκκριτικού μονοπατιού με τη θέση τομής της πεπτιδάσης να βρίσκεται ανάμεσα στα 21 με 22 κατάλοιπα αμινοξέων. Οι αλληλουχίες του *Homo sapiens*, του *Dicentrarchus labrax*, του *Sparus aurata* και του *Lepisosteus oculatus* αποτελούν τέτοια παραδείγματα. Το Elephant shark (*Callorhinchus milii*) πιθανόν δεν έχει σήμα, κάτι που ήταν αναμενόμενο. Ακόμη, σήμα του εκκριτικού μονοπατιού δεν εντοπίστηκε στο ένα παράλογο των ειδών *Eleginops maclovinus* (διαφορετικό από αυτό στο οποίο δεν εντοπίστηκε η περιοχή δέσμευσης υδατανθράκων), *Pseudochaenichthys georgianus*, *Gymnodraco acuticeps*, *Alosa sapidissima*, *Alosa alosa*, *Polyodon spathula*, *Oncorhynchus masou masou*, *Scomber scombrus*, *Gadus morhua*, *Monopterus albus* και *Platichthys flesus* όπως φαίνεται στον Πίνακα Π4. Αποτελέσματα της εφαρμογής TargetP για αλληλουχίες ειδών ενδιαφέροντος φαίνονται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7: Αποτελέσματα του αλγόριθμου TargetP για ορισμένες αλληλουχίες.

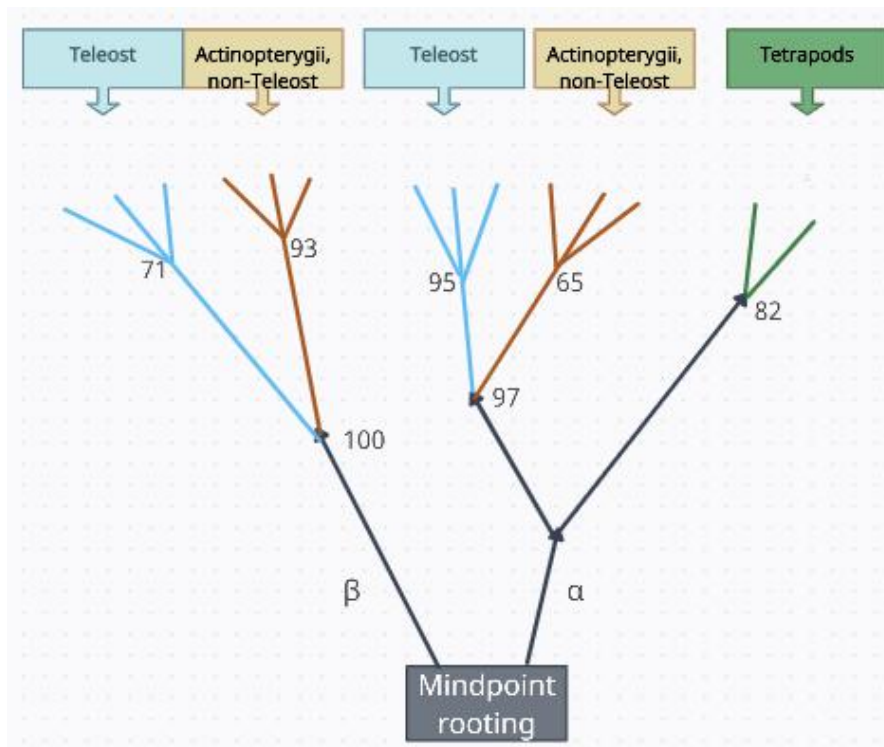
Αλληλουχία	Σήμα (SP) - Πιθανότητα	Θέση τομής – Πιθανότητα
<i>Homo sapiens</i>	+ (0.997292)	21-22 (0.9190)
<i>Lepisosteus oculatus</i> (α)	+ (0.996988)	21-22 (0.9423)
<i>Lepisosteus oculatus</i> (β)	+ (0.989146)	21-22 (0.7745)
<i>Callorhinchus milii</i>	- (0.005888)	-
<i>Sparus aurata</i> (α)	+ (0.995059)	21-22 (0.8120)
<i>Sparus aurata</i> (β)	+ (0.980877)	21-22 (0.7175)
<i>Dicentrarchus labrax</i> (α)	+ (0.996521)	21-22 (0.8183)
<i>Dicentrarchus labrax</i> (β)	+ (0.984238)	21-22 (0.7240)

4.3 Φυλογενετική ανάλυση

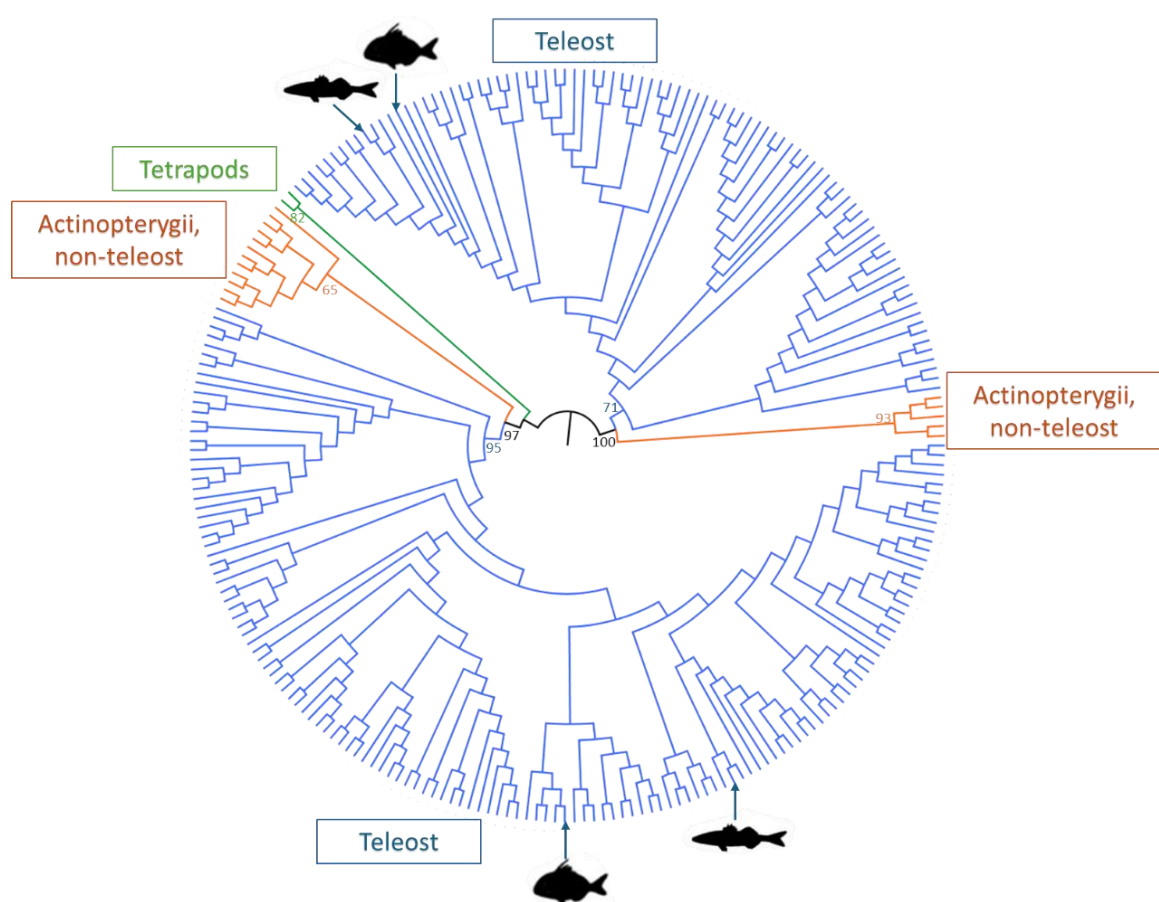
Για την κατασκευή του φυλογενετικού δέντρου, βρέθηκε ότι το βέλτιστο εξελικτικό μοντέλο των αλληλουχιών ήταν το LG G + I. Η αλληλουχία του Elephant shark (*Callorhynchus milii*) δεν χρησιμοποιήθηκε ως ρίζα, καθώς πρόκειται για διαφορετικό ένζυμο. Η μία αλληλουχία του κοτόπουλου (*Gallus gallus*) και η αλληλουχία του ποντικού (*Mus musculus*) αφαιρέθηκαν από την ανάλυση γιατί ο εξελικτικός της ρυθμός τους ήταν μεγάλος και οι αλληλουχίες τόσο διαφοροποιημένες, που επηρέαζαν την τοπολογία του δέντρου.

Στην παρούσα ανάλυση, δεν εντοπίστηκε κάποιο προγονικό είδος που να φέρει την πεπτική χιτινάση. Επομένως, κατασκευάστηκε ένα φυλογενετικό δέντρο χωρίς καθορισμένη ρίζα, αλλά χρησιμοποιώντας την μέθοδο Midpoint rooting. Σε αυτήν τη μέθοδο, υπολογίζεται η μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των πιο απομακρυσμένων άκρων, και η ρίζα τοποθετείται στο μέσο.

Στην βάση του δέντρου υπάρχουν δύο μεγάλοι κλάδοι. Σε κάθε έναν κλάδο υπάρχει ένα γονίδιο του *Lepisosteus oculatus* ομαδοποιημένο με γονίδια των υπόλοιπων ακτινοπερύγιων οι οποίοι δεν είναι τελεόστεοι και ένας κλάδος αποκλειστικά με τελεόστεους. Επιπλέον, στον έναν κλάδο ομαδοποιούνται ξεχωριστά από όλα τα άλλα είδη, οι εκπρόσωποι των τετραπόδων. Τα αποτελέσματα του δέντρου είναι αξιόπιστα, καθώς οι σημαντικοί κλάδοι παρουσιάζουν σχετικά υψηλές τιμές bootstrap. Η τοπολογία του δέντρου φαίνεται για λόγους απλούστευσης στην Εικόνα 13 και δείχνει την ύπαρξη ενός διπλασιασμού 2R, με τον κόμβο αυτού του διπλασιασμού να βρίσκεται στη βάση των α, και β κλάδων. Το φυλογενετικό δέντρο, στο οποίο αναγράφονται μόνο οι ταξινομικές ομάδες των οργανισμών, φαίνεται στην Εικόνα 14, έχοντας κυκλική μορφή. Αναλυτικά, βρίσκεται στην Εικόνα Π1.



Εικόνα 13: Τοπολογία του φυλογενετικού δέντρου της πεπτικής χιτίνωσης.



Εικόνα 14: Φυλογενετικό δέντρο για τις ομόλογες αλληλουχίες του ενζύμου της πεπτικής χιτίνωσης.

Παρατηρήθηκε, ότι οι πολυφυλετικές ομάδες των Ακτινοπτερύγιων στους κλάδους α και β όπως φαίνεται στην Εικόνα 13, παρουσιάζουν διαφορές στις αλληλουχίες τους και συγκεκριμένα στην καταλυτική τριάδα αμινοξέων. Οι αλληλουχίες της ομάδας του κλάδου α περιέχουν τρία θετικά φορτισμένα αμινοξέα, με το μοτίβο Arg-His-His να είναι το πιο διαδεδομένο. Αντίθετα, οι αλληλουχίες της ομάδας του κλάδου β έχουν μία καταλυτική τριάδα με ένα θετικά φορτισμένο και δύο ουδέτερα αμινοξέα, με το μοτίβο Arg-Asn-Asn να επικρατεί. Αυτές οι πληροφορίες φαίνονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα Π2.

4.4 Ανάκτηση πληροφοριών για τους οργανισμούς ενδιαφέροντος

Στην ταυτόχρονη μελέτη των γενετικών πληροφοριών σε συνδυασμό με τις οικοφυσιολογικές πληροφορίες που παρέχει η Fishbase και άλλες βιβλιογραφικές πηγές, συμβάλει ένας συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας Π5).

Στην πρώτη στήλη του πίνακα περιλαμβάνονται όλοι οι οργανισμοί που εντοπίστηκαν στη βάση δεδομένων της NCBI, Reference protein (RefSeq), ενώ στη δεύτερη στήλη εμφανίζεται ο αριθμός των παράλογων γονιδίων για κάθε οργανισμό. Η δεύτερη στήλη μπορεί να έχει τιμές 0, 1, 2, 3, 4 ή 5. Ακολουθεί μία στήλη που δείχνει την οικογένεια στην οποία ανήκει κάθε είδος και στην συνέχεια η επόμενη στην οποία αναφέρεται αν ζει σε γλυκό ή αλμυρό νερό. Η στήλη στην οποία αναγράφεται η κλιματική ζώνη, όπου υπάρχει, μπορεί να λάβει τις τιμές Temperate, Tropical, Subtropical, Boreal και Polar. Επίσης όταν αναγράφεται θερμοκρασιακό εύρος σημειώνεται και αυτό. Οι επόμενες τρεις στήλες με το εύρος βάθους, την μετανάστευση και την διατροφή μπορούν να λάβουν ποικίλες τιμές. Οι τελευταίες στήλες αναγράφουν την παρουσία ή την απουσία του στομαχιού, των φαρυγγικών δοντιών και του πεψινογόνου A (*pga*). Ο συγκεντρωτικός πίνακας φαίνεται στον Πίνακα Π5.

5. Συζήτηση

Χιτινάση, Πεψινογόνο και Στομάχι στους Οργανισμούς

- Πεψινογόνο και ύπαρξη στομάχου

Στην παρούσα μελέτη, παρατηρήθηκε ότι όλοι οι οργανισμοί που έχουν το γονίδιο του πεψινογόνου A διαθέτουν στομάχι, κάτι που επιβεβαιώνει την υπόθεση ότι η απώλεια του στομαχιού συνδέεται με την απώλεια του πεψινογόνου (Castro et al., 2013). Η σύνδεση αυτή, εντοπίζεται επειδή τα κύτταρα του στομάχου είναι αυτά που παράγουν το πεψινογόνο A και αυτό ενεργοποιείται μόνο στο όξινο περιβάλλον που παρέχει η κοιλότητα. Ωστόσο, εντοπίζονται και κάποιες εξαιρέσεις. Στο είδος *Takifugu rubripes*, το οποίο δεν έχει όξινο στομάχι, το ένζυμο του πεψινογόνου A, έχει διατηρηθεί με σκοπό να επιτελεί διαφορετική λειτουργία από αυτήν της πέψης των τροφών (Castro et al., 2013). Ακόμη, στο είδος *Astatotilapia calliptera*, αν και έχει στομάχι, δεν εντοπίζεται το πεψινογόνο A (*pga*). Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι κάποιοι οργανισμοί που φέρουν στομάχι έχουν τροποποιημένη έκφραση του πεψινογόνου A (*pga*). Στα δύο είδη του γένους *Solea* (*Solea solea*, *Solea senegalensis*), τα πεψινογόνα (*pga*) εκφράζονται μόνο κατά την διάρκεια της μεταμόρφωσης (Yúfera & Darías, 2007), ενώ το είδος *Boleophthalmus pectinirostris*, φαίνεται να εκφράζει σε μικρό επίπεδο το πεψινογόνο A (*pga*) (Renxie et al., 2010) σε σχέση με άλλα ψάρια και οι αντλίες πρωτονίων (*atp4a*, *atp4b*) του συγκεκριμένου είδους πιθανόν να μην είναι λειτουργικές (Esfandiari et al., 2022).

- Χιτινάση και ύπαρξη στομάχου

Παρατηρείται επίσης ότι όλοι οι οργανισμοί στους οποίους εντοπίζεται το γονίδιο της χιτινάσης έχουν στομάχι. Το στομάχι είναι ένα ζωτικό όργανο για την πέψη των τροφών και φαίνεται να υπάρχει στενή σχέση μεταξύ της ύπαρξης χιτινάσης και της παρουσίας αυτού του οργάνου. Η στενή σχέση μεταξύ τους πιθανόν οφείλεται στην φυσιολογία του ενζύμου και συγκεκριμένα στο γεγονός ότι ενεργοποιείται από το όξινο περιβάλλον του στομάχου. Το στομάχι αποτελεί εξελικτική καινοτομία στην γενεαλογία των γναθόστομων σπονδυλωτών και υπολογίζεται ότι τα γαστρικά κύτταρα εμφανίστηκε πρώτη φορά περίπου πριν από 423 MYA (Pfeifer Louis, 2020). Επομένως, στην φυλογενετική ανάλυση της πεπτικής χιτινάσης, είναι λογικό που δεν υπάρχουν εκπρόσωποι των άγναθων (*Petromyzon marinus*, *Myxine glutinosa*). Ωστόσο, δεν έχουν όλοι οι οργανισμοί με στομάχι την ικανότητα να φέρουν χιτινάση. Αυτό δείχνει ότι το στομάχι μπορεί να έχει διαφορετική φυσιολογία και η παρουσία χιτινάσης δεν είναι απαραίτητη για την επιβίωση όλων των οργανισμών με στομάχι.

Συγκεκριμένα, οι οργανισμοί που έχουν στομάχι αλλά όχι χιτινάση παρουσιάζουν συγκεκριμένες προσαρμογές ή ιδιαιτερότητες στη λειτουργία του στομαχιού τους.

Στο είδος *Boleophthalmus pectinirostris*, εντοπίζεται στομάχι αλλά οι αντλίες πρωτονίων (*atp4a*, *atp4b*) του συγκεκριμένου είδους πιθανόν να μην είναι λειτουργικές (Kaveh Esfandiyari et al., 2022). Στα είδη *Solea senegalensis* και *Solea solea* το pH του στομάχου τους παραμένει σχετικά ουδέτερο (6-7) (Yúfera and Darías, 2007) και το είδος *Thalassophryne amazonica* ανήκει σε μία οικογένεια που δεν έχει καλά οριοθετημένο στομάχι (Vieira et al., 2023). Σε όλες τις περιπτώσεις, η απουσία της χιτινάσης μπορεί να συνδέεται με την έλλειψη όξινου περιβάλλοντος κι όχι απλά με την δομή του στομάχου. Ταυτόχρονα, υπάρχουν κι άλλα είδη που έχουν στομάχι αλλά δεν φέρουν την πεπτική χιτινάση, κάτι που θα μπορούσε να υποδηλώνει τροποποιήσεις στην λειτουργία του στομάχου ή προσαρμογές των πεπτικών ενζύμων. Αυτοί οι οργανισμοί είναι *Haplochromis burtoni*, *Stegastes partitus*, *Astatotilapia calliptera*, *Limanda limanda*, *Maylandia zebra*, *Oreochromis aureus*, *Oreochromis niloticus* και *Pundamilia nyererei*.

- Χιτινάση και Πεψινογόνο

Η χιτινάση και το πεψινογόνο είναι πεπτικά ένζυμα των οποίων η ενεργοποίηση εξαρτάται από το pH του στομάχου. Η διαφορά στην ενεργοποίηση εντοπίζεται στο ότι το πεψινογόνο είναι πρόδρομο μόριο που υφίσταται πρωτεολυτική ενεργοποίηση ενώ η χιτινάση δεν χρειάζεται τέτοια τροποποίηση. Σύμφωνα με τα δεδομένα, όλοι οι οργανισμοί στους οποίους υπάρχει η χιτινάση, εντοπίζεται επίσης και το πεψινογόνο. Ωστόσο, η αντίστροφη σχέση δεν είναι απόλυτη.

Η σχέση μεταξύ της χιτινάσης, του πεψινογόνου και της ύπαρξης στομαχιού στους οργανισμούς είναι σύνθετη και διαφέρει μεταξύ των ειδών. Η έκφραση της χιτινάσης σχετίζεται άμεσα με την ύπαρξη στομαχιού και την έκφραση του πεψινογόνου, αλλά δεν είναι απαραίτητη για όλους τους οργανισμούς με στομάχι. Οι οργανισμοί που διαθέτουν στομάχι αλλά δεν έχουν χιτινάση φαίνεται να έχουν αναπτύξει συγκεκριμένες εξελικτικές προσαρμογές που επηρεάζουν τη φυσιολογία και το pH του στομάχου ή την φυσιολογία των πεπτικών ενζύμων. Αυτό, σε συνδυασμό με όλα τα παραπάνω πιθανόν υποδηλώνει ότι το πεψινογόνο είναι δείκτης της ύπαρξης στομάχου, ενώ η πεπτική χιτινάση είναι δείκτης της ύπαρξης όξινου περιβάλλοντος σε αυτήν την δομή.

Οικοφυσιολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν την λειτουργία της πεπτικής χιτινάσης

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, η παρουσία της πεπτικής χιτινάσης εξαρτάται από παράγοντες όπως το περιβάλλον διαβίωσης και η φυσιολογία των ψαριών. Στη μελέτη, εξετάσαμε την παρουσία ή την απουσία της χιτινάσης σε ψάρια διαφορετικών κατηγοριών, με βάση παράγοντες όπως η αλατότητα, η θερμοκρασία του οικοσυστήματος, το βάθος διαβίωσης, η μεταναστευτική συμπεριφορά, η διατροφή και η ύπαρξη φαρυγγικών δοντιών.

- Παρουσία της χιτινάσης σε σχέση με την αλατότητα

Σύμφωνα με έρευνες στους οργανισμούς *Scomber japonicus* και *Pennahia argentata*, υποστηρίζεται ότι η κατάποση με την τροφή προσθήκη NaCl οδηγεί σε ενεργοποίηση της πεπτικής χιτινάσης (Matsumiya et al., 2015). Θεωρείται ότι αυτό το χαρακτηριστικό αντικατοπτρίζει έναν φυσιολογικό ρόλο των χιτινασών στην πέψη διατροφικών συστατικών παρουσία αλάτων. Γενικά, παρατηρήθηκε ότι στα ψάρια του γλυκού νερού απουσιάζει η χιτινάση πιο συχνά σε σχέση με τα ψάρια του αλμυρού νερού. Συγκεκριμένα, από τα 88 είδη ψαριών γλυκού νερού, 49 δεν έχουν χιτινάση, ενώ από τα 101 είδη ψαριών αλμυρού νερού, μόνο 33 δεν έχουν το ένζυμο αυτό. Ωστόσο, τα δεδομένα αυτά προκύπτουν από μία συγκεκριμένη ομάδα ψαριών που λήφθηκε από την βάση δεδομένων και πιθανόν να μην είναι αντιπροσωπευτικά (Πίνακας Π1).

- Παρουσία της πεπτικής χιτινάσης σε σχέση με την θερμοκρασία

Η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργία των πεπτικών ενζύμων, ιδιαίτερα όταν βρεθούν εκτός του βέλτιστου εύρους δράσης τους (Amin et al., 2016). Αναλύοντας την επίδραση της θερμοκρασίας στο περιβάλλον των ψαριών, διαπιστώθηκε ότι τα είδη που ζουν σε πολικά και βόρεια περιβάλλοντα εμφανίζουν πάντοτε χιτινάση, ωστόσο ο περιορισμένος αριθμός ειδών σε αυτές τις κατηγορίες δεν επιτρέπει την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων. Αντίθετα, στα τροπικά και υποτροπικά είδη παρατηρήθηκε η απουσία της χιτινάσης, με το 55% των τροπικών ειδών και το 43% των υποτροπικών να μην φέρουν το ένζυμο. Στα εύκρατα είδη, το ποσοστό αυτό είναι μικρότερο, φτάνοντας μόλις στο 36%.

Η διαφοροποίηση αυτή πιθανόν, υποδεικνύει ότι η θερμοκρασία μπορεί να παίζει ρόλο στην ύπαρξη της χιτινάσης, μέσω της επίδρασής της στις μεταβολικές ανάγκες του εκάστοτε ψαριού (Volkoff & Ronnestad, 2020). Επιπλέον, έχει αποδειχτεί ότι ψάρια σε ψυχρά περιβάλλοντα έχουν πεπτικά ένζυμα με υψηλότερη καταλυτική απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες, σε σύγκριση με θερμόαιμα ζώα ή ψάρια σε θερμότερα περιβάλλοντα (Stefansson et al., 2017).

- Παρουσία της χιτινάσης σε σχέση με την μεταναστευτική συμπεριφορά

Η μετανάστευση, η οποία συνεπάγεται αλλαγές στην αλατότητα, τη διατροφή, το pH και τη θερμοκρασία, φαίνεται να συσχετίζεται με την ύπαρξη της χιτινάσης. Στα ψάρια που δεν μεταναστεύουν, στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν εντοπίζεται πεπτική χιτινάση. Εξάιρεση αποτελούν τα είδη *Tachysurus fulvidraco*, *Chelmon rostratus* και *Acanthochromis polyacanthus*, τα οποία φέρουν τη χιτινάση παρά τη μη μεταναστευτική τους συμπεριφορά. Γενικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μη μεταναστευτική ζωή συχνά συνδέεται με την απουσία χιτινάσης, χωρίς όμως να ισχύει το αντίστροφο.

- Παρουσία της χιτινάσης και φαρυγγικά Δόντια

Τέλος, εξετάστηκε η σχέση μεταξύ της ύπαρξης φαρυγγικών δοντιών και της ύπαρξης της χιτινάσης. Φαίνεται ότι τα είδη που δεν έχουν χιτινάση συχνά έχουν φαρυγγικά δόντια, αν και υπάρχουν εξαιρέσεις. Τα φαρυγγικά δόντια συνδέονται με την έντονη μηχανική διάσπαση των τροφών και μελέτες (Lindsay 1983) έχουν συνδέσει την ύπαρξη τους με χαμηλά επίπεδα έκφρασης της πεπτικής χιτινάσης. Επιπλέον, η ύπαρξη φαρυγγικών δοντιών μπορεί να σχετίζεται με την απώλεια του στομάχου, όπως παρατηρείται στις οικογένειες Cichlidae, Poeciliidae και Cyprinidae.

Εξελικτική ιστορία απώλειας του στομαχιού και της πεπτικής χιτινάσης

Κατά την διάρκεια της εξελικτικής ιστορίας των ακτινοπτερύγιων, η παρουσία ή η απουσία της πεπτικής χιτινάσης και του στομαχιού, παρουσιάζει σημαντική ποικιλία ανάμεσα σε διάφορες οικογένειες και είδη.

Το στομάχι αποτελεί εξελικτική καινοτομία στη γενεαλογία των γναθόστομων σπονδυλωτών και παίζει σημαντικό ρόλο στην όξινη πέψη (Pfeifer, 2020). Αντίστοιχα, τα άγναθα χαρακτηρίζονται από την απουσία αυτής της δομής. Επομένως, δεδομένου ότι η παρουσία της πεπτικής χιτινάσης συνδέεται άμεσα με την ύπαρξη του στομάχου, η απουσία του ενζύμου από τα άγναθα είναι αναμενόμενη. Όσον αφορά τις πεπτικές χιτινάσες των Χονδρυίχθυν, αναλύσεις δείχνουν ότι στο στομάχι των εκπροσώπων αυτής της ομάδας εντοπίζεται μόνο ένα αντίγραφο του ενζύμου (Ikeda et al., 2017). Αυτό το ένζυμο είναι αρκετά απομακρυσμένο από εκείνα των θηλαστικών και των Τελεόστεων και εκτελεί πολλές διαφορετικές λειτουργίες (Ikeda et al., 2017, Watanabe et al., 2018). Όλα αυτά υποδηλώνουν ότι οι χιτινάσες των Χονδρυίχθυν αποτελούν μία ειδική κατηγορία χιτινασών.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης για τους λιγοστούς εκπρόσωπους της γενεαλογίας των ακτινοπτερίγιων αλλά μη τελεόστεων, δείχνουν ότι αυτοί οι οργανισμοί έχουν στομάχι και εμφανίζουν πολλαπλά παράλογα της χιτινάσης. Αυτά τα ευρήματα επιβεβαιώνουν την υπόθεση ότι το στομάχι υπήρχε αρχικά στην γενεαλογία των ακτινοπτερίγιων, αλλά στη συνέχεια, κατά την εξέλιξη των τελεόστεων χάθηκε από ορισμένες γενεαλογίες (Castro et al., 2013). Ταυτόχρονα, για τους Τελεόστεους, όπως το στομάχι έχει εξαφανιστεί επανειλημμένα και ανεξάρτητα στην εξελικτική τους ιστορία (Wilson & Castro, 2010), και η πεπτική χιτινάση φαίνεται να ακολουθεί παρόμοιο μοτίβο.

Διερεύνηση των παραλόγων στους Τελεόστεους

Αρχικά, διερευνήθηκε η εξελικτική προέλευση των παραλόγων μέσω της φυλογενετικής ανάλυσης. Συγκεκριμένα τα παράλογα του γονιδίου της πεπτικής χιτινάσης των Τελεόστεων φαίνεται να έχουν προέλθει από τον 2R διπλασιασμό και να ομαδοποιούνται σε δύο διακριτές ομάδες, οι οποίες διαφέρουν από χιτινάσες των

τετράποδων όπως φαίνεται στην Εικόνα 13. Το γεγονός αυτό, εγείρει το ερώτημα σε τι διαφέρουν τα ομόλογα των δύο ομάδων μεταξύ τους. Από την καταγραφή της τριάδας των θετικά φορτισμένων καταλυτικών αμινοξέων προκύπτει ότι το ένα παράλογο έχει την συντηρημένη τριάδα που αναγράφεται στην βιβλιογραφία (Arg-145, His-208, His-269) (Olland et al., 2008), ενώ το δεύτερο τροποποιημένη (Arg145, Asn208, Asn269) (Βλέπε Πίνακα Π2). Οι διαφορές στην καταλυτική τριάδα μπορεί να έχουν εξελικτική σημασία και να αντανakλούν την προσαρμογή των οργανισμών σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες ή διαφορετικές λειτουργικές ανάγκες. Από την βιβλιογραφία για κάποια συγκεκριμένα είδη, προκύπτει ότι τα ψάρια εκφράζουν δύο διαφορετικές χιτινάσες στο στομάχι τους, την *afcase1-acidic fish chitinase* (Arg, Asn, Asn) και την *afcase2-acidic fish chitinase* (Arg, His, His) οι οποίες έχουν ομολογία με την ανθρώπινη πρωτεΐνη AMCas-Acidic Mammalian Chitinase (Kawashima et al., 2016, Ideka et al., 2017). Η *afcase1* και η *afcase2* διαφέρουν μεταξύ τους με αποτέλεσμα τα ψάρια να εκμεταλλεύονται όλες τις διαθέσιμες πηγές ενέργειας. Οι διαφορές τους εντοπίζονται κυρίως στις ενζυμικές ιδιότητες των μορίων και τις πρωτοταγείς δομές των ισοενζύμων χιτινάσης. Τα δύο βιομόρια παρουσιάζουν διαφορετική εξειδίκευση όσον αφορά το υπόστρωμα που υδρολύουν και σε διαφορετικό pH. Γενικά, οι ειδικότητες των ενζύμων για τα υποστρώματα (α-χιτίνη, β-χιτίνη) αποδείχθηκε ότι ποικίλουν σημαντικά ανάλογα με το είδος. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι η *afcase1* παρουσιάζει μέγιστη δραστηριότητα σε πολύ όξινες συνθήκες (pH 2-2.5), ενώ η *afcase2* σε λιγότερο όξινες συνθήκες (pH 5). Σε κάθε περίπτωση, τα δύο ένζυμα λειτουργούν σε pH γύρω από το pH μέγιστης δραστηριότητας. Έχει αναφερθεί ότι το βέλτιστο pH δράσης των ενζύμων επηρεάζεται από το συνολικό μήκος του υποστρώματος που θα υδρολυθεί, γεγονός που υπογραμμίζει τη σημασία της επιλογής του κατάλληλου υποστρώματος για τον χαρακτηρισμό των πρωτεϊνών. Τα δύο ένζυμα λειτουργούν σε διαφορετικό pH καλύπτοντας ένα μεγάλο εύρος του όξινου pH, γεγονός που υποδηλώνει ότι ασκείται εξελικτική πίεση και στα δύο παράλογα να διατηρήσουν την αλληλουχία τους. Ακόμη, εάν υποθέσουμε ότι στις δύο ισόμορφες προσδένεται το ίδιο υπόστρωμα, τότε τα ένζυμα υδρολύουν διαφορετικό γλυκοσιδικό δεσμό. Τέλος, κατά την απομόνωση των ενζύμων, παρατηρήθηκε διαφορά στο μοριακό βάρος του ενζύμου, με το μοριακό βάρος του *afcase2* να είναι ελάχιστα μεγαλύτερο.

Οι καταλήξεις που μπορεί να έχουν τα γονίδια μετά από έναν διπλασιασμό, μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: απώλεια της λειτουργίας τους (Nonfunctionalization), διαχωρισμός της λειτουργίας τους (Subfunctionalization) ή να έχουν αποκτήσει κάποια νέα λειτουργία (Neofunctionalization).

Η πιο κοινή μοίρα των γονιδίων είναι η απώλεια λειτουργίας τους (Nonfunctionalization). Αυτή η κατεύθυνση δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί από την έλλειψη της περιοχής δέσμευσης του υποστρώματος (CBM14). Η απουσία αυτής της περιοχής δεν σημαίνει απαραίτητα ότι το ένζυμο δεν είναι ενεργό, καθώς ορισμένες

μελέτες (Holen et al., 2023) δείχνουν ότι το ένζυμο παραμένει λειτουργικό χωρίς την περιοχή CBM, υπό συνθήκες κορεσμένου υποστρώματος.

Στην παρούσα μελέτη ο 2R διπλασιασμό στην γενεαλογία των Τελεόστεων, η διερεύνηση της καταλυτικής τριάδας και τα διαθέσιμα βιβλιογραφικά δεδομένα (Kawashima et al., 2016, Ideka et al., 2017), υποδεικνύουν μία περίπτωση απόκτησης μιας καινούργιας λειτουργίας (Neofunctionalization). Αρχικά υπήρχε ένα μοναδικό γονίδιο που κωδικοποιούσε για πεπτική χιτινάση, ένα ένζυμο ικανό να λειτουργεί σε ένα συγκεκριμένο φάσμα όξινου pH, όπως συμβαίνει στο πεπτικό σύστημα πολλών οργανισμών. Μετά τον διπλασιασμό αυτού του γονιδίου, προέκυψαν δύο θυγατρικά γονίδια. Η μειωμένη εξελικτική πίεση που δέχονται τα δύο γονίδια ώστε να διατηρηθούν και τα δύο, επιτρέπει την συσσώρευση μεταλλάξεων σε ένα από τα δύο ώστε να προκληθεί αλλαγή της λειτουργίας. Έτσι, στην συγκεκριμένη περίπτωση το ένα θυγατρικό γονίδιο εξειδικεύτηκε με αποτέλεσμα να λειτουργεί σε διαφορετικό pH από το άλλο θυγατρικό αλλά και από το προγονικό.

Συμπεράσματα

Οι Τελεόστεοι αποτελούν μια ποικιλόμορφη ομάδα με αυξημένη προσαρμοστικότητα σε διάφορες συνθήκες, γεγονός που οφείλεται εν μέρει στον τρίτο γύρο διπλασιασμού ολόκληρου του γονιδιώματος τους, ο οποίος έλαβε χώρα στη βάση της γενεαλογίας τους. Αυτή η ιδιαιτερότητα τους καθιστά σημαντικό μοντέλο στην εξελικτική βιολογία. Ένα παράδειγμα αυτής της προσαρμοστικότητας, αποτελεί και το ένζυμο της πεπτικής χιτινάσης. Η διερεύνηση του ενζύμου αποκαλύπτει σύνθετες σχέσεις μεταξύ της παρουσίας του, των περιβαλλοντικών συνθηκών και των φυσιολογικών χαρακτηριστικών των οργανισμών. Η παρούσα μελέτη ανέδειξε ορισμένα μοτίβα παρουσίας ή απουσίας του ενζύμου. **Το ένζυμο δεν εντοπίζεται σε πολλούς οργανισμούς που ζουν σε αλμυρό ή θερμό νερό. Επιπλέον, διαπιστώνεται συσχέτιση της απουσίας της χιτινάσης σε είδη που μεταναστεύουν και σε είδη που διαθέτουν φαρυγγικά δόντια.**

Ωστόσο, προκειμένου να εξαχθούν οριστικά συμπεράσματα, απαιτείται περαιτέρω εργαστηριακή μελέτη. Παρά τα προτερήματα της ανάλυσης *in silico*, πολλά από τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται δεν προέρχονται άμεσα από πειραματικά δεδομένα με χειροκίνητη ανασκόπηση. Σε πρωτεϊνικές βάσεις δεδομένων, οι πρωτεϊνικές αλληλουχίες, μπορεί να έχουν προκύψει από την αυτόματη μετάφραση γονιδιωματικών αλληλουχιών μέσω κάποιου αλγόριθμου και οι διάφορες δομικές ή λειτουργικές περιοχές των πρωτεϊνών, να εντοπίζονται και αυτές μέσω κάποιου αλγόριθμου. Όλα τα παραπάνω, καθιστούν την πειραματική επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων απαραίτητη, καθώς η παραγωγή πολλών πληροφοριών έκφρασης θα συμπλήρωνε την μελέτη. Επιπροσθέτως, οι βάσεις δεδομένων διαθέτουν συγκεκριμένα γονιδιώματα, τα οποία, δεδομένου του μεγάλου αριθμού των Τελεόστεων, ενδέχεται να μην αποτυπώνουν με ακρίβεια αντικειμενικά

αποτελέσματα. Επίσης, απαραίτητη είναι η αντικειμενικότητα στη δειγματοληψία, επιλογή οργανισμών, εξασφαλίζοντας την εγκυρότητα και την αξιοπιστία των συμπερασμάτων που προκύπτουν από την ανάλυση.

Παράρτημα

Πίνακας Π1: Σύνοψη του αριθμού των ομολόγων ανά είδος.

Επιστημονική ονομασία	Κοινή ονομασία	Αριθμός γονιδίων <i>chia</i>
<i>Homo sapiens</i>	Human	1
<i>Mus musculus</i>	Mouse	1
<i>Gallus gallus</i>	Chicken	3
<i>Lepisosteus oculatus</i>	Spotted gar	2
<i>Acipenser ruthenus</i>	Sterlet	5
<i>Polyodon spathula</i>	Mississippi paddlefish	4
<i>Polypterus senegalus</i>	Gray bichir	3
<i>Erpetoichthys calabaricus</i>	Reedfish	3
<i>Callorhynchus milii</i>	Elephant shark	-
<i>Acanthochromis polyacanthus</i>	Spiny chromis	1
<i>Acanthopagrus latus</i>	Yellowfin seabream	1
<i>Alosa alosa</i>	Allis shad	1
<i>Alosa sapidissima</i>	American shad	4
<i>Amphiprion ocellaris</i>	Clown anemonefish	1
<i>Anabas testudineus</i>	Climbing perch	2
<i>Anarrhichthys ocellatus</i>	Wolf-eel	2
<i>Anguilla anguilla</i>	European eel	1
<i>Anguilla rostrata</i>	American eel	2
<i>Anoplopoma fimbria</i>	Sablefish	2
<i>Archocentrus centrarchus</i>	Flier cichlid	-
<i>Astatotilapia calliptera</i>	Eastern happy	-
<i>Astyanax mexicanus</i>	Mexican tetra	2
<i>Austrofundulus limnaeus</i>	Topminnow	-
<i>Betta splendens</i>	Siamese fighting fish	2
<i>Boleophthalmus pectinirostris</i>	Great blue-spotted mudskipper	-
<i>Brienumyrus brachyistius</i>	Baby whale fish	2
<i>Carassius auratus</i>	Goldfish	-
<i>Carassius carassius</i>	Crucian carp	-
<i>Carassius gibelio</i>	Silver crucian carp	-
<i>Centropristis striata</i>	Black sea bass	2
<i>Chanos chanos</i>	Milkfish	-
<i>Cheilinus undulatus</i>	Humphead wrasse	-
<i>Chelmon rostratus</i>	Copperband butterflyfish	1
<i>Clarias gariepinus</i>	North African catfish	4
<i>Clupea harengus</i>	Atlantic herring	2
<i>Cololabis saira</i>	Pacific saury	-
<i>Colossoma macropomum</i>	Tambaqui	2
<i>Conger conger</i>	European conger	1

<i>Coregonus clupeaformis</i>	Lake whitefish	2
<i>Corythoichthys intestinalis</i>	Scribbled pipefish	-
<i>Cottoperca gobio</i>	Channel bull blenny	3
<i>Ctenopharyngodon idella</i>	Grass carp	-
<i>Cyclopterus lumpus</i>	Lumpfish	3
<i>Cynoglossus semilaevis</i>	Tongue sole	-
<i>Cyprinodon tularosa</i>	White Sands pupfish	-
<i>Cyprinodon variegatus</i>	Sheepshead minnow	-
<i>Cyprinus carpio</i>	Common carp	-
<i>Danio aesculapii</i>	Panther danio	-
<i>Danio rerio</i>	Zebrafish	-
<i>Denticeps clupeoides</i>	Denticle herring	3
<i>Dicentrarchus labrax</i>	European seabass	2
<i>Doryrhamphus excisus</i>	Bluestripe pipefish	-
<i>Dunckerocampus dactyliophorus</i>	Ringed pipefish	-
<i>Echeneis naucrates</i>	Live sharksucker	2
<i>Electrophorus electricus</i>	Electric eel	1
<i>Eleginops maclovinus</i>	Patagonian blennie	3
<i>Engraulis encrasicolus</i>	European anchovy	2
<i>Entelurus aequoreus</i>	Snake pipefish	-
<i>Epinephelus fuscoguttatus</i>	Brown-marbled grouper	2
<i>Epinephelus lanceolatus</i>	Giant grouper	2
<i>Epinephelus moara</i>	Kelp grouper	2
<i>Esox lucius</i>	Northern pike	3
<i>Etheostoma cragini</i>	Arkansas darter	2
<i>Etheostoma spectabile</i>	Orangethroat darter	2
<i>Fundulus heteroclitus</i>	Mummichog	-
<i>Gadus chalcogrammus</i>	Walleye pollock	2
<i>Gadus macrocephalus</i>	Pacific cod	3
<i>Gadus morhua</i>	Atlantic cod	2
<i>Gambusia affinis</i>	Western mosquitofish	-
<i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i>	Three-spined stickleback	2
<i>Girardinichthys multiradiatus</i>	Darkedged splitfins	-
<i>Gouania willdenowi</i>	Blunt-snouted clingfish	-
<i>Gymnodraco acuticeps</i>	Ploughfish	3
<i>Haplochromis burtoni</i>	Burton's mouthbrooder	-
<i>Hemibagrus wyckioides</i>	Asian redbtail catfish	2
<i>Hippocampus comes</i>	Tiger tail seahorse	-
<i>Hippocampus zosterae</i>	Dwarf seahorse	-
<i>Hippoglossus hippoglossus</i>	Atlantic halibut	1
<i>Hippoglossus stenolepis</i>	Pacific halibut	1
<i>Hypomesus transpacificus</i>	Delta smelt	2
<i>Ictalurus furcatus</i>	Blue catfish	3
<i>Ictalurus punctatus</i>	Channel catfish	3

<i>Kryptolebias marmoratus</i>	Mangrove rivulus	-
<i>Labeo rohita</i>	Rohu	-
<i>Labrus bergylta</i>	Ballan wrasse	-
<i>Labrus mixtus</i>	Cuckoo wrasse	-
<i>Lampris incognitus</i>	Smalleye Pacific opah	1
<i>Larimichthys crocea</i>	Large yellow croake	2
<i>Lates calcarifer</i>	Barramundi perch	2
<i>Limanda limanda</i>	Common dab	-
<i>Mastacembelus armatus</i>	Zig-zag eel	2
<i>Maylandia zebra</i>	Zebra mbuna	-
<i>Megalobrama amblycephala</i>	Wuchang bream	-
<i>Megalops cyprinoides</i>	Indo-Pacific tarpon	2
<i>Melanotaenia boesemani</i>	Boeseman's rainbowfish	-
<i>Micropterus dolomieu</i>	Smallmouth bass	2
<i>Micropterus salmoides</i>	Largemouth bass	1
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	Oriental weatherfish	-
<i>Monopterus albus</i>	Swamp eel	2
<i>Morone saxatilis</i>	Striped sea-bass	2
<i>Mugil cephalus</i>	Flathead mullet	2
<i>Myripristis murdjan</i>	Pinecone soldierfish	2
<i>Myxocyprinus asiaticus</i>	Chinese sucker	-
<i>Nematolebias whitei</i>	Rio pearlfish	-
<i>Neoarius graeffei</i>	Lesser salmon catfish	3
<i>Neolamprologus brichardi</i>	Lyretail cichlid	-
<i>Nerophis lumbriciformis</i>	Worm pipefish	-
<i>Nerophis ophidion</i>	Straightnose pipefish	-
<i>Nothobranchius furzeri</i>	Turquoise killifish	-
<i>Notolabrus celidotus</i>	New Zealand spotty	-
<i>Notothenia coriiceps</i>	Black rockcod	1
<i>Oncorhynchus gorbuscha</i>	Pink salmon	4
<i>Oncorhynchus keta</i>	Chum salmon	3
<i>Oncorhynchus kisutch</i>	Coho salmon	4
<i>Oncorhynchus masou masou</i>	Cherry salmon	3
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Rainbow trout	4
<i>Oncorhynchus nerka</i>	Sockeye salmon	3
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	Chinook salmon	4
<i>Onychostoma macrolepis</i>		-
<i>Oreochromis aureus</i>	Blue tilapia	-
<i>Oreochromis niloticus</i>	Nile tilapia	-
<i>Oryzias latipes</i>	Japanese medaka	-
<i>Oryzias melastigma</i>	Indian medaka	-
<i>Pangasianodon hypophthalmus</i>	Striped catfish	2
<i>Paralichthys olivaceus</i>	Japanese flounder	2
<i>Parambassis ranga</i>	Indian glassy fish	2

<i>Paramormyrops kingsleyae</i>		2
<i>Pelmatolapia mariae</i>	Spotted tilapia	1
<i>Perca flavescens</i>	Yellow perch	2
<i>Perca fluviatilis</i>	European perch	2
<i>Periophthalmus magnuspinnatus</i>	Mudskipper	-
<i>Phycodurus eques</i>	Leafy seadragon	-
<i>Phyllopteryx taeniolatus</i>	Common seadragon	-
<i>Pimephales promelas</i>	Fathead minnow	-
<i>Platichthys flesus</i>	European flounder	2
<i>Plectropomus leopardus</i>	Leopard coral grouper	1
<i>Pleuronectes platessa</i>	European plaice	1
<i>Poecilia formosa</i>	Amazon molly	-
<i>Poecilia latipinna</i>	Sailfin molly	-
<i>Poecilia mexicana</i>	Shortfin molly	-
<i>Poecilia reticulata</i>	Guppy	-
<i>Poeciliopsis prolifica</i>	Blackstripe livebearer	-
<i>Pseudochaenichthys georgianus</i>	South Georgia icefish	3
<i>Pseudoliparis swirei</i>	Mariana snailfish	1
<i>Pundamilia nyererei</i>		-
<i>Pungitius pungitius</i>	Ninespine stickleback	1
<i>Puntigrus tetrazona</i>	Sumatra barb	-
<i>Pygocentrus nattereri</i>	Red-bellied piranha	2
<i>Rhinichthys klamathensis goyatoka</i>		-
<i>Salarias fasciatus</i>	Jewelled blenny	-
<i>Salmo salar</i>	Atlantic salmon	3
<i>Salmo trutta</i>	River trout	3
<i>Salvelinus alpinus</i>	Arctic char	3
<i>Salvelinus fontinalis</i>	Brook trout	3
<i>Salvelinus namaycush</i>	Lake trout	3
<i>Sander lucioperca</i>	Pikeperch	3
<i>Scatophagus argus</i>	Spotted scat	1
<i>Scleropages formosus</i>	Asian bonytongue	3
<i>Scomber japonicus</i>	Chub mackerel	1
<i>Scomber scombrus</i>	Atlantic mackerel	3
<i>Scophthalmus maximus</i>	Turbot	2
<i>Sebastes umbrosus</i>	Honeycomb rockfish	3
<i>Seriola aureo vittata</i>	Japanese amberjack	-
<i>Seriola dumerili</i>	Greater amberjack	2
<i>Seriola lalandi dorsalis</i>	California yellowtail	2
<i>Silurus meridionalis</i>	Yangtze catfish	2
<i>Simochromis diagramma</i>		
<i>Siniperca chuatsi</i>	Mandarin fish	2
<i>Sinocyclocheilus anshuiensis</i>		-
<i>Sinocyclocheilus grahami</i>	Dianchi golden-line fish	-

<i>Sinocyclocheilus rhinoceros</i>		-
<i>Solea senegalensis</i>	Senegalese sole	-
<i>Solea solea</i>	Common sole	-
<i>Sparus aurata</i>	Gilthead seabream	2
<i>Sphaeramia orbicularis</i>	Orbiculate cardinalfish	2
<i>Stegastes partitus</i>	Bicolor damselfish	-
<i>Synchiropus splendidus</i>	Mandarinfish	-
<i>Syngnathoides biaculeatus</i>	Alligator pipefish	-
<i>Syngnathus acus</i>	Greater pipefish	-
<i>Syngnathus scovelli</i>	Gulf pipefish	-
<i>Syngnathus typhle</i>	Broad-nosed pipefish	-
<i>Tachysurus fulvidraco</i>	Yellow catfish	2
<i>Tachysurus vachellii</i>		3
<i>Takifugu flavidus</i>	Sansai fugu	-
<i>Takifugu rubripes</i>	Tora fugu	-
<i>Thalassophryne amazonica</i>		-
<i>Thunnus albacares</i>	Yellowfin tuna	1
<i>Thunnus maccoyii</i>	Southern bluefin tuna	2
<i>Toxotes jaculatrix</i>	Banded archerfish	2
<i>Trematomus bernacchii</i>	Emerald rockcod	1
<i>Trichomycterus rosablanca</i>		2
<i>Triplophysa dalaica</i>		-
<i>Triplophysa rosa</i>		-
<i>Xiphias gladius</i>	Swordfish	2
<i>Xiphophorus couchianus</i>	Monterrey platyfish	-
<i>Xiphophorus hellerii</i>	Green swordtail	-
<i>Xiphophorus maculatus</i>	Southern platyfish	-
<i>Xyrauchen texanus</i>	Razorback sucker	-

Καταλυτική τριάδα + φυλογενετική ανάλυση

Πίνακας Π2: Καταλυτική τριάδα και το φορτίο της.

Αλληλουχίες κλάδου β (afcase-1)	1° αμινοξύ	2° αμινοξύ	3° αμινοξύ	Συνολικό φορτίο
<i>Homo sapiens</i> (β)	Arg145	His208	His269	+
<i>Callorhinchus milii</i> (β)	Arg143	Ser206	Arg267	+
<i>Mus musculus</i> (β)	Arg145	His208	His269	+
<i>Gallus gallus</i> (β1)	Arg145	His208	His269	+
<i>Gallus gallus</i> (β2)	Arg145	His208	His264	+
<i>Gallus gallus</i> (β3)	Arg145	His208	Asn269	+
<i>Acipenser ruthenus</i> (β)	Arg145	Asn208	Gln269	+
<i>Polyodon spathula</i> (β)	Arg145	Asn208	Gln269	+
<i>Lepisosteus oculatus</i> (β)	Arg145	Asn208	Gln269	+
<i>Erpetoichthys calabaricus</i> (β)	Arg145	Asn208	Gln269	+

<i>Polypterus senegalus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Denticeps clupeoides</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Alosa sapidissima</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Engraulis encrasicolus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Scleropages formosus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Brienomyrus brachyistius</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Paramormyrops kingsleyae</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Anguilla rostrata</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Megalops cyprinoides</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Clarias gariepinus</i> (β1)	Arg149	Asn212	Asn273	+
<i>Astyanax mexicanus</i> (β)	Arg146	Asn209	Asn270	+
<i>Colossoma macropomum</i> (β)	Arg155	Asn218	Asn279	+
<i>Pygocentrus nattereri</i> (β)	Arg146	Asn209	Asn270	+
<i>Trichomycterus rosablanca</i> (β)	Arg146	Asn209	Asn270	+
<i>Silurus meridionalis</i> (β)	Arg146	Asn209	Asn270	+
<i>Hemibagrus wyckioides</i> (β)	Arg146	Asn209	Asn270	+
<i>Tachysurus vachellii</i> (β)	Arg146	Asn209	Asn270	+
<i>Tachysurus fulvidraco</i> (β)	Arg146	Asn209	Asn270	+
<i>Neoarius graeffei</i> (β)	Arg146	Asn209	Asn270	+
<i>Clarias gariepinus</i> (β2)	Arg146	Asn209	Asn270	+
<i>Pangasianodon hypophthalmus</i> (β)	Arg146	Asn209	Asn270	+
<i>Ictalurus furcatus</i> (β)	Arg146	Asn209	Asn270	+
<i>Ictalurus punctatus</i> (β)	Arg146	Asn209	Asn270	+
<i>Gadus macrocephalus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Gadus morhua</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Gadus chalcogrammus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Lampris incognitus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Hypomesus transpacificus</i> (β)	Arg145	Asn208	Ala269	+
<i>Esox lucius</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Oncorhynchus masou masou</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Salvelinus alpinus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Oncorhynchus gorbusha</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Oncorhynchus nerka</i> (β)	Arg145	Asn208	Gln269	+
<i>Salmo salar</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Salmo trutta</i> (β)	Arg146	Asn209	Ans270	+
<i>Oncorhynchus kisutch</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Oncorhynchus keta</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+

<i>Betta splendens</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Myripristis murdjan</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Eleginops maclovinus</i> (β)	Arg145	Asp216	Asn277	+
<i>Trematomus bernacchii</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Notothenia coriiceps</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Gymnodraco acuticeps</i> (β)	Arg138	Asn201	Asn262	+
<i>Pseudochaenichthys georgianus</i> (β)	Arg138	Asn201	Asn262	+
<i>Cyclopterus lumpus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Pseudoliparis swirei</i> (β)	Arg153	Asn216	Asn277	+
<i>Centropristis striata</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Cottopterygia gobio</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Sebastes umbrosus</i> (β)	Arg153	Asn216	Asn277	+
<i>Epinephelus fuscoguttatus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Epinephelus lanceolatus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Epinephelus moara</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Scomber japonicus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Scomber scombrus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Paralichthys olivaceus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Hippoglossus hippoglossus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Pleuronectes platessa</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Platichthys flesus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Sphaeramia orbicularis</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Echeneis naucrates</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Seriola lalandi dorsalis</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Seriola dumerili</i> (β)	Arg145	Asn206	Asn269	+
<i>Monopterus albus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Anabas testudineus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Toxotes jaculatrix</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Parambassis ranga</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Xiphias gladius</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Scophthalmus maximus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Mastacembelus armatus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Mugil cephalus</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Thunnus maccoyii</i> (β)	Arg143	Asn206	Asn267	+
<i>Sparus aurata</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Lates calcarifer</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Larimichthys crocea</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Morone saxatilis</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Dicentrarchus labrax</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Siniperca chuatsi</i> (β)	Arg153	Asn216	Asn277	+
<i>Micropterus dolomieu</i> (β)	Arg153	Asn216	Asn277	+
<i>Anoplopoma fimbria</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+

<i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i> (β)	Arg153	Asn216	Asn277	+
<i>Perca fluviatilis</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Perca flavescens</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Sander lucioperca</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Etheostoma spectabile</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
<i>Etheostoma cragini</i> (β)	Arg145	Asn208	Asn269	+
Αλληλουχίες κλάδου α (afcase-2)				
<i>Sparus aurata</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Acanthopagrus latus</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Mastacembelus armatus</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Morone saxatilis</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Dicentrarchus labrax</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Lates calcarifer</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Hippoglossus stenolepis</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Sander lucioperca</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Platichthys flesus</i> (α)	Arg167	His230	His291	+
<i>Plectropomus leopardus</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Sander lucioperca</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Perca flavescens</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Seriola dumerili</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Perca fluviatilis</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Seriola lalandi dorsalis</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Micropterus salmoides</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Scophthalmus maximus</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Etheostoma spectabile</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Larimichthys crocea</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Micropterus dolomieu</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Etheostoma cragini</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Centropomus striata</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Paralichthys olivaceus</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Anoplopoma fimbria</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Mugil cephalus</i> (α)	Arg151	His214	His275	+
<i>Eleginops maclovinus</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Cyclopterus lumpus</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Monopterus albus</i> (α)	Arg162	His225	His286	+
<i>Thunnus maccoyii</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Sphaeramia orbicularis</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Cyclopterus lumpus</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Thunnus albacares</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Betta splendens</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Toxotes jaculatrix</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i> (α)	Arg145	His208	His269	+

<i>Gymnodraco acuticeps</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Gymnodraco acuticeps</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Anarrhichthys ocellatus</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Pseudochaenichthys georgianus</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Epinephelus fuscoguttatus</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Pungitius pungitius</i> (α)	Arg155	His218	His279	+
<i>Anabas testudineus</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Pseudochaenichthys georgianus</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Xiphias gladius</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Cottoperca gobio</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Cottoperca gobio</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Echeneis naucrates</i> (α)	Arg149	His212	His273	+
<i>Parambassis ranga</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Epinephelus moara</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Sebastes umbrosus</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Gadus morhua</i> (α)	Arg242	His305	His366	+
<i>Epinephelus lanceolatus</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Scomber scombrus</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Gadus chalcogrammus</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Scomber scombrus</i> ($\alpha 2$)	Arg135	His198	His259	+
<i>Gadus macrocephalus</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Acanthochromis polyacanthus</i> (α)	Asn145	His208	His269	+
<i>Gadus macrocephalus</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Sebastes umbrosus</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Megalops cyprinoides</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Amphiprion ocellaris</i> (α)	Asn145	His208	His269	+
<i>Hypomesus transpacificus</i> (α)	Arg150	His213	His274	+
<i>Esox lucius</i> ($\alpha 1$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Esox lucius</i> ($\alpha 2$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Chelmon rostratus</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Salvelinus fontinalis</i> ($\alpha 1$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Pygocentrus nattereri</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Oncorhynchus keta</i> ($\alpha 1$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Oncorhynchus gorbuscha</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Oncorhynchus kisutch</i> ($\alpha 1$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Salvelinus fontinalis</i> ($\alpha 2$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Oncorhynchus kisutch</i> ($\alpha 2$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Oncorhynchus keta</i> ($\alpha 2$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Oncorhynchus mykiss</i> ($\alpha 1$)	Arg150	His213	His274	+

<i>Salmo salar</i> ($\alpha 1$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Oncorhynchus nerka</i> ($\alpha 1$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> ($\alpha 1$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Coregonus clupeaformis</i> ($\alpha 1$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Salvelinus namaycush</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Colossoma macropomum</i> (α)	Arg151	His214	His275	+
<i>Oncorhynchus mykiss</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Oncorhynchus gorbuscha</i> ($\alpha 2$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Oncorhynchus kisutch</i> ($\alpha 3$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Salvelinus alpinus</i> ($\alpha 1$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Salvelinus namaycush</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Salvelinus fontinalis</i> ($\alpha 3$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Oncorhynchus nerka</i> ($\alpha 2$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> ($\alpha 2$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Oncorhynchus mykiss</i> ($\alpha 3$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Oncorhynchus gorbuscha</i> ($\alpha 3$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Salvelinus namaycush</i> ($\alpha 3$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Salmo trutta</i> ($\alpha 1$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Coregonus clupeaformis</i> ($\alpha 2$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Salmo salar</i> ($\alpha 2$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Denticeps clupeoides</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Alosa sapidissima</i> ($\alpha 1$)	Arg148	His211	His272	+
<i>Salmo trutta</i> ($\alpha 2$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Scatophagus argus</i> (α)	Arg150	His213	His274	+
<i>Hemibagrus wyckioides</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Pangasianodon hypophthalmus</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Ictalurus punctatus</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Electrophorus electricus</i> (α)	Arg148	His208	His269	+
<i>Neoararius graeffei</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Ictalurus punctatus</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Scleropages formosus</i> ($\alpha 1$)	Arg148	His211	His272	+
<i>Alosa alosa</i> (α)	Arg157	His220	His281	+
<i>Salvelinus alpinus</i> ($\alpha 2$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Ictalurus furcatus</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Ictalurus furcatus</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Siniperca chuatsi</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Conger conger</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Denticeps clupeoides</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Silurus meridionalis</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Astyanax mexicanus</i> (α)	Arg145	His208	His269	+

<i>Lepisosteus oculatus</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Tachysurus vachellii</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Tachysurus fulvidraco</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Tachysurus vachellii</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Anguilla anguilla</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Clupea harengus</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Clupea harengus</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Trichomycterus rosablanca</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Pelmatolapia mariae</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Scleropages formosus</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Anguilla rostrata</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Anarrhichthys ocellatus</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Clarias gariepinus</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Eleginops maclovinus</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Engraulis encrasicolus</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Polyodon spathula</i> ($\alpha 3$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Acipenser ruthenus</i> ($\alpha 1$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Brienomyrus brachyistius</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Acipenser ruthenus</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Polyodon spathula</i> ($\alpha 1$)	Arg166	His229	His290	+
<i>Acipenser ruthenus</i> ($\alpha 3$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Acipenser ruthenus</i> ($\alpha 4$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Clarias gariepinus</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Polyodon spathula</i> ($\alpha 2$)	Arg145	His208	His269	+
<i>Erpetoichthys calabaricus</i> ($\alpha 1$)	Arg145	Asn208	His269	+
<i>Polypterus senegalus</i> ($\alpha 1$)	Arg145	Asn208	His269	+
<i>Polypterus senegalus</i> ($\alpha 2$)	Arg145	Asn208	His269	+
<i>Erpetoichthys calabaricus</i> ($\alpha 2$)	Arg145	Asn208	His269	+
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> ($\alpha 3$)	Arg150	His213	His274	+
<i>Neoarius graeffei</i> ($\alpha 2$)	Arg146	His209	His268	+
<i>Alosa sapidissima</i> ($\alpha 2$)	Lys137	His201	His261	+
<i>Alosa sapidissima</i> ($\alpha 3$)	Lys138	His202	Arg262	+
<i>Paramormyrops kingsleyae</i> (α)	Arg145	His208	His269	+
<i>Oncorhynchus masou masou</i> ($\alpha 1$)	Arg199	His262	His323	+
<i>Oncorhynchus masou masou</i> ($\alpha 2$)	Arg150	His213	His274	+

Αναγνώριση των περιοχών του ενζύμου

Πίνακας Π3: Διερεύνηση των περιοχών του ενζύμου.

Αλληλουχία	Αριθμός EC	Περιοχή υδρόλυσης χιτίνης – θέση	Περιοχή δέσμευσης υδατανθράκων
NP 001153946.1 <i>Oncorhynchus mykiss</i> (α2)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
NP 075675.2 <i>Mus musculus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (21-366)	CBM14
NP 970615.2 <i>Homo sapiens</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (22-366)	CBM14
NP 989760.2 <i>Gallus gallus</i> (β1)	3.2.1.14	GH18 (22-368)	CBM14
XP 006628509.1 <i>Lepisosteus oculatus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 006628624.1 <i>Lepisosteus oculatus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (22-366)	CBM14
XP 007247800.2 <i>Astyanax mexicanus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-368)	CBM14
XP 007897726.1 <i>Callorhinchus milii</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (2-347)	CBM14
XP 010736405.1 <i>Larimichthys crocea</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-367)	CBM14
XP 010745222.1 <i>Larimichthys crocea</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 010787942.1 <i>Notothenia coriiceps</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-367)	CBM14
XP 010873806.1 <i>Esox lucius</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 010879389.3 <i>Esox lucius</i> (α2)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 013987245.1 <i>Salmo salar</i> (α1)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 013987246.1 <i>Salmo salar</i> (α2)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 014002002.2 <i>Salmo salar</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 015154454.3 <i>Gallus gallus</i> (β2)	3.2.1.14	GH18 (22-362)	-
XP 017306451.1 <i>Ictalurus punctatus</i> (α2)	3.2.1.14	GH18 (23-368)	CBM14
XP 017306452.1 <i>Ictalurus punctatus</i> (α1)	3.2.1.14	GH18 (23-368)	CBM14
XP 017341907.1 <i>Ictalurus punctatus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 017566287.1 <i>Pygocentrus nattereri</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-368)	CBM14
XP 017566375.1 <i>Pygocentrus nattereri</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14

XP 018529985.1 <i>Lates calcarifer</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 018554605.1 <i>Lates calcarifer</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 018614064.1 <i>Scleropages formosus</i> (α 1)	3.2.1.14	GH18 (26-370)	CBM14
XP 018614066.1 <i>Scleropages formosus</i> (α 2)	3.2.1.14	GH18 (23-368)	CBM14
XP 019942079.1 <i>Paralichthys olivaceus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 019962794.1 <i>Paralichthys olivaceus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 020341957.2 <i>Oncorhynchus kisutch</i> (α 1)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 020362231.1 <i>Oncorhynchus kisutch</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 020448874.1 <i>Monopterus albus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (40-382)	CBM14
XP 020467527.1 <i>Monopterus albus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 021424439.2 <i>Oncorhynchus mykiss</i> (α 3)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 021472056.2 <i>Oncorhynchus mykiss</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-368)	CBM14
XP 022075520.2 <i>Acanthochromis polyacanthus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 022533093.2 <i>Astyanax mexicanus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 022600862.1 <i>Seriola dumerili</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 022618772.1 <i>Seriola dumerili</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 023142902.1 <i>Amphiprion ocellaris</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (22-365)	CBM14
XP 023260838.1 <i>Seriola lalandi dorsalis</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 023279242.1 <i>Seriola lalandi dorsalis</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 023649371.1 <i>Paramormyrops kingsleyae</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 023652444.1 <i>Paramormyrops kingsleyae</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	-
XP 023842969.1 <i>Salvelinus alpinus</i> (α 2)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14

XP 023847200.1 <i>Salvelinus alpinus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 024000835.1 <i>Salvelinus alpinus</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 024231694.1 <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 024268362.1 <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 026162134.1 <i>Mastacembelus armatus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 026188212.1 <i>Mastacembelus armatus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 026204599.1 <i>Anabas testudineus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 026223018.1 <i>Anabas testudineus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 026791333.1 <i>Pangasianodon hypophthalmus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-368)	CBM14
XP 026868713.2 <i>Electrophorus electricus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (24-368)	CBM14
XP 027000134.2 <i>Tachysurus fulvidraco</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-368)	CBM14
XP 028260746.1 <i>Parambassis ranga</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 028265608.1 <i>Parambassis ranga</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 028431671.1 <i>Perca flavescens</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 028438558.1 <i>Perca flavescens</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 028652498.2 <i>Erpetoichthys calabaricus</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 028652500.1 <i>Erpetoichthys calabaricus</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 028654968.1 <i>Erpetoichthys calabaricus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-365)	CBM14
XP 028849103.1 <i>Denticeps clupeoides</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 028853731.1 <i>Denticeps clupeoides</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (24-367)	CBM14
XP 028853732.1 <i>Denticeps clupeoides</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (24-368)	CBM14
XP 028970131.2 <i>Esox lucius</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14

XP 029007459.1 <i>Betta splendens</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 029013328.1 <i>Betta splendens</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 029105202.1 <i>Scleropages formosus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 029287530.1 <i>Cottoperca gobio</i> (α 1)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 029288698.1 <i>Cottoperca gobio</i> (α 2)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 029291996.1 <i>Cottoperca gobio</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-367)	CBM14
XP 029357695.1 <i>Echeneis naucrates</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (27-369)	CBM14
XP 029363342.1 <i>Echeneis naucrates</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 029520703.1 <i>Oncorhynchus nerka</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 029538699.1 <i>Oncorhynchus nerka</i> (α 1)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 029538700.1 <i>Oncorhynchus nerka</i> (α 2)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 029574995.1 <i>Salmo trutta</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (24-368)	CBM14
XP 029631776.1 <i>Salmo trutta</i> (α 1)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 029631777.1 <i>Salmo trutta</i> (α 2)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 029911501.1 <i>Myripristis murdjan</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 029990512.1 <i>Sphaeramia orbicularis</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 029993719.1 <i>Sphaeramia orbicularis</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-367)	CBM14
XP 030219863.1 <i>Gadus morhua</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 030230627.1 <i>Gadus morhua</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (120-463)	CBM14
XP 030274860.1 <i>Sparus aurata</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 030277730.1 <i>Sparus aurata</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-367)	CBM14
XP 031146319.1 <i>Sander lucioperca</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-367)	CBM14
XP 031176579.1 <i>Sander lucioperca</i> (α 1)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14

XP 031176590.1 <i>Sander lucioperca</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 031422960.1 <i>Clupea harengus</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (24-369)	CBM14
XP 031422961.1 <i>Clupea harengus</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (24-369)	CBM14
XP 031681070.1 <i>Oncorhynchus kisutch</i> ($\alpha 3$)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 031681082.1 <i>Oncorhynchus kisutch</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 031701325.1 <i>Anarrhichthys ocellatus</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 031707928.1 <i>Anarrhichthys ocellatus</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	-
XP 032370596.1 <i>Etheostoma spectabile</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 032376125.1 <i>Etheostoma spectabile</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-367)	CBM14
XP 033483289.1 <i>Epinephelus lanceolatus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 033485645.1 <i>Epinephelus lanceolatus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 033909690.1 <i>Acipenser ruthenus</i> ($\alpha 4$)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 033939747.1 <i>Pseudochaenichthys georgianus</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 033939748.1 <i>Pseudochaenichthys georgianus</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 033942024.1 <i>Pseudochaenichthys georgianus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (18-360)	CBM14
XP 033987726.1 <i>Trematomus bernacchii</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-367)	CBM14
XP 034066929.1 <i>Gymnodraco acuticeps</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (18-360)	CBM14
XP 034074231.1 <i>Gymnodraco acuticeps</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 034074232.1 <i>Gymnodraco acuticeps</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 034388685.1 <i>Cyclopterus lumpus</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (22-365)	CBM14
XP 034388695.1 <i>Cyclopterus lumpus</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (22-365)	CBM14

XP 034393405.1 <i>Cyclopterus lumpus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-367)	CBM14
XP 034446085.1 <i>Hippoglossus hippoglossus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 034726467.1 <i>Etheostoma cragini</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 034733014.1 <i>Etheostoma cragini</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-367)	CBM14
XP 035007961.2 <i>Hippoglossus stenolepis</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 035244645.1 <i>Anguilla anguilla</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (24-367)	CBM14
XP 035488216.1 <i>Scophthalmus maximus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 035501307.2 <i>Scophthalmus maximus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 035513110.1 <i>Morone saxatilis</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 035518014.1 <i>Morone saxatilis</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 035596264.1 <i>Oncorhynchus keta</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 035634189.2 <i>Oncorhynchus keta</i> (α 1)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 035634190.2 <i>Oncorhynchus keta</i> (α 2)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 036386808.1 <i>Megalops cyprinoides</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 036388943.1 <i>Megalops cyprinoides</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 036415701.1 <i>Colossoma macropomum</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (29-374)	CBM14
XP 036446819.1 <i>Colossoma macropomum</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (32-376)	CBM14
XP 036806009.1 <i>Oncorhynchus mykiss</i> (α 1)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 036957226.1 <i>Acanthopagrus latus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 037304234.1 <i>Pungitius pungitius</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (33-375)	CBM14
XP 037627284.1 <i>Sebastes umbrosus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (33-375)	CBM14
XP 037644029.1 <i>Sebastes umbrosus</i> (α 1)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 037645822.1 <i>Sebastes umbrosus</i> (α 2)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14

XP 038551357.1 <i>Micropterus salmoides</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 038826703.1 <i>Salvelinus namaycush</i> ($\alpha 3$)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 038826713.1 <i>Salvelinus namaycush</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 038826723.1 <i>Salvelinus namaycush</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 039605756.1 <i>Polypterus senegalus</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 039605920.1 <i>Polypterus senegalus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 039605940.1 <i>Polypterus senegalus</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 039652300.1 <i>Perca fluviatilis</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 039656355.1 <i>Perca fluviatilis</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 040008791.1 <i>Xiphias gladius</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 040015678.1 <i>Xiphias gladius</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 040050398.1 <i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (33-375)	CBM14
XP 040060489.1 <i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 040547601.2 <i>Gallus gallus</i> ($\beta 3$)	3.2.1.14	GH18 (22-367)	CBM14
XP 040889770.1 <i>Toxotes jaculatrix</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 040917426.1 <i>Toxotes jaculatrix</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 041084189.1 <i>Polyodon spathula</i> ($\alpha 3$)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 041084513.1 <i>Polyodon spathula</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 041091805.1 <i>Polyodon spathula</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 041091856.1 <i>Polyodon spathula</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (44-388)	CBM14
XP 041745215.2 <i>Coregonus clupeaformis</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 041804613.1 <i>Chelmon rostratus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 041945340.1 <i>Alosa sapidissima</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (27-371)	CBM14

XP 041945342.1 <i>Alosa sapidissima</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (15-359)	CBM14
XP 041946146.1 <i>Alosa sapidissima</i> ($\alpha 3$)	3.2.1.14	GH18 (16-360)	CBM14
XP 041955427.1 <i>Alosa sapidissima</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-365)	CBM14
XP 042155151.1 <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 042155158.1 <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> ($\alpha 3$)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	-
XP 042262371.1 <i>Thunnus maccoyii</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 042263937.1 <i>Thunnus maccoyii</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-364)	CBM14
XP 042352121.1 <i>Plectropomus leopardus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 044034728.1 <i>Siniperca chuatsi</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	-
XP 044067263.1 <i>Siniperca chuatsi</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (33-374)	CBM14
XP 044205228.1 <i>Thunnus albacares</i>	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 045079217.1 <i>Coregonus clupeaformis</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 045884973.1 <i>Micropterus dolomieu</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 045912293.1 <i>Micropterus dolomieu</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (33-374)	CBM14
XP 046167694.1 <i>Oncorhynchus gorboscha</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 046167906.1 <i>Oncorhynchus gorboscha</i> ($\alpha 3$)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 046167965.1 <i>Oncorhynchus gorboscha</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 046199948.1 <i>Oncorhynchus gorboscha</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 046241276.1 <i>Scatophagus argus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (28-370)	CBM14
XP 046725792.1 <i>Silurus meridionalis</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 046730767.1 <i>Silurus meridionalis</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-368)	CBM14
XP 046882066.1 <i>Hypomesus transpacificus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 046896042.1 <i>Hypomesus transpacificus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-368)	CBM14

XP 047439170.1 <i>Mugil cephalus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (29-371)	CBM14
XP 047462648.1 <i>Mugil cephalus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-367)	CBM14
XP 047662875.1 <i>Tachysurus fulvidraco</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 048110491.1 <i>Alosa alosa</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (36-380)	CBM14
XP 048860281.1 <i>Brienomyrus brachyistius</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 048873022.1 <i>Brienomyrus brachyistius</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 049437533.1 <i>Epinephelus fuscoguttatus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 049444010.1 <i>Epinephelus fuscoguttatus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 049894108.1 <i>Epinephelus moara</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 049920267.1 <i>Epinephelus moara</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 051270629.1 <i>Dicentrarchus labrax</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 051280718.1 <i>Dicentrarchus labrax</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 053096672.1 <i>pangasianodon hypophthalmus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 053173375.1 <i>Scomber japonicus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 053281680.1 <i>Pleuronectes platessa</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 053339011.1 <i>Clarias gariepinus</i> ($\beta 2$)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 053339252.1 <i>Clarias gariepinus</i> ($\beta 1$)	3.2.1.14	GH18 (26-371)	CBM14
XP 053339747.1 <i>Clarias gariepinus</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (23-368)	CBM14
XP 053339748.1 <i>Clarias gariepinus</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (23-368)	CBM14
XP 053499605.1 <i>Ictalurus furcatus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 053508942.1 <i>Ictalurus furcatus</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (23-368)	CBM14
XP 053509332.1 <i>Ictalurus furcatus</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (23-368)	CBM14

XP 054464331.1 <i>Anoplopoma fimbria</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-367)	CBM14
XP 054472588.1 <i>Anoplopoma fimbria</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 055755538.1 <i>Salvelinus fontinalis</i> ($\alpha 3$)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 055755561.1 <i>Salvelinus fontinalis</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 055755581.1 <i>Salvelinus fontinalis</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 056128988.1 <i>Lampris incognitus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 056278714.1 <i>Pseudoliparis swirei</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (33-375)	CBM14
XP 056450412.1 <i>Gadus chalcogrammus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 056462768.1 <i>Gadus chalcogrammus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 058228924.1 <i>Hemibagrus wyckioides</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-368)	CBM14
XP 058266175.1 <i>Hemibagrus wyckioides</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-367)	CBM14
XP 058860131.1 <i>Acipenser ruthenus</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 058860536.1 <i>Acipenser ruthenus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 058860598.1 <i>Acipenser ruthenus</i> ($\alpha 3$)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 058860602.1 <i>Acipenser ruthenus</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 059185423.1 <i>Centropristis striata</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 059189333.1 <i>Centropristis striata</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 059918256.1 <i>Gadus macrocephalus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 059925657.1 <i>Gadus macrocephalus</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 059925658.1 <i>Gadus macrocephalus</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 060713981.1 <i>Tachysurus vachellii</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (23-368)	CBM14
XP 060714008.1 <i>Tachysurus vachellii</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (23-368)	CBM14
XP 060750206.1 <i>Tachysurus vachellii</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14

XP 060766225.1 <i>Neoarius graeffei</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (24-367)	-
XP 060766228.1 <i>Neoarius graeffei</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (23-368)	CBM14
XP 060792886.1 <i>Neoarius graeffei</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 061075617.1 <i>Conger conger</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (24-367)	CBM14
XP 062247333.1 <i>Platichthys flesus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 062251278.1 <i>Platichthys flesus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (45-387)	CBM14
XP 062282675.1 <i>Scomber scombrus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (25-366)	CBM14
XP 062300417.1 <i>Scomber scombrus</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (13-355)	CBM14
XP 062300577.1 <i>Scomber scombrus</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 062842234.1 <i>Trichomycterus rosablanca</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-366)	CBM14
XP 062871013.1 <i>Trichomycterus rosablanca</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 063064570.1 <i>Engraulis encrasicolus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (22-365)	CBM14
XP 063070826.1 <i>Engraulis encrasicolus</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (24-367)	CBM14
XP 063331061.1 <i>Pelmatolapia mariae</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 063739826.1 <i>Eleginops maclovinus</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (33-375)	CBM14
XP 063765933.1 <i>Eleginops maclovinus</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 063768040.1 <i>Eleginops maclovinus</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	-
XP 064156560.1 <i>Anguilla rostrata</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-365)	CBM14
XP 064161918.1 <i>Anguilla rostrata</i> (α)	3.2.1.14	GH18 (24-367)	CBM14
XP 064778703.1 <i>Oncorhynchus masou masou</i> (β)	3.2.1.14	GH18 (23-367)	CBM14
XP 064811803.1 <i>Oncorhynchus masou masou</i> ($\alpha 2$)	3.2.1.14	GH18 (28-372)	CBM14
XP 064814131.1 <i>Oncorhynchus masou masou</i> ($\alpha 1$)	3.2.1.14	GH18 (77-421)	CBM14

Σηματοδοτική αλληλουχία εκκριτικού μονοπατιού

Πίνακας Π4: Διερεύνηση σηματοδοτικής αλληλουχίας.

Αλληλουχίες	Σήμα (SP)	Πιθανότητα SP	Άλλο σήμα	Θέση κοπής
XP 007897726.1 <i>Callorhinchus milii</i>	-	0.005888	0.994112	-
XP 063064570.1 <i>Engraulis encrasicolus</i> (β)	SP	0.997104	0.002896	20-21
XP 028849103.1 <i>Denticeps clupeoides</i> (β)	SP	0.989306	0.010694	21-22
XP 041955427.1 <i>Alosa sapidissima</i> (β)	SP	0.992551	0.007449	21-22
XP 059918256.1 <i>Gadus macrocephalus</i> (β)	SP	0.998207	0.001793	21-22
XP 056450412.1 <i>Gadus chalcogrammus</i> (β)	SP	0.998207	0.001793	21-22
XP 030219863.1 <i>Gadus morhua</i> (β)	SP	0.998207	0.001793	21-22
XP 053339252.1 <i>Clarias gariepinus</i> (β1)	SP	0.965689	0.034311	24-25
XP 023649371.1 <i>Paramormyrops kingsleyae</i> (β)	SP	0.994688	0.005312	21-22
XP 048873022.1 <i>Brienomyrus brachyistius</i> (β)	SP	0.995848	0.004152	21-22
XP 036388943.1 <i>Megalops cyprinoides</i> (β)	SP	0.991380	0.008620	21-22
XP 064156560.1 <i>Anguilla rostrata</i> (β)	SP	0.995515	0.004485	21-22
XP 029105202.1 <i>Scleropages formosus</i> (β)	SP	0.992672	0.007328	21-22
XP 062871013.1 <i>Trichomycterus rosablanca</i> (β)	SP	0.989474	0.010526	21-22
XP 022533093.2 <i>Astyanax mexicanus</i> (β)	SP	0.974863	0.025137	21-22
XP 017566375.1 <i>Pygocentrus nattereri</i> (β)	SP	0.974863	0.025137	21-22
XP 036446819.1 <i>Colossoma macropomum</i> (β)	SP	0.668074	0.331926	30-31
XP 046725792.1 <i>Silurus meridionalis</i> (β)	SP	0.989906	0.010094	21-22

XP 017341907.1 <i>Ictalurus punctatus</i> (β)	SP	0.981756	0.018244	21-22
XP 053499605.1 <i>Ictalurus furcatus</i> (β)	SP	0.980511	0.019489	21-22
XP 058266175.1 <i>Hemibagrus wyckioides</i> (β)	SP	0.924598	0.075402	21-22
XP 047662875.1 <i>Tachysurus fulvidraco</i> (β)	SP	0.983212	0.016788	21-22
XP 060750206.1 <i>Tachysurus vachellii</i> (β)	SP	0.983212	0.016788	21-22
XP 053339011.1 <i>Clarias gariepinus</i> (β2)	SP	0.987211	0.012789	21-22
XP 053096672.1 <i>Pangasianodon hypophthalmus</i> (β)	SP	0.985169	0.014831	21-22
XP 060792886.1 <i>Neoarius graeffei</i> (β)	SP	0.987211	0.012789	21-22
XP 056128988.1 <i>Lampris incognitus</i> (β)	SP	0.990976	0.009024	21-22
XP 029013328.1 <i>Betta splendens</i> (β)	SP	0.985807	0.014193	21-22
XP 056278714.1 <i>Pseudoliparis swirei</i> (β)	SP	0.602979	0.397021	2-30
XP 034393405.1 <i>Cyclopterus lumpus</i> (β)	SP	0.985530	0.014470	21-22
XP 063739826.1 <i>Eleginops maclovinus</i> (β)	-	0.446274	0.553726	-
XP 033942024.1 <i>Pseudochaenichthys georgianus</i> (β)	-	0.465454	0.534546	-
XP 034066929.1 <i>Gymnodraco acuticeps</i> (β)	-	0.374997	0.625003	-
XP 010787942.1 <i>Notothenia coriiceps</i> (β)	SP	0.985243	0.014757	21-22
XP 033987726.1 <i>Trematomus bernacchii</i> (β)	SP	0.980074	0.019926	21-22
XP 062282675.1 <i>Scomber scombrus</i> (β)	SP	0.984918	0.015082	21-22
XP 053173375.1 <i>Scomber japonicus</i> (β)	SP	0.983838	0.016162	21-22
XP 037627284.1 <i>Sebastes umbrosus</i> (β)	SP	0.596245	0.403755	29-30

XP 062247333.1 <i>Platichthys flesus</i> (β)	SP	0.992323	0.007677	21-22
XP 053281680.1 <i>Pleuronectes platessa</i> (β)	SP	0.992323	0.007677	21-22
XP 034446085.1 <i>Hippoglossus hippoglossus</i> (β)	SP	0.994491	0.005509	21-22
XP 019962794.1 <i>Paralichthys olivaceus</i> (β)	SP	0.994931	0.005069	21-22
XP 047462648.1 <i>Mugil cephalus</i> (β)	SP	0.974499	0.025501	21-22
XP 042263937.1 <i>Thunnus maccoyii</i> (β)	SP	0.836233	0.163767	19-20
XP 029291996.1 <i>Cottoperca gobio</i> (β)	SP	0.985530	0.014470	21-22
XP 049920267.1 <i>Epinephelus moara</i> (β)	SP	0.994133	0.005867	21-22
XP 049437533.1 <i>Epinephelus fuscoguttatus</i> (β)	SP	0.994133	0.005867	21-22
XP 033485645.1 <i>Epinephelus lanceolatus</i> (β)	SP	0.994133	0.005867	21-22
XP 030277730.1 <i>Sparus aurata</i> (β)	SP	0.980877	0.019123	21-22
XP 059189333.1 <i>Centropomus striatus</i> (β)	SP	0.996533	0.003467	21-22
XP 040050398.1 <i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i> (β)	SP	0.607632	0.392368	29-30
XP 018529985.1 <i>Lates calcarifer</i> (β)	SP	0.985230	0.014770	21-22
XP 045912293.1 <i>Micropterus dolomieu</i> (β)	SP	0.546455	0.453545	29-30
XP 044067263.1 <i>Siniperca chuatsi</i> (β)	SP	0.641143	0.358857	29-30
XP 054464331.1 <i>Anoplopoma fimbria</i> (β)	SP	0.981737	0.018263	21-22
XP 032376125.1 <i>Etheostoma spectabile</i> (β)	SP	0.976467	0.023533	21-22
XP 034733014.1 <i>Etheostoma cragini</i> (β)	SP	0.975988	0.024012	21-22
XP 028438558.1 <i>Perca flavescens</i> (β)	SP	0.981737	0.018263	21-22
XP 039656355.1 <i>Perca fluviatilis</i> (β)	SP	0.980370	0.019630	21-22

XP 031146319.1 <i>Sander lucioperca</i> (β)	SP	0.981737	0.018263	21-22
XP 010736405.1 <i>Larimichthys crocea</i> (β)	SP	0.984918	0.015082	21-22
XP 051280718.1 <i>Dicentrarchus labrax</i> (β)	SP	0.984238	0.015762	21-22
XP 035513110.1 <i>Morone saxatilis</i> (β)	SP	0.984238	0.015762	21-22
XP 040008791.1 <i>Xiphias gladius</i> (β)	SP	0.995770	0.004230	21-22
XP 028265608.1 <i>Parambassis ranga</i> (β)	SP	0.980861	0.019139	21-22
XP 029911501.1 <i>Myripristis murdjan</i> (β)	SP	0.986149	0.013851	21-22
XP 035501307.2 <i>Scophthalmus maximus</i> (β)	SP	0.979968	0.020032	21-22
XP 026223018.1 <i>Anabas testudineus</i> (β)	SP	0.984918	0.015082	21-22
XP 029993719.1 <i>Sphaeramia orbicularis</i> (β)	SP	0.979973	0.020027	21-22
XP 020467527.1 <i>Monopterus albus</i> (β)	SP	0.984918	0.015082	21-22
XP 026188212.1 <i>Mastacembelus armatus</i> (β)	SP	0.979534	0.020466	21-22
XP 040917426.1 <i>Toxotes jaculatrix</i> (β)	SP	0.984918	0.015082	21-22
XP 029363342.1 <i>Echeneis naucrates</i> (β)	SP	0.957023	0.042977	21-22
XP 022618772.1 <i>Seriola dumerili</i> (β)	SP	0.966374	0.033626	21-22
XP 023260838.1 <i>Seriola lalandi dorsalis</i> (β)	SP	0.979788	0.020212	21-22
XP 046896042.1 <i>Hypomesus transpacificus</i> (β)	SP	0.986678	0.013322	21-22
XP 010873806.1 <i>Esox lucius</i> (β)	SP	0.993856	0.006144	21-22
XP 029574995.1 <i>Salmo trutta</i> (β)	SP	0.969328	0.030672	22-23
XP 023847200.1 <i>Salvelinus alpinus</i> (β)	SP	0.992195	0.007805	21-22
XP 014002002.2 <i>Salmo salar</i> (β)	SP	0.992195	0.007805	21-22

XP 064778703.1 <i>Oncorhynchus masou masou</i> (β)	SP	0.992195	0.007805	21-22
XP 021472056.2 <i>Oncorhynchus mykiss</i> (β)	SP	0.992195	0.007805	21-22
XP 024231694.1 <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> (β)	SP	0.992195	0.007805	21-22
XP 035596264.1 <i>Oncorhynchus keta</i> (β)	SP	0.983041	0.016959	21-22
XP 029520703.1 <i>Oncorhynchus nerka</i> (β)	SP	0.992195	0.007805	21-22
XP 046199948.1 <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (β)	SP	0.992195	0.007805	21-22
XP 020362231.1 <i>Oncorhynchus kisutch</i> (β)	SP	0.992195	0.007805	21-22
XP 041084513.1 <i>Polyodon spathula</i> (β)	SP	0.990664	0.009336	21-22
XP 058860536.1 <i>Acipenser ruthenus</i> (β)	SP	0.982696	0.017304	21-22
XP 006628509.1 <i>Lepisosteus oculatus</i> (β)	SP	0.989146	0.0854	21-22
XP 039605920.1 <i>Polypterus senegalus</i> (β)	SP	0.993767	0.006233	21-22
XP 028654968.1 <i>Erpetoichthys calabaricus</i> (β)	SP	0.979628	0.020372	21-22
XP 040547601.2 <i>Gallus gallus</i> (β 3)	SP	0.983049	0.016951	21-22
NP 989760.2 <i>Gallus gallus</i> (β 1)	SP	0.996230	0.003770	21-22
XP 015154454.3 <i>Gallus gallus</i> (β 2)	SP	0.996504	0.003496	21-22
NP 075675.2 <i>Mus musculus</i> (β)	SP	0.998361	0.001639	21-22
NP 970615.2 <i>Homo sapiens</i>	SP	0.997292	0.002708	21-22
XP 041945342.1 <i>Alosa sapidissima</i> (α 2)	-	0.113079	0.886921	
XP 041946146.1 <i>Alosa sapidissima</i> (α 3)	SP	0.588094	0.411906	15-16
XP 063070826.1 <i>Engraulis encrasicolus</i> (α)	SP	0.989128	0.0872	21-22
XP 031422961.1 <i>Clupea harengus</i> (α 1)	SP	0.994501	0.005499	21-22

XP 031422960.1 <i>Clupea harengus</i> ($\alpha 2$)	SP	0.994434	0.005566	21-22
XP 041945340.1 <i>Alosa sapidissima</i> ($\alpha 1$)	SP	0.928567	0.071433	24-25
XP 048110491.1 <i>Alosa alosa</i> (α)	-	0.241698	0.758302	-
XP 063331061.1 <i>Pelmatolapia mariae</i> (α)	SP	0.886167	0.113833	21-22
XP 048860281.1 <i>Brienomyrus brachyistius</i> (α)	SP	0.993631	0.006369	21-22
XP 023652444.1 <i>Paramormyrops kingsleyae</i> (α)	SP	0.993335	0.006665	21-22
XP 039605756.1 <i>Polypterus senegalus</i> ($\alpha 2$)	SP	0.993380	0.006620	21-22
XP 028652500.1 <i>Erpetoichthys calabaricus</i> ($\alpha 2$)	SP	0.993380	0.006620	21-22
XP 028652498.2 <i>Erpetoichthys calabaricus</i> ($\alpha 1$)	SP	0.993407	0.006593	21-22
XP 039605940.1 <i>Polypterus senegalus</i> ($\alpha 1$)	SP	0.993407	0.006593	21-22
XP 006628624.1 <i>Lepisosteus oculatus</i> (α)	SP	0.996988	0.003012	21-22
XP 058860602.1 <i>Acipenser ruthenus</i> ($\alpha 1$)	SP	0.990675	0.009325	21-22
XP 058860131.1 <i>Acipenser ruthenus</i> ($\alpha 2$)	SP	0.990675	0.009325	21-22
XP 058860598.1 <i>Acipenser ruthenus</i> ($\alpha 3$)	SP	0.990675	0.009325	21-22
XP 033909690.1 <i>Acipenser ruthenus</i> ($\alpha 4$)	SP	0.990675	0.009325	21-22
XP 041091805.1 <i>Polyodon spathula</i> ($\alpha 2$)	SP	0.992544	0.007456	21-22
XP 041084189.1 <i>Polyodon spathula</i> ($\alpha 3$)	SP	0.991518	0.008482	21-22
XP 041091856.1 <i>Polyodon spathula</i> ($\alpha 1$)	-	0.043914	0.956086	-
XP 018614064.1 <i>Scleropages formosus</i> ($\alpha 1$)	SP	0.925828	0.074172	24-25
XP 018614066.1 <i>Scleropages formosus</i> ($\alpha 2$)	SP	0.994919	0.005081	21-22

XP 028970131.2 <i>Esox lucius</i> ($\alpha 1$)	SP	0.964461	0.035539	26-27
XP 010879389.3 <i>Esox lucius</i> ($\alpha 2$)	SP	0.964461	0.035539	26-27
XP 041745215.2 <i>Coregonus clupeaformis</i> ($\alpha 1$)	SP	0.960025	0.039975	26-27
XP 045079217.1 <i>Coregonus clupeaformis</i> ($\alpha 2$)	SP	0.960025	0.039975	26-27
XP 013987245.1 <i>Salmo salar</i> ($\alpha 1$)	SP	0.974636	0.025364	26-27
XP 029631776.1 <i>Salmo trutta</i> ($\alpha 1$)	SP	0.987291	0.012709	26-27
XP 064811803.1 <i>Oncorhynchus masou masou</i> ($\alpha 2$)	SP	0.987180	0.012820	26-27
XP 046167965.1 <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> ($\alpha 2$)	SP	0.986549	0.013451	26-27
XP 035634190.2 <i>Oncorhynchus keta</i> ($\alpha 2$)	SP	0.986549	0.013451	26-27
XP 029538699.1 <i>Oncorhynchus nerka</i> ($\alpha 1$)	SP	0.986549	0.013451	26-27
XP 035634189.2 <i>Oncorhynchus keta</i> ($\alpha 1$)	SP	0.986549	0.013451	26-27
XP 021424439.2 <i>Oncorhynchus mykiss</i> ($\alpha 3$)	SP	0.986549	0.013451	26-27
XP 020341957.2 <i>Oncorhynchus kisutch</i> ($\alpha 1$)	SP	0.986549	0.013451	26-27
XP 031681070.1 <i>Oncorhynchus kisutch</i> ($\alpha 3$)	SP	0.986549	0.013451	26-27
XP 024268362.1 <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> ($\alpha 2$)	SP	0.986549	0.013451	26-27
XP 055755561.1 <i>Salvelinus fontinalis</i> ($\alpha 2$)	SP	0.970596	0.029404	26-27
XP 055755538.1 <i>Salvelinus fontinalis</i> ($\alpha 3$)	SP	0.970596	0.029404	26-27
XP 038826703.1 <i>Salvelinus namaycush</i> ($\alpha 3$)	SP	0.997436	0.002564	21-22

XP 024000835.1 <i>Salvelinus alpinus</i> ($\alpha 1$)	SP	0.970596	0.029404	26-27
XP 023842969.1 <i>Salvelinus alpinus</i> ($\alpha 2$)	SP	0.970596	0.029404	26-27
XP 038826723.1 <i>Salvelinus namaycush</i> ($\alpha 1$)	SP	0.996057	0.003943	21-22
XP 038826713.1 <i>Salvelinus namaycush</i> ($\alpha 2$)	SP	0.996057	0.003943	21-22
XP 013987246.1 <i>Salmo salar</i> ($\alpha 2$)	SP	0.987180	0.012820	26-27
XP 029631777.1 <i>Salmo trutta</i> ($\alpha 2$)	SP	0.987180	0.012820	26-27
XP 055755581.1 <i>Salvelinus fontinalis</i> ($\alpha 1$)	SP	0.985696	0.014304	26-27
XP 029538700.1 <i>Oncorhynchus nerka</i> ($\alpha 2$)	SP	0.986549	0.013451	26-27
XP 046167906.1 <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> ($\alpha 3$)	SP	0.986549	0.013451	26-27
XP 042155158.1 <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> ($\alpha 3$)	SP	0.986549	0.013451	26-27
XP 064814131.1 <i>Oncorhynchus masou masou</i> ($\alpha 1$)	-	0.000548	0.999452	-
XP 046167694.1 <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> ($\alpha 1$)	SP	0.997603	0.002397	21-22
NP 001153946.1 <i>Oncorhynchus mykiss</i> ($\alpha 2$)	SP	0.997603	0.002397	21-22
XP 036806009.1 <i>Oncorhynchus mykiss</i> ($\alpha 1$)	SP	0.986549	0.013451	26-27
XP 0316882.1 <i>Oncorhynchus kisutch</i> ($\alpha 2$)	SP	0.986549	0.013451	26-27
XP 042155151.1 <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> ($\alpha 1$)	SP	0.986549	0.013451	26-27
XP 026868713.2 <i>Electrophorus electricus</i> (α)	SP	0.996357	0.003643	21-22

XP 060766225.1 <i>Neoarius graeffei</i> ($\alpha 2$)	SP	0.672899	0.3271	22-23
XP 062842234.1 <i>Trichomycterus rosablanca</i> (α)	SP	0.995808	0.004192	21-22
XP 060766228.1 <i>Neoarius graeffei</i> ($\alpha 1$)	SP	0.996439	0.003561	21-22
XP 007247800.2 <i>Astyanax mexicanus</i> (α)	SP	0.996445	0.003555	21-22
XP 017566287.1 <i>Pygocentrus nattereri</i> (α)	SP	0.996403	0.003597	21-22
XP 036415701.1 <i>Colossoma macropomum</i> (α)	SP	0.921840	0.078160	27-28
XP 053339747.1 <i>Clarias gariepinus</i> ($\alpha 1$)	SP	0.995529	0.004471	21-22
XP 053339748.1 <i>Clarias gariepinus</i> ($\alpha 2$)	SP	0.995529	0.004471	21-22
XP 046730767.1 <i>Silurus meridionalis</i> (α)	SP	0.997513	0.002487	21-22
XP 026791333.1 <i>Pangasianodon hypophthalmus</i> (α)	SP	0.996445	0.003555	21-22
XP 053508942.1 <i>Ictalurus furcatus</i> ($\alpha 2$)	SP	0.996445	0.003555	21-22
XP 017306452.1 <i>Ictalurus punctatus</i> ($\alpha 1$)	SP	0.996552	0.003448	21-22
XP 017306451.1 <i>Ictalurus punctatus</i> ($\alpha 2$)	SP	0.996445	0.003555	21-22
XP 053509332.1 <i>Ictalurus furcatus</i> ($\alpha 1$)	SP	0.996445	0.003555	21-22
XP 058228924.1 <i>Hemibagrus wyckioides</i> (α)	SP	0.996552	0.003448	21-22
XP 027000134.2 <i>Tachysurus fulvidraco</i> (α)	SP	0.996415	0.003585	21-22
XP 060714008.1 <i>Tachysurus vachellii</i> ($\alpha 1$)	SP	0.995927	0.004073	21-22
XP 060713981.1 <i>Tachysurus vachellii</i> ($\alpha 2$)	SP	0.996415	0.003585	21-22
XP 061075617.1 <i>Conger conger</i> (α)	SP	0.995720	0.004280	21-22
XP 035244645.1 <i>Anguilla anguilla</i> (α)	SP	0.995957	0.004043	21-22
XP 064161918.1 <i>Anguilla rostrata</i> (α)	SP	0.995957	0.004043	21-22

XP 046882066.1 <i>Hypomesus transpacificus</i> (α)	SP	0.971132	0.028868	26-27
XP 036386808.1 <i>Megalops cyprinoides</i> (α)	SP	0.995627	0.004373	21-22
XP 046241276.1 <i>Scatophagus argus</i> (α)	SP	0.983208	0.016792	26-27
XP 041804613.1 <i>Chelmon rostratus</i> (α)	SP	0.992572	0.007428	21-22
XP 022075520.2 <i>Acanthochromis polyacanthus</i> (α)	SP	0.693202	0.306798	20-21
XP 023142902.1 <i>Amphiprion ocellaris</i> (α)	SP	0.986829	0.013171	21-22
XP 028853731.1 <i>Denticeps clupeoides</i> ($\alpha 2$)	SP	0.996046	0.003954	21-22
XP 028853732.1 <i>Denticeps clupeoides</i> ($\alpha 1$)	SP	0.990844	0.009156	21-22
XP 028260746.1 <i>Parambassis ranga</i> (α)	SP	0.994537	0.005463	21-22
XP 062300577.1 <i>Scomber scombrus</i> ($\alpha 1$)	SP	0.994571	0.005429	21-22
XP 062300417.1 <i>Scomber scombrus</i> ($\alpha 2$)	-	0.171603	0.828397	-
XP 029357695.1 <i>Echeneis naucrates</i> (α)	SP	0.959871	0.040129	25-26
XP 030230627.1 <i>Gadus morhua</i> (α)	-	0.000629	0.999371	-
XP 059925658.1 <i>Gadus macrocephalus</i> ($\alpha 2$)	SP	0.996755	0.003245	21-22
XP 056462768.1 <i>Gadus chalcogrammus</i> (α)	SP	0.996755	0.003245	21-22
XP 059925657.1 <i>Gadus macrocephalus</i> ($\alpha 1$)	SP	0.996755	0.003245	21-22
XP 034074232.1 <i>Gymnodraco acuticeps</i> ($\alpha 1$)	SP	0.995019	0.004981	21-22
XP 034074231.1 <i>Gymnodraco acuticeps</i> ($\alpha 2$)	SP	0.995019	0.004981	21-22
XP 033939748.1 <i>Pseudochaenichthys georgianus</i> ($\alpha 1$))	SP	0.996664	0.003336	21-22

XP 033939747.1 <i>Pseudochaenichthys georgianus</i> ($\alpha 2$)	SP	0.996664	0.003336	21-22
XP 033483289.1 <i>Epinephelus lanceolatus</i> (α)	SP	0.996783	0.003217	21-22
XP 049894108.1 <i>Epinephelus moara</i> (α)	SP	0.996783	0.003217	21-22
XP 049444010.1 <i>Epinephelus fuscoguttatus</i> (α)	SP	0.996783	0.003217	21-22
XP 042352121.1 <i>Plectropomus leopardus</i> (α)	SP	0.996822	0.003178	21-22
XP 044034728.1 <i>Siniperca chuatsi</i> (α)	SP	0.996822	0.003178	21-22
XP 031701325.1 <i>Anarrhichthys ocellatus</i> ($\alpha 1$)	SP	0.993329	0.006671	21-22
XP 031707928.1 <i>Anarrhichthys ocellatus</i> ($\alpha 2$)	SP	0.993329	0.006671	21-22
XP 040015678.1 <i>Xiphias gladius</i> (α)	SP	0.995922	0.004078	21-22
XP 047439170.1 <i>Mugil cephalus</i> (α)	SP	0.943950	0.056050	27-28
XP 040060489.1 <i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i> (α)	SP	0.996679	0.003321	21-22
XP 037304234.1 <i>Pungitius pungitius</i> (α)	SP	0.723843	0.276157	31-32
XP 030274860.1 <i>Sparus aurata</i> (α)	SP	0.995059	0.004941	21-22
XP 036957226.1 <i>Acanthopagrus latus</i> (α)	SP	0.995369	0.004631	21-22
XP 063765933.1 <i>Eleginops maclovinus</i> ($\alpha 1$)	SP	0.996432	0.003568	21-22
XP 063768040.1 <i>Eleginops maclovinus</i> ($\alpha 2$)	SP	0.996139	0.003861	21-22
XP 042262371.1 <i>Thunnus maccoyii</i> (α)	SP	0.995126	0.004874	21-22
XP 044205228.1 <i>Thunnus albacares</i>	SP	0.995126	0.004874	21-22

XP 054472588.1 <i>Anoplopoma fimbria</i> (α)	SP	0.996822	0.003178	21-22
XP 029007459.1 <i>Betta splendens</i> (α)	SP	0.995464	0.004536	21-22
XP 026204599.1 <i>Anabas testudineus</i> (α)	SP	0.995679	0.004321	21-22
XP 020448874.1 <i>Monopterus albus</i> (α)	-	0.288834	0.711166	-
XP 040889770.1 <i>Toxotes jaculatrix</i> (α)	SP	0.987405	0.012595	21-22
XP 022600862.1 <i>Seriola dumerili</i> (α)	SP	0.996264	0.003736	21-22
XP 023279242.1 <i>Seriola lalandi dorsalis</i> (α)	SP	0.996479	0.003521	21-22
XP 029990512.1 <i>Sphaeramia orbicularis</i> (α)	SP	0.996960	0.003040	21-22
XP 034388685.1 <i>Cyclopterus lumpus</i> (α 1)	SP	0.996495	0.003505	21-22
XP 034388695.1 <i>Cyclopterus lumpus</i> (α 2)	SP	0.996402	0.003598	21-22
XP 018554605.1 <i>Lates calcarifer</i> (α)	SP	0.996521	0.003479	21-22
XP 029288698.1 <i>Cottopterus gobio</i> (α 2)	SP	0.996357	0.003643	21-22
XP 029287530.1 <i>Cottopterus gobio</i> (α 1)	SP	0.996822	0.003178	21-22
XP 010745222.1 <i>Larimichthys crocea</i> (α)	SP	0.996521	0.003479	21-22
XP 037644029.1 <i>Sebastes umbrosus</i> (α 1)	SP	0.996822	0.003178	21-22
XP 037645822.1 <i>Sebastes umbrosus</i> (α 2)	SP	0.996822	0.003178	21-22
XP 035488216.1 <i>Scophthalmus maximus</i> (α)	SP	0.995392	0.004608	21-22
XP 059185423.1 <i>Centropristis striata</i> (α)	SP	0.996822	0.003178	21-22
XP 026162134.1 <i>Mastacembelus armatus</i> (α)	SP	0.995498	0.004502	21-22
XP 038551357.1 <i>Micropterus salmoides</i> (α)	SP	0.996521	0.003479	21-22
XP 045884973.1 <i>Micropterus dolomieu</i> (α)	SP	0.996521	0.003479	21-22

XP 062251278.1 <i>Platichthys flesus</i> (α)	-	0.086649	0.913351	-
XP 035007961.2 <i>Hippoglossus stenolepis</i> (α)	SP	0.996783	0.003217	21-22
XP 019942079.1 <i>Paralichthys olivaceus</i> (α)	SP	0.996309	0.003691	21-22
XP 035518014.1 <i>Morone saxatilis</i> (α)	SP	0.996521	0.003479	21-22
XP 051270629.1 <i>Dicentrarchus labrax</i> (α)	SP	0.996521	0.003479	21-22
XP 032370596.1 <i>Etheostoma spectabile</i> (α)	SP	0.996783	0.003217	21-22
XP 034726467.1 <i>Etheostoma cragini</i> (α)	SP	0.996783	0.003217	21-22
XP 031176579.1 <i>Sander lucioperca</i> (α 1)	SP	0.996872	0.003128	21-22
XP 031176590.1 <i>Sander lucioperca</i> (α 2)	SP	0.996872	0.003128	21-22
XP 028431671.1 <i>Perca flavescens</i> (α)	SP	0.996783	0.003217	21-22
XP 039652300.1 <i>Perca fluviatilis</i> (α)	SP	0.996783	0.003217	21-22

Πίνακας Π15: Συγκεντρωτικός πίνακας με γενετικές και οικοφυσιολογικές πληροφορίες των ειδών.

Επιστημονική ονομασία	Αριθμός γονιδίων AMCase	Τελεόστεος	Οικογένεια	Αλατότητα	Κλιματική ζώνη	Εύρος βάθους	Μετανάστευση	Διατροφή	Στομάχι	Φαρυγγικά δόντια	PGA
<i>Acanthochromis polyacanthus</i>	1	Ναι	Pomacentridae	Αλμυρό, κοραλλιογενή ύφαλο	Τροπικά	1-65m	Δεν μεταναστεύει		Ναι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Kavanagh, 2000)	ON
<i>Acanthopagrus latus</i>	1	Ναι	Sparidae	Αλμυρό	Υποτροπικά				Ναι (Morshedi et al., 2021)		ON
<i>Acipenser ruthenus</i>	5	Όχι	Acipenseridae	Γλυκό	Εύκρατα		Ποταμόδρομο		Ναι (Wegner et al., 2009)	Ναι (Pospisilova et al., 2021)	ON
<i>Alosa alosa</i>	1	Ναι	Alosidae	Αλμυρό	Εύκρατα	10-300m	Ανάδρομο	Καρκινοειδή, έντομα	Ναι (Bao et al., 2015)		ON
<i>Alosa sapidissima</i>	4	Ναι	Alosidae	Αλμυρό	Υποτροπικά	0-250m	Ανάδρομο	Πλαγκτόν, κωπηπόποδα, μυσίδια, περιστασιακά με μικρά ψάρια	Ναι (Xiaoqiang et al., 2015)	Ναι (Xiaoqiang et al., 2015)	ON
<i>Amphiprion ocellaris</i>	1	Ναι	Pomacentridae	Αλμυρό	Τροπικά	1-15m			Ναι (Murray et al., 2023)	Ναι (Murray et al., 2023)	ON
<i>Anabas testudineus</i>	2	Ναι	Anabantidae	Γλυκό	Τροπικά, 22-30°C		Ποταμόδρομο	Βλάστηση, γαρίδες και υπολείμματα ψάρια	Ναι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Pavlov, 2023)	ON
<i>Anarrhichthys ocellatus</i>	2	Ναι	Anarrhichthidae	Αλμυρό	Εύκρατα	1-226m		Ασπόνδυλα και ψάρια με σκληρό κέλυφος			ON
<i>Anguilla anguilla</i>	1	Ναι	Anguillidae	Αλμυρό	Εύκρατα, 4-20°C	0-700m	Κατάδρομο	Σαρκοφάγα	Ναι (Caruso et al., 2008)		ON

<i>Anguilla rostrata</i>	2	Ναι	Anguillidae	Αλμυρό	Υποτροπικά , 4-25°C		Κατάδρομο	Προνύμφες εντόμων και γαστερόποδα , ολιγοχαίητα, αμφίποδα, ισόποδα, μυσίδες και ψάρια			ON
<i>Anoplopoma fimbria</i>	2	Ναι	Anoplopo matidae	Αλμυρό		175-2740m		Όστρακα, σκουλίκια, μικρά ψάρια	Ναι (Rodgveller et al., 2021)		ON
<i>Archocentrus centrarchus</i>	0	Ναι	Cichlidae	Γλυκό	Τροπικά, 26-36°C			Υπολείμματα, έντομα			ON
<i>Astatotilapia calliptera</i>	0	Ναι	Cichlidae	Γλυκό	Τροπικά, 24-28°C			Ασπόνδυλα, άλγη, φυτά, μικρά ψάρια, πλακτόν	Ναι (Pfeifer, 2020)	Ναι	OFF
<i>Astyanax mexicanus</i>	2	Ναι	Characidae	Γλυκό	Υποτροπικά		Ποταμόδρομο	Έντομα, μαλάκια, σκουλήκια	Ναι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Atukorala & Franz-Odenaal, 2014)	ON
<i>Austrofundulus limnaeus</i>	0	Ναι	Rivulidae	Γλυκό	Τροπικά, 22-26°C		Δεν μεταναστεύουν				OFF
<i>Betta splendens</i>	2	Ναι	Osphronemidae	Γλυκό	Τροπικά, 24-30°C			Ζωοπλαγκτόν , μικρά καρκινοειδή, έντομα	Ναι (Silva et al., 2015)	Όχι (Silva et al., 2015)	ON
<i>Boleophthalmus pectinirostris</i>	0	Ναι	Oxudercidae	Ευρύαλο	Τροπικά, 26-30°C		Δεν μεταναστεύουν	Φυτοφάγα	Ναι (Pfeifer, 2020)		unknow
<i>Brienomyrus brachyistius</i>	2	Ναι	Mormyridae	Γλυκό, υφάλμυρο	Τροπικά, 25-28°C				Ναι (Boussou et al., 2019)		ON

<i>Carassius auratus</i>	0	Ναι	Cyprinidae	Γλυκό	Υποτροπικά , 0-41°C	0-20m	Ποταμόδρομο	Πλακτόν, ασπόνδυλα, φυτική ύλη,	Όχι (Horalskyi et al., 2023)	Ναι	OFF
<i>Carassius carassius</i>	0	Ναι	Cyprinidae	Γλυκό	Εύκρατα 2-22°C		Ποταμόδρομο	Πλαγκτόν, βενθικά ασπόνδυλα, φυτική ύλη	Όχι (Kamiński et al., 2021)	Ναι	OFF
<i>Carassius gibelio</i>	0	Ναι	Cyprinidae	Γλυκό	Εύκρατα 10-20°C		Ποταμόδρομο	Πλαγκτόν, βενθικά ασπόνδυλα, φυτική ύλη	Όχι (Horalskyi et al., 2023)	Ναι	OFF
<i>Centropristis striata</i>	2	Ναι	Serranidae	Αλμυρό, κοραλλιογενή ύφαλο	Εύκρατα		Ωκεανόδρομο		Ναι (Ginni, 2018)		ON
<i>Chanos chanos</i>	0	Ναι	Chanidae	Αλμυρό	Τροπικά, 15-43°C	1-30m	Αμφίδρομο	Ζωοπλακτον, κυανοβακτήρια, άλγη, βενθικά ασπόνδυλα, ψάρια		Ναι (Kohno et al., 1996)	ON
<i>Cheilinus undulatus</i>	0	Ναι	Labridae	Αλμυρό, κοραλλιογενή ύφαλο	Τροπικά	0-100m			Όχι (Pfeifer, 2020)		OFF
<i>Chelmon rostratus</i>	1	Ναι	Chaetodontidae	Αλμυρό, κοραλλιογενή ύφαλο	Τροπικά	1-25m	Δεν μεταναστεύει		Ναι (Tan et al., 1974)		ON
<i>Clarias gariepinus</i>	4	Ναι	Clariidae	Γλυκό	Υποτροπικά , 8- 35°C	0-80m	Ποταμόδρομο	Καρκκινοειδή , έντομα, ψάρια, πλακτον, ασπόνδυλα, πτηνά, φυτά	Ναι (Moawada et al., 2017)		ON

<i>Clupea harengus</i>	2	Ναι	Clupeidae	Αλμυρό	Εύκρατα, 1-18°C	0-364m	Ωκεανόδρομο	Κώπεδα, ψάρια, πουλία, θηλαστικά	Ναι (Pfeifer, 2020)		ON
<i>Cololabis saira</i>	0	Ναι	Scomberesocidae	Αλμυρό	Υποτροπικά	0-230m	Ωκεανόδρομο	Μικρά καρκινοειδή, αυγά, λάρβες ψαριών	Όχι (Ito et al., 2022)	Ναι	OFF
<i>Colossoma macropomum</i>	2	Ναι	Colossomatinae	Γλυκό	Τροπικά, 22-28°C		Ποταμόδρομο	Ζωοπλακτόν, έντομα, φίδια, φυτά	Ναι (Almeida et al., 2006)		ON
<i>Conger conger</i>	1	Ναι	Congrinae	Αλμυρού	Εύκρατα	0-1171m	Ωκεανόδρομο	Ψάρια, καρκινοειδή, κεφαλόποδα	Ναι (Xavier et al., 2022)		ON
<i>Coregonus clupeaformis</i>	2	Ναι	Salmoninae	Γλυκό	Εύκρατα, 8-14°C	8-128m	Ανάδρομο	Έντομα, μαλάκια, αμφίποδα, ψάρια, αυγά ψαριών	Ναι (Macpherson et al., 2010)	Ναι (Baer et al., 2022)	ON
<i>Corythoichthys intestinalis</i>	0	Ναι	Syngnathidae	Αλμυρό	Τροπικά	20-68m			Όχι (Pfeifer, 2020)	Όχι (Qu et al., 2021)	OFF
<i>Cottopecterogobio</i>	3	Ναι	Bovichtidae	Αλμυρό	Υποτροπικά				Ναι		ON
<i>Ctenopharyngodon idella</i>	0	Ναι	Xenocyprididae	Γλυκό	Υποτροπικά, 0-35°C	0-30m	Ποταμόδρομο	Υδρόβια φυτά, χόρτα, υπολείμματα, έντομα και άλλα ασπόνδυλα	Όχι (Stroband, 1977)	Ναι (Stroband, 1977)	OFF
<i>Cyclopterus lumpus</i>	3	Ναι	Cyclopteridae	Αλμυρό	Πολικά, 3-11°C	0-868m	Ωκεανόδρομο	Κενοφόρα, μέδουσα, μικρά καρκινοειδή,	Ναι (Zhukova et al., 2021)	Ναι (Voskoboinikova et al., 2014)	ON

								πολυχαήτες, μέδουσες και μικρά ψάρια			
<i>Cynoglossus semilaevis</i>	0	Ναι	Cynoglossidae	Αλμυρό	Υποτροπικά			Βενθικά καρκινοειδή, ψάρια			OFF
<i>Cyprinodon tularosa</i>	0	Ναι	Cyprinodontidae	Γλυκό	Υποτροπικά , 26-30°C		Δεν μεταναστεύουν				OFF
<i>Cyprinodon variegatus</i>	0	Ναι	Cyprinodontidae	Αλμυρό, κοραλλιογ ενή ύφαλο	Υποτροπικά		Δεν μεταναστεύουν	Παμφάγο	Όχι (Pfeifer, 2020)		OFF
<i>Cyprinus carpio</i>	0	Ναι	Cyprinidae	Γλυκό	Υποτροπικά , 3-35°C	0-29m	Ποταμόδρομο	Βενθικούς οργανισμούς, φυτική ύλη	Όχι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Jawad et al., 2021)	OFF
<i>Danio aesculapii</i>	0	Ναι	Danionidae	Γλυκό	Τροπικά						OFF
<i>Danio rerio</i>	0	Ναι	Danionidae	Γλυκό	Τροπικά, 18-24°C			Σκουλήκια, μικρά καρκινοειδή	Όχι (Pfeifer, 2020)	Ναι	OFF
<i>Denticeps clupeoides</i>	3	Ναι	Denticipitidae	Γλυκό	Τροπικά, 20-25°C				Ναι (Castro-Ruiz et al., 2021)	Ναι (Sire et al., 1998)	ON
<i>Dicentrarchus labrax</i>	2	Ναι	Moronidae	Αλμυρό	Υποτροπικά , 8-24°C	10- 100m	Ωκεανόδρομο	Σαρκοφάφο, οστακόδερμα	Ναι (Wilson et al., 2010)	Όχι	ON
<i>Doryrhamphus excisus</i>	0	Ναι	Syngnathidae	Αλμυρό, κοραλλιογ ενή ύφαλο	Τροπικά	2-50m		Καρκινοειδή, πλακτόν	Όχι (Pfeifer, 2020)	Όχι (Qu et al., 2021)	OFF
<i>Dunckerocampus dactyliophorus</i>	0	Ναι	Syngnathidae	Αλμυρό, κοραλλιογ ενή ύφαλο	Τροπικά	5-56m		Μικρά ασπόνδυλα	Όχι (Pfeifer, 2020)	Όχι (Qu et al., 2021)	OFF

<i>Echeneis naucrates</i>	2	Ναι	Echeneidae	Αλμυρό, κοραλλιογενή ύφαλο	Υποτροπικά	1-85m		Ψάρια, κομμάτια από το θήραμα του ξενιστή και τα παράσιτα του ξενιστή	Ναι (Astakhov et al., 2019)		ON
<i>Electrophorus electricus</i>	1	Ναι	Gymnotidae	Γλυκό	Τροπικά, 23-28°C			Ασπόνδυλα, ψάρια, μικρά θηλαστικά, αυγά ψαριών	Ναι (Mendes-Júnior et al., 2020)		ON
<i>Eleginops maclovinus</i>	3	Ναι	Eleginopidae	Αλμυρό	Temperate	0-250m			Ναι (Mendoza et al., 2023)		ON
<i>Engraulis encrasicolus</i>	2	Ναι	Engraulidae	Αλμυρό	Υποτροπικά	0-400m	Ωκεανόδρομο	Ζωοπλακτον	Ναι (Bachiller et al., 2013)		ON
<i>Entelurus aequoreus</i>	0	Ναι	Syngnathidae	Αλμυρό	Εύκρατα	5-100m		Μικρά καρκινοειδή, υπολείμματα ψαριού	Όχι (Pfeifer, 2020)	Όχι (Qu et al., 2021)	OFF
<i>Epinephelus fuscoguttatus</i>	2	Ναι	Epinephelidae	Αλμυρό	Τροπικά	1-60m		Ψάρια, καβούρια, κεφαλόποδα	Ναι (Muhammad et al., 2012)	Ναι (Muhammadar, 2010)	ON
<i>Epinephelus lanceolatus</i>	2	Ναι	Epinephelidae	Αλμυρό, κοραλλιογενή ύφαλο	Τροπικά	1-200m		Αγκαθωτές αστακούς, ψάρια, μικρούς καρχαρίες, θαλάσσιες χελώνες και καρκινοειδή	Ναι (Anderson et al., 2019)		ON

<i>Epinephelus moara</i>	2	Ναι	Epinephelidae	Αλμυρό, κοραλλιογενή ύφαλο	Τροπικά	20-200m			Ναι (Mardiansyah et al., 2022)		ON
<i>Erpetoichthys calabaricus</i>	3	Όχι	Polypteridae	Γλυκό	Τροπικά, 22-28°C			Σκουλήκια, καρκινοειδή, έντομα	Ναι (Ward et al., 2012)		ON
<i>Esox lucius</i>	3	Ναι	Esocidae	Γλυκό	Υποτροπικά, 10-28°C	0-30m	Ποταμόδρομο	Ψάρια, βατάχους, καραβίδες, ασπόνδυλα, κανίβαλοι	Ναι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Jollie, 1995)	ON
<i>Etheostoma cragini</i>	2	Ναι	Percidae	Γλυκό	Υποτροπικά				Ναι (Taber et al., 1986)		ON
<i>Etheostoma spectabile</i>	2	Ναι	Percidae	Γλυκό	Εύκρατα, 4-18°C			Έντομα, ασπόνδυλα, ψάρια, αυγά ψαριών	Ναι (Phillips et al., 1996)		ON
<i>Fundulus heteroclitus</i>	0	Ναι	Fundulidae	Αλμυρό, κοραλλιογενή ύφαλο	Εύκρατα, 10-24°C		Δεν μεταναστεύει		Όχι (Ito et al., 2022)	Ναι (Able et al., 2007)	OFF
<i>Gadus chalcogrammus</i>	2	Ναι	Gadidae	Αλμυρό	Πολικά	30-1280m		Κριλ, ψάρια, καρκινοειδή	Ναι (Orlov et al., 2021)		ON
<i>Gadus macrocephalus</i>	3	Ναι	Gadidae	Αλμυρό	Βόρεια, 6-9°C	10-1280m	Ωκεανόδρομο	Ψάρια, βενθικά οστρακοειδή, σκουλήκια	Ναι (Paul et al., 1990)		ON
<i>Gadus morhua</i>	2	Ναι	Gadidae	Αλμυρό	Εύκρατα, 0-15°C	0-600m	Ωκεανόδρομο	Ασπόνδυλα, ψάρια	Ναι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Herbing et al., 1996)	ON
<i>Gambusia affinis</i>	0	Ναι	Poeciliidae	Γλυκό	Υποτροπικά, 12-29°C		Ποταμόδρομο	Ζωοπλακτόν, έντομα, υπολείμματα	Όχι (Pfeifer, 2020)		OFF

<i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i>	2	Ναι	Gasterosteidae	Αλμυρό	Υποτροπικά , 4-20°C	0-100m		Σκουλήκια, καρκινοειδή, προνύμφες, έντομα, μικρά ψάρια	Ναι (Pfeifer 2020)	Ναι (Ellis et al., 2016)	ON
<i>Girardinichthys multiradiatus</i>	0	Ναι	Goodeidae	Γλυκό	Εύκρατα, 12-20°C						OFF
<i>Gouania willdenowi</i>	0	Ναι	Gobiesocidae	Γλυκό	Υποτροπικά	0-2m					OFF
<i>Gymnodraco acuticeps</i>	3	Ναι	Bathyracidae	Αλμυρό	Πολικά	0-550m		Ψάρια, αμφίποδα, αυγά ψαριών και πολυχαΐτες	Ναι		ON
<i>Haplochromis burtoni</i>	0	Ναι	Cichlidae	Γλυκό	Τροπικά		Δεν μεταναστεύει	Ψάρια	Ναι (Pfeifer, 2020)		unknow
<i>Hemibagrus wyckioides</i>	2	Ναι	Bagridae	Γλυκό	Υποτροπικά		Ποταμόδρομο	Έντομα, γαρίδες, ψάρια και καβούρια	Ναι (Deng et al., 2021)		ON
<i>Hippocampus comes</i>	0	Ναι	Syngnathidae	Αλμυρό, κοραλλιογενή ύφαλο	Τροπικά	0-32m	Δεν μεταναστεύουν	Ζωοπλακτόν	Όχι (Pfeifer, 2020)	Όχι (Qu et al., 2021)	OFF
<i>Hippocampus zosterae</i>	0	Ναι	Syngnathidae	Αλμυρό	Υποτροπικά	0-10m	Δεν μεταναστεύουν		Όχι (Kawaguchi et al., 2021)	Όχι (Qu et al., 2021)	OFF
<i>Hippoglossus hippoglossus</i>	1	Ναι	Pleuronectidae	Αλμυρό	Εύκρατα	50-2000m	Ωκεανόδρομο	Ψάρια, κεφαλόποδα, καρκινοειδή, ζώα του βυθού	Ναι (Gomes et al., 2014)	Ναι (Luizi et al., 1999)	ON

<i>Hippoglossus stenolepis</i>	1	Ναι	Pleuronectidae	Αλμυρό	Εύκρατα	0-1200m	Ωκεανόδρομο	Σαρκοφάγο, οστρακόδερμα, καλαμάρια	Ναι (Moukhametov et al., 2008)	Όχι	ON
<i>Hypomesus transpacificus</i>	2	Ναι	Osmeridae	Γλυκό	Εύκρατα		Ανάδρομο	Ζωοπλαγκτόν	Ναι (Slater et al., 2019)		ON
<i>Ictalurus furcatus</i>	3	Ναι	Ictaluridae	Γλυκό	Υποτροπικά	Μέχρι 50m		Ασπόνδυλα, μύδια και ψάρια	Ναι (Sis et al., 1979)	Ναι (Sis et al., 1979)	ON
<i>Ictalurus punctatus</i>	3	Ναι	Ictalurida	Γλυκό	Υποτροπικά, 10-32°C	0-15m		Μικρά ψάρια, καρκινοειδή, μύδια και σαλιγκάρια, έντομα και μικρά θηλαστικά	Ναι (Pfeifer, 2020)	Ναι	ON
<i>Kryptolebias marmoratus</i>	0	Ναι	Rivulidae	Γλυκό	Τροπικά, 18-24°C		Δεν μεταναστεύουν		Όχι (Pfeifer 2020)		OFF
<i>Labeo rohita</i>	0	Ναι	Cyprinidae	Γλυκού	Τροπικά		Ποταμόδρομο	Φυτά	Όχι (Islam et al., 2001)	Ναι (Islam et al., 2001)	OFF
<i>Labrus bergylta</i>	0	Ναι	Labridae	Αλμυρό, κοραλλιογενή ύφαλο	Εύκρατα	1-50m		Καρκινοειδή, μαλάκια	Όχι (Pfeifer 2020)		OFF
<i>Labrus mixtus</i>	0	Ναι	Labridae	Αλμυρό, κοραλλιογενή ύφαλο	Υποτροπικά	2-200m	Δεν μεταναστεύει	Καρκινοειδή, ψάρια, σκουλήκια, μαλάκια			OFF
<i>Lampris incognitus</i>	1			Αλμυρό		0-500m		Τσούχτρε, καρκινοειδή, ψάρια, ασπόνδυλα			ON

<i>Larimichthys crocea</i>	2	Ναι	Sciaenida	Υφάλμυρο	Εύκρατα	0-120m		Ψάρια, οστρακόδερμα	Ναι (Kalhor et al., 2018)		ON
<i>Lates calcarifer</i>	2	Ναι	Latidae	Αλμυρό	Τροπικά, 15-28°C	10-40m	Κατάδρομο	Σαρκοφάγο, οστρακόδερμα	Ναι (Pfeifer 2020)	Ναι (Kohno et al., 1995)	ON
<i>Lepisosteus oculatus</i>	2	Όχι	Lepisosteidae	Γλυκό	Υποτροπικά, 12-20°C			Ψάρια, καρκινοειδή	Ναι (Pfeifer 2020)		ON
<i>Limanda limanda</i>	0	Ναι	Pleuronectidae	Αλμυρό	Εύκρατα	20-150m	Ωκεανόδρομο	Καρκινοειδή, μικρά ψάρια	Ναι (Temmig et al., 1994)		ON
<i>Mastacembelus armatus</i>	2	Ναι	Mastacembelidae	Γλυκού	Τροπικά				Ναι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Anand et al., 2012)	ON
<i>Maylandia zebra</i>	0	Ναι	Cichlidae	Γλυκό	Τροπικά, 22-28°C	6-28m		Πλακτον, υπολείμματα	Ναι (Pfeifer, 2020)	Ναι	ON
<i>Megalobrama amblycephala</i>	0	Ναι	Xenocyprididae	Γλυκό	Εύκρατα, 10-20°C	5-20m		Χορτοφάγο	Όχι (He et al. 2022)	Ναι (Hu et al., 2023)	OFF
<i>Megalops cyprinoides</i>	2	Ναι	Megalopidae	Ευρύαλο	Τροπικά		Ανάδρομο	Ψάρια, καρκινοειδή	Ναι (Tsukamoto et al., 1997)	Ναι (Tran et al., 2010)	ON
<i>Melanotaenia boesemani</i>	0	Ναι	Melanotaeniidae	Γλυκό	Τροπικά, 27-30°C						ON
<i>Micropterus dolomieu</i>	2	Ναι	Centrarchidae	Γλυκό	Υποτροπικά, 9-30°C	1-7m		Πλαγκτόν, έντομα, καραβίδες, ψάρια	Ναι (Easton et al., 1996)		ON
<i>Micropterus salmoides</i>	1	Ναι	Centrarchidae	Γλυκό	Υποτροπικά, 10-32°C	0-6m		Ψάρια, ασπόνδυλα, έντομα, βατράχια	Ναι (Taguchi et al., 2014)	Ναι (Linser et al., 1998)	ON

<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	0	Ναι	Cobitidae	Γλυκό	Υποτροπικά , 5-25°C			Σκουλήκια, έντομα, μικρά καρκινοειδή, μικρούς υδρόβιους οργανισμούς	Όχι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Watanabe et al., 1983)	OFF
<i>Monopterus albus</i>	2	Ναι	Synbranchiidae	Γλυκό	Τροπικά, 25-28°C		Ποταμόδρομο	Ψάρια, σκουλήκια, καρκινοειδή και άλλα μικρά υδρόβια ζώα	Ναι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Liem, 2013)	ON
<i>Morone saxatilis</i>	2	Ναι	Moronidae	Αλμυρό	Εύκρατα, 8-25°C		Ανάδρομο	Παμφάγο με ευρεία διατροφή	Ναι	Ναι	ON
<i>Mugil cephalus</i>	2	Ναι	Mugilidae	Αλμυρό, hypersaline	Υποτροπικά , 8-24°C	0-120m	Κατάδρομο		Ναι (Cowart, 1971)	Ναι (Cowart, 1971)	ON
<i>Myripristis murdjan</i>	2	Ναι	Holocentridae	Αλμυρό	Τροπικά	1-50m		Πλαγκτόν	Ναι (Kuile et al., 1989)		ON
<i>Myxocyprinus asiaticus</i>	0	Ναι	Catostomidae	Γλυκό	Υποτροπικά , 15°C - 28°C		Ποταμόδρομο		Όχι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Liu et al., 2013)	OFF
<i>Nematolebias whitei</i>	0	Ναι	Rivulidae	Γλυκό	Τροπικά, 20-23°C		Δεν μεταναστεύουν		Όχι	Ναι	OFF
<i>Neosaurus graeffei</i>	3	Ναι	Ariinae	Αλμυρό	Τροπικά, 24-32°C		Ανάδρομο	Αρθρόποδα, έντομα, μαλάκια, φυτά, γαρίδες, καραβίδες,	Ναι (Abecia et al., 2021)		ON

								υπολέμματα, ψάρια			
<i>Neolamprologus brichardi</i>	0	Ναι	Cichlidae	Γλυκό	Τροπικά, 22-25°C			Πλακτόν	Ναι (Pfeifer, 2020)	Ναι	OFF
<i>Nerophis lumbriciformis</i>	0	Ναι	Syngnathidae	Αλμυρό	Εύκρατα	0-30m		Μικρά καρκινοειδή, μικρά ψάρια	Όχι (Pfeifer, 2020)	Όχι (Qu et al., 2021)	OFF
<i>Nerophis ophidion</i>	0	Ναι	Syngnathidae	Αλμυρό	Εύκρατα	2-15m		Καρκινοειδή και υπολείμματα ψαριών	Όχι (Pfeifer, 2020)	Όχι (Qu et al., 2021)	OFF
<i>Nothobranchius furzeri</i>	0	Ναι	Nothobranchiidae	Γλυκό	Τροπικά, 23-30°C		Δεν μεταναστεύει		Όχι (Pfeifer, 2020)	Ναι	OFF
<i>Notolabrus celidotus</i>	0	Ναι	Labridae	Αλμυρό, κοραλλιογενή ύφαλο	Εύκρατα	22- 145m		Μικροί βενθικοί οργανισμοί	Όχι (Denny et al., 2010)	Ναι (Denny et al., 2010)	OFF
<i>Notothenia coriiceps</i>	1	Ναι	Nototheniidae	Αλμυρό	Πολικά	0-550m		Μικρά καρκινοειδή, φύκια	Ναι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Postlethwait et al., 2016)	ON
<i>Oncorhynchus gorboscha</i>	4	Ναι	Salmoninae	Αλμυρό	Υποτροπικά	0-250m	Ανάδρομο	Κωπηπόποδα , χιτωνοφόρα, αμφίποδα, ευφασσοειδή και ψάρια, οστρακοειδή	Ναι	Ναι (Eiting et al., 2007)	ON
<i>Oncorhynchus keta</i>	3	Ναι	Salmoninae	Αλμυρό	Εύκρατα, 0- 24°C	0-250m	Ανάδρομο	Κωπέποδα, χιτωνοφόρα και ευφασσοειδή αλλά και με πτερόποδα,	Ναι	Ναι (Eiting et al., 2007)	ON

								καλαμάρια και μικρά ψάρια			
<i>Oncorhynchus kisutch</i>	4	Ναι	Salmoninae	Αλμυρό	Υποτροπικά , 0-25°C	0-250m	Ανάδρομο	Έντομα, πλακτόν, τσούχτρες, καλαμάρια, ψάρια, καρκινοειδή	Ναι (Romero et al., 2006)	Ναι (Eiting et al., 2007)	ON
<i>Oncorhynchus masou masou</i>	3	Ναι	Salmonidae	Αλμυρό	Εύκρατα	0-200m	Ανάδρομο	Μικρά ψάρια και καρκινοειδή	Ναι	Ναι (Eiting et al., 2007)	ON
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	4	Ναι	Salmoninae	Αλμυρό	Υποτροπικά , 10-24°C	0-200m	Ανάδρομο	Ασπόνδυλα, μικρά ψάρια	Ναι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Eiting et al., 2007)	ON
<i>Oncorhynchus nerka</i>	3	Ναι	Salmoninae	Αλμυρό	Εύκρατα, 0- 25°C	0-250m	Ανάδρομο	Όστρακα, κλαδόκερους, έντομα, πλακτόν, ζωοπλακτον, ψάρια	Ναι	Ναι (Eiting et al., 2007)	ON
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	4	Ναι	Salmoninae	Αλμυρό	Εύκρατα, 0- 25°C	0-375m	Ανάδρομο	Όστρακα, έντομα, ψάρια, ασπόνδυλα	Ναι	Ναι (Eiting et al., 2007)	ON
<i>Onychostoma macrolepis</i>	0	Ναι	Cyprinidae	Γλυκό	Υποτροπικά				Όχι	Ναι	OFF
<i>Oreochromis aureus</i>	0	Ναι	Cichlidae	Γλυκό	Τροπικά, 8- 30°C		Ποταμόδρομο	Φυτοπλακτον , ζωοπλακτον, μικρά ασπόνδυλα	Ναι (Jun- sheng et al., 2006)		ON
<i>Oreochromis niloticus</i>	0	Ναι	Cichlidae	Γλυκό	Τροπικά, 14-33°C	0-20m	Ποταμόδρομο	Φυτοπλακτόν , βενθικά άλγη	Ναι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Pabic et al., 2009)	ON

<i>Oryzias latipes</i>	0	Ναι	Adrianicht hyidae	Υφάλμυρο	Υποτροπικά , 18-24°C		Αμφίδρομα	Παμφάγο με ευρεία διατροφή	Όχι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Debiais-Thibaud et al., 2007)	OFF
<i>Oryzias melastigma</i>	0	Ναι	Adrianicht hyidae	Γλυκό	Τροπικά				Όχι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Tan et al., 2017)	OFF
<i>Pangasianodon hypophthalmus</i>	2	Ναι	Pangasiidae	Γλυκό	Τροπικά, 22-26°C		Ποταμόδρομο	Ψάρια, καρκινοειδή	Ναι (Tran-Tu et al., 2019)		ON
<i>Paralichthys olivaceus</i>	2	Ναι	Paralichthyidae	Αλμυρό	Υποτροπικά	10-200m	Ωκεανόδρομο	Σαρκοφάγο	Ναι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Xiao et al., 2010)	ON
<i>Parambassis ranga</i>	2	Ναι	Ambassidae	Γλυκό	Τροπικά, 20-30°C		Ποταμόδρομο	Ασπόνδυλα, σκουλίκια, καρκινοειδή			ON
<i>Paramormyrus kingsleyae</i>	2	Ναι	Mormyridae	Γλυκό	Τροπικά				Ναι (Pfeifer, 2020)		ON
<i>Pelmatolapia mariae</i>	1	Ναι	Cichlidae	Γλυκό	Τροπικά, 20-25°C			Άλγη, φυτά, έντομα, γαρίδες		Ναι (Dunz et al., 2013)	ON
<i>Perca flavescens</i>	2	Ναι	Percidae	Γλυκό	Υποτροπικά , 0-30°C	0-56m		Έντομα, ασπόνδυλα, ψάρια, αυγά ψαριών	Ναι (Morisson et al., 2021)	Ναι (Morisson et al., 2021)	ON
<i>Perca fluviatilis</i>	2	Ναι	Percidae	Γλυκό	Εύκρατα, 10-22°C	1-30m	Ανάδρομο	Ψάρια, ασπόνδυλα	Ναι (Pavlović et al., 2013)		ON
<i>Periophthalmus magnuspinna tus</i>	0	Ναι	Oxudercidae	Γλυκό	Εύκρατα				Όχι (Pfeifer, 2020)		unk now
<i>Phycodurus eques</i>	0	Ναι	Syngnathidae	Αλμυρό	Εύκρατα	4-30m	Δεν μεταναστεύουν	Μυσίδες και άλλα καρκινοειδή	Όχι (Pfeifer, 2020)	Όχι (Qu et al., 2021)	OFF

<i>Phyllopteryx taeniolatus</i>	0	Ναι	Syngnathidae	Αλμυρό, κοραλλιογενή ύφαλο	Εύκρατα	0-50m			Όχι (Pfeifer, 2020)	Όχι (Qu et al., 2021)	OFF
<i>Pimephales promelas</i>	0	Ναι	Leuciscidae	Γλυκό	Υποτροπικά, 0-33°C			Υπολείμματα, άλγη	Όχι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Brandenburger et al., 1998)	OFF
<i>Platichthys flesus</i>	2	Ναι	Pleuronectidae	Αλμυρό	Εύκρατα, 5-25°C	1-100m	Κατάδρομο	Μικρά ψάρια και ασπόνδυλα	Ναι (Vinagre et al., 2008)	Ναι	ON
<i>Plectropomus leopardus</i>	1	Ναι	Epinephelidae	Αλμυρό	Τροπικά	3-100m		Ψάρια, ασπόνδυλα, οστρακόδερμα	Ναι (Meng et al., 2012)	Ναι (Meng et al., 2012)	ON
<i>Pleuronectes platessa</i>	1	Ναι	Pleuronectidae	Αλμυρό	Εύκρατα, 2-15°C	0-200m	Ωκεανόδρομο	Μαλάκια με λεπτό κέλυφος και πολυχαΐτες	Ναι (Jobling, 1981)		ON
<i>Poecilia formosa</i>	0	Ναι	Poeciliidae	Γλυκό	Υποτροπικά		Δεν μεταναστεύουν		Όχι (Pfeifer, 2020)		OFF
<i>Poecilia latipinna</i>	0	Ναι	Poeciliidae	Γλυκό	Υποτροπικά, 20-28°C		Δεν μεταναστεύει	Άλγη, μικρά καρκινοειδή, έντομα, ζωικά υπολείμματα	Όχι (Pfeifer, 2020)		OFF
<i>Poecilia mexicana</i>	0	Ναι	Poeciliidae	Γλυκό	Τροπικά, 22-28°C		Δεν μεταναστεύουν	Υπολείμματα	Όχι (Aiyala et al., 2021)	Ναι (Aiyala et al., 2021)	OFF
<i>Poecilia reticulata</i>	0	Ναι	Poeciliidae	Γλυκό	Τροπικά, 18-28°C		Δεν μεταναστεύουν	Ζωοπλακτόν, έντομα, υπολείμματα	Όχι (Hale et al., 1965)	Ναι (Hale et al., 1965)	OFF
<i>Poeciliopsis prolifica</i>	0	Ναι	Poeciliidae	Γλυκό	Υποτροπικά, 24-28°C						OFF
<i>Polyodon spathula</i>	4	Όχι	Polyodontidae	Γλυκό	Υποτροπικά, 10-18°C		Ποταμόδρομο	Πλακτόν	Ναι (lack of bounda	Ναι (Smith et al., 2015)	ON

									ries) (Weisel et al. 1973)		
<i>Polypterus senegalus</i>	3	Όχι	Polypteridae	Γλυκό	Τροπικά, 25-28°C		Ποταμόδρομο	Έντομα, καρκινοειδή, βατράχια, ψάρια	Ναι (Magid et al., 1975)		ON
<i>Pseudochaenichthys georgianus</i>	3	Ναι	Channichthyidae	Αλμυρό	Πολικά	0-475m		Κριλ και ψάρια	Ναι		ON
<i>Pseudoliparis swirei</i>	1	Ναι	Liparidae	Αλμυρό		6198-8143m		Αμφίποδα	Ναι (Gerringer et al., 2017)	Ναι (Gerringer et al., 2017)	ON
<i>Pundamilia nyererei</i>	0		Cichlidae	Γλυκό	Τροπικά, 22-28°C	1-4m		Άλγη και έντομα	Ναι (Pfeifer, 2020)		ON
<i>Pungitius pungitius</i>	1	Ναι	Gasterosteidae	Αλμυρό	Βόρεια, 10-20°C	0-110m	Ανάδρομο	Έντομα, μικρά ασπόνδυλα και τα αυγά τους	Ναι (Klevakin et al., 2014)		ON
<i>Puntigrus tetrazona</i>	0	Ναι	Cyprinidae	Γλυκό	Τροπικά, 20-26°C			Σκουλήκια, μικρά καρκινοειδή και φυτική ύλη	Όχι (Lipscomb, 2020)	Ναι (Lipscomb, 2020)	OFF
<i>Pygocentrus nattereri</i>	2	Ναι	Serrasalminae	Πελαγικό γλυκό νερό	Υποτροπικά, 23-27°C			Έντομα, σκουλήκια και ψάρια	Ναι (Pfeifer, 2020)		ON
<i>Rhinichthys klamathensis goyatoka</i>	0	Ναι	Leuciscidae	Γλυκό	Εύκρατα, 9-11°C						OFF
<i>Salarias fasciatus</i>	0	Ναι	Blenniidae	Αλμυρό, κοραλλιογενή ύφαλο	Τροπικά	0-8m		Άλγη	Όχι (Wilson et al., 2010)		OFF

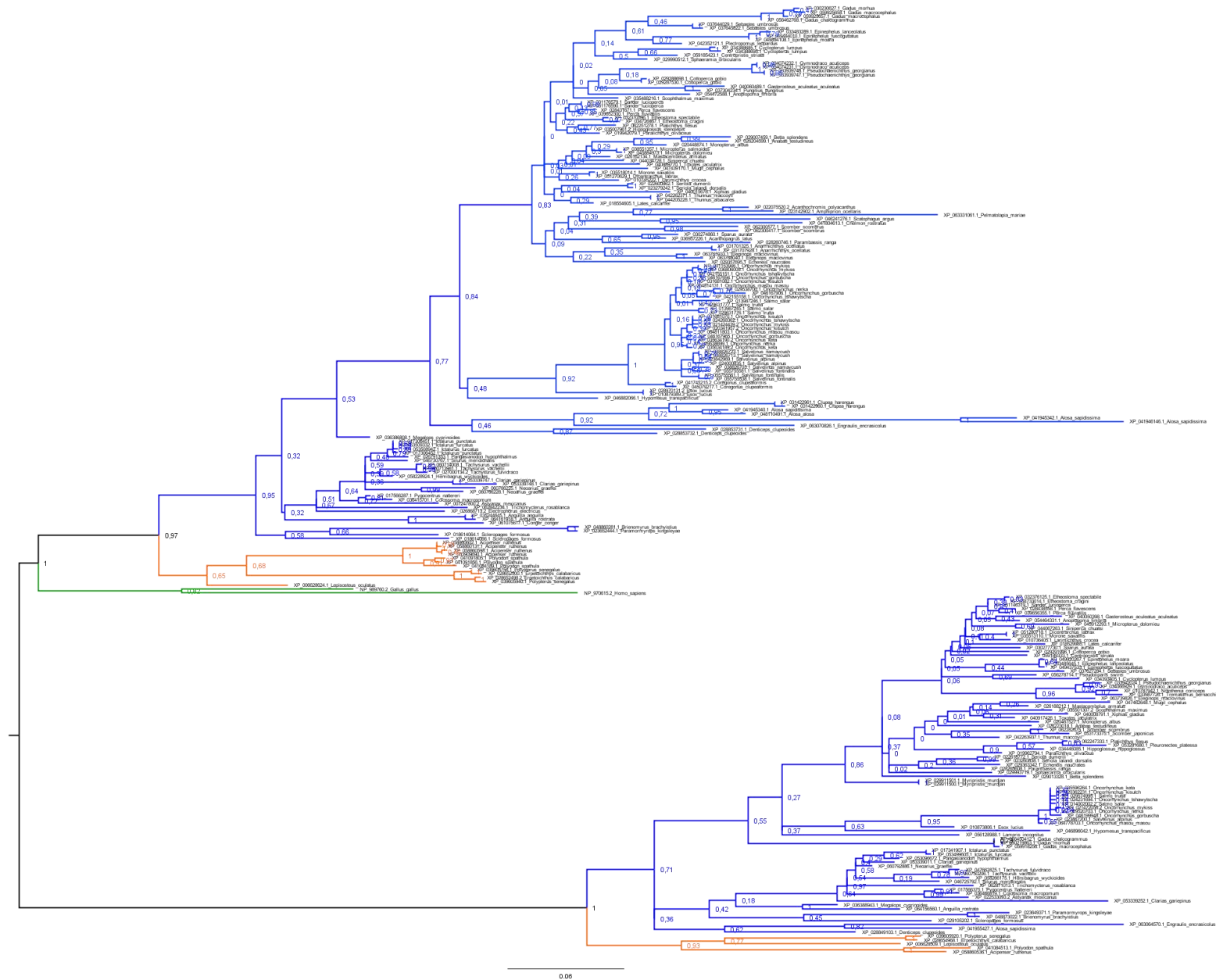
<i>Salmo salar</i>	3	Ναι	Salmoninae	Αλμυρό	Εύκρατα, 2-9°C	0-210m	Ανάδρομο	Έντομα, μαλάκια, καρκινοειδή, ψάρια, καλαμάρια, γαρίδες	Ναι (Pfeifer, 2020)		ON
<i>Salmo trutta</i>	3	Ναι	Salmoninae	Αλμυρό	Εύκρατα, 18-24°C	0-28m	Ανάδρομο	Έντομα, μαλάκια, καρκινοειδή και μικρά ψάρια	Ναι (Pfeifer, 2020)		ON
<i>Salvelinus alpinus</i>	3	Ναι	Salmoninae	Αλμυρό	Εύκρατα, 4-16°C	0-70m	Ανάδρομο	Καρκινοειδή, αμφίποδα, μαλάκια, έντομα και ψάρια	Ναι (Eloranta et al., 2010)		ON
<i>Salvelinus fontinalis</i>	3	Ναι	Salmonidae	Αλμυρό	Εύκρατα, 0-25°C	15-27m	Ανάδρομο	Σκουλήκια, βδέλλες, μαλακόστρακα, έντομα, μαλάκια, ψάρια και αμφίβια	Ναι (Eloranta et al., 2010)		ON
<i>Salvelinus namaycush</i>	3	Ναι	Salmoninae	Γλυκό	Εύκρατα, 4-13°C	3-61m		Σφουγγάρια γλυκού νερού, καρκινοειδή, έντομα, ψάρια και μικρά θηλαστικά	Ναι (Vinson et al., 2020)		ON
<i>Sander lucioperca</i>	3	Ναι	Percidae	Γλυκό	Εύκρατα, 6-22°C	2-30m	Ποταμόδρομο	Σαρκοφάγο	Ναι (Nolan et al., 2018)	Ναι (Teresa, 2005)	ON

<i>Scatophagus argus</i>	1	Ναι	Scatophagi dae	Αλμυρό	Τροπικά, 20-28°C	0-5m	Αμφίδρομα	Σκουλίκια, καρκινοειδή, έντομα, φυτική ύλη	Ναι (Gupta, 2016)		ON
<i>Scleropages formosus</i>	3	Ναι	Osteogloss idae	Γλυκό	Τροπικά, 24-30°C			Έντομα, ψάρια, μικρά σπονδυλωτά	Ναι (Pfeifer 2020)	Ναι (Weai Alex, 2010)	ON
<i>Scomber japonicus</i>	1	Ναι	Scombrida e	Αλμυρό	Υποτροπικά , 10-27°C	0-300m	Ωκεανόδρομο	Καρκινοειδή, μικρά ψάρια, καλαμάρια	Ναι (Park et al., 2015)	Ναι (Park et al., 2015)	ON
<i>Scomber scombrus</i>	3	Ναι	Scombrida e	Αλμυρό	Εύκρατα	0- 1000m	Ωκεανόδρομο	Ζωοπλαγκτόν , μικρά ψάρια	Ναι (Allan et al., 2021)		ON
<i>Scophthalmus maximus</i>	2	Ναι	Scophthal midae	Αλμυρό	Εύκρατα	20-70m	Ωκεανόδρομο	Ψάρια, ασπόνδυλα	Ναι (Pfeifer, 2020)		ON
<i>Sebastes umbrosus</i>	3	Ναι	Sebastidae	Αλμυρό	Υποτροπικά	30- 119m		Ψάρια			ON
<i>Seriola aureo vittata</i>	0	Ναι	Carangida e	Αλμυρό	Υποτροπικά , 18-24°C	3-825m		Μικρά ψάρια, καρκινοειδή, καλαμάρια			on
<i>Seriola dumerili</i>	2	Ναι	Carangida e	Αλμυρό	Υποτροπικά	1-385m		Ψάρια, ασπόνδυλα	Ναι (Pfeifer, 2020)	Ναι (Lui 2001)	ON
<i>Seriola lalandi dorsalis</i>	2	Ναι	Carangida e	Αλμυρό	Υποτροπικά , 18-24°C	3-825m		Ψάρια, οστρακόδερμ α, καλαμάρια	Ναι (Chen et al., 2006)	Ναι (Chen et al., 2006)	ON
<i>Silurus meridionalis</i>	2	Ναι	Siluridae	Γλυκό	Υποτροπικά				Ναι (Zeng et al., 2014)		ON
<i>Simochromis diagramma</i>	0	Ναι	Cichlidae	Γλυκό	Τροπικά			Χορτοφάγο			unk now
<i>Siniperca chuatsi</i>	2	Ναι	Sinipercida e	Γλυκό	Εύκρατα, 4- 22°C			Σαρκοφάγο	Ναι (Shen et al., 2021)	Ναι (Shen et al., 2021)	ON

<i>Sinocyclocheilus anshuiensis</i>	0	Ναι	Cyprinidae	Γλυκό	Υποτροπικά				Όχι (Pfeifer, 2020)	Ναι	OFF
<i>Sinocyclocheilus grahami</i>	0	Ναι	Cyprinidae	Γλυκό	Εύκρατα				Όχι (Pfeifer, 2020)	Ναι	OFF
<i>Sinocyclocheilus rhinoceros</i>	0	Ναι	Cyprinidae	Γλυκό	Υποτροπικά				Όχι (Pfeifer, 2020)	Ναι	OFF
<i>Solea senegalensis</i>	0	Ναι	Soleidae	Αλμυρό	Τροπικά	12-100m		Μικρά ασπόνδυλα, καρκινοειδή,	Ναι (Padros et al., 2011)	Ναι (Padros et al., 2011)	Partial
<i>Solea solea</i>	0	Ναι	Soleidae	Αλμυρού	Υποτροπικά, 8-24°C	0-150m	Ωκεανόδρομο	Σκουλήκια, μαλάκια, καρκινοειδή	Ναι (Gurkan et al. 2021)		Partial
<i>Sparus aurata</i>	2	Ναι	Sparidae	Αλμυρό	Υποτροπικά	1-150m	Σε υφάλμυρο νερό	Κυρίως σαρκοφάγο	Ναι (Elbal et al., 2004a)	Όχι	ON
<i>Sphaeramia orbicularis</i>	2	Ναι	Apogonidae	Αλμυρό	Τροπικά			Καρκινοειδή	Ναι (Mees et al., 1999)		ON
<i>Stegastes partitus</i>	0	Ναι	Pomacentridae	Αλμυρό, κοραλλιογενή ύφαλο	Τροπικά	0-100m	Δεν μεταναστεύουν	Άλγη, πολυχαΐτες, υδροειδή, κωπηπόποδα και ασκίδια	Ναι (Pfeifer, 2020)		ON
<i>Synchiropus splendidus</i>	0	Ναι	Callionymidae	Αλμυρό, κοραλλιογενή ύφαλο	Τροπικά	1-18m					OFF
<i>Syngnathoides biaculeatus</i>	0	Ναι	Syngnathidae	Αλμυρό, κοραλλιογενή ύφαλο	Τροπικά	0-10m			Όχι (Kawaguchi et al., 2021)	Όχι (Small et al., 2016)	OFF
<i>Syngnathus acus</i>	0	Ναι	Syngnathidae	Αλμυρό	Υποτροπικά	0-110m	Δεν μεταναστεύουν	Μικρά καρκινοειδή	Όχι (Kawaguchi et al., 2021)	Όχι (Small et al., 2016)	OFF

<i>Syngnathus scovelli</i>	0	Ναι	Syngnathidae	Αλμυρό, κόλπος του μεξικού	Τροπικά	0-6m			Όχι (Kawaguchi et al., 2021)	Όχι (Small et al., 2016)	OFF
<i>Syngnathus typhle</i>	0	Ναι	Syngnathidae	Αλμυρό	Εύκρατα, 8-24°C	1-20m	Δεν μεταναστεύουν		Όχι (Kawaguchi et al., 2021)	Όχι (Small et al., 2016)	OFF
<i>Tachysurus fulvidraco</i>	2	Ναι	Bagridae	Γλυκό	Εύκρατα, 16-25°C		Δεν μεταναστεύουν	Έντομα, μύδια, σπάνια ψάρια	Ναι (Pfeifer, 2020)		ON
<i>Tachysurus vachellii</i>	3	Ναι	Bagridae	Γλυκό	Υποτροπικά				Ναι		ON
<i>Takifugu flavidus</i>	0	Ναι	Tetraodontidae	Αλμυρό	Εύκρατα				Όχι	Ναι	OFF
<i>Takifugu rubripes</i>	0	Ναι	Tetraodontidae	Αλμυρό	Εύκρατα		Δεν μεταναστεύει		Όχι (Pfeifer, 2020)	Ναι	ON
<i>Thalassophryne amazonica</i>	0	Ναι	Batrachoididae	Γλυκό	Τροπικά				Ναι (Vieira et al., 2023)		ON
<i>Thunnus albacares</i>	1	Ναι	Scombridae	Αλμυρό	Τροπικά, 15-31°C	1-1602m	Ωκεανόδρομο	Ψάρια, καρκινοειδή και καλαμάρια	Ναι (Varela et al., 2017)	Ναι (Miyashita et al., 1998)	ON
<i>Thunnus maccoyii</i>	2	Ναι	Scombridae	Αλμυρό	Εύκρατα, 5-20°C	50-2743m	Ωκεανόδρομο	Ψάρια, σκουλήκια, καρκινοειδή και άλλα μικρά υδρόβια ζώα	Ναι	Ναι	ON
<i>Toxotes jaculatrix</i>	2	Ναι	Toxotidae	Υφάλμυρο	Τροπικά, 25-30°C			Φυτική ύλη και έντομα, καρκινοειδή	Ναι (Simon et al., 2010)		ON

								και μικρά ψάρια			
<i>Trematomus bernacchii</i>	1	Ναι	Notothenii dae	Αλμυρό	Πολικά	0-700m		Πολυχαίτες, γαστερόποδα , ισόποδα, αμφίποδα, άλγη	Ναι (Akiyoshi et al., 2016)	Ναι (δεν αναπτύσσ ονται πολύ) (Carlig et al., 2022)	ON
<i>Trichomycter us rosablanca</i>	2	Ναι	Trichomyct eridae	Γλυκό	Τροπικά	Μέχρι 130m					ON
<i>Triplophysa dalaica</i>	0	Ναι	Nemacheil idae	Γλυκό	Εύκρατα						ON
<i>Triplophysa rosa</i>	0	Ναι	Nemacheil idae	Γλυκό	Υποτροπικά						ON
<i>Xiphias gladius</i>	2	Ναι	Xiphiidae	Αλμυρό	Εύκρατα, 5- 27°C	0- 2878m		Ψάρια, καρκινοειδή και καλαμάρια	Ναι (Chancollo n et al., 2006)		ON
<i>Xiphophorus couchianus</i>	0	Ναι	Poeciliidae	Γλυκό	Τροπικά, 27-30°C		Δεν μεταναστεύουν		Όχι (Pfeifer, 2020)	Ναι	OFF
<i>Xiphophorus hellerii</i>	0	Ναι	Poeciliidae	Γλυκό	Τροπικά, 22-28°C		Δεν μεταναστεύουν	Σκουλήκια, καρκινοειδή, έντομα και φυτική ύλη	Όχι (Gonçalves et al., 2024)	Ναι (Gonçalves et al., 2024)	OFF
<i>Xiphophorus maculatus</i>	0	Ναι	Poeciliidae	Γλυκό	Τροπικά, 18-25°C		Δεν μεταναστεύουν	Σκουλήκια, καρκινοειδή, έντομα και φυτική ύλη	Όχι (Castro et al., 2013)	Ναι (Gonçalves et al., 2024)	OFF
<i>Xyrauchen texanus</i>	0	Ναι	Catostomi dae	Γλυκό	Εύκρατα		Ποταμόδρομο		Όχι		OFF



Εικόνα Π1: Φυλογενετικό δέντρο για τις ομόλογες αλληλουχίες του ενζύμου της πεπτικής χιτρίνης.

6. Βιβλιογραφία

- Abecia, J. E., Luiz, O. J., Crook, D. A., Banks, S. C., Wedd, D. J., & King, A. J. (2021). Morphological changes and reproductive costs in brooders of two mouthbrooding freshwater fishes. *Ecology of Freshwater Fish*, 31(2), 369–378. <https://doi.org/10.1111/eff.12636>
- Able, K., Hagan, S., Kovitvongsa, K., Brown, S., & Lamonaca, J. (2007b). Piscivory by the mummichog (*Fundulus heteroclitus*): Evidence from the laboratory and salt marshes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 345(1), 26–37. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2007.01.003>
- Abrouk, M., Zhang, R., Murat, F., Li, A., Pont, C., Mao, L., & Salse, J. (2012). Grass MicroRNA Gene Paleohistory Unveils New Insights into Gene Dosage Balance in Subgenome Partitioning after Whole-Genome Duplication. *The Plant Cell*, 24(5), 1776–1792. <https://doi.org/10.1105/tpc.112.095752>
- Agbohessou, P. S., Mandiki, S. N., Biyong, S. R. M., Cornet, V., Nguyen, T. M., Lambert, J., Jauniaux, T., Lalèyè, P. A., & Kestemont, P. (2022). Intestinal histopathology and immune responses following *Escherichia coli* lipopolysaccharide challenge in Nile tilapia fed enriched black soldier fly larval (BSF) meal supplemented with chitinase. *Fish & Shellfish Immunology*, 128, 620–633. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.08.050>
- Allan, B. J. M., Ray, J. L., Tiedemann, M., Komyakova, V., Vikebø, F., Skaar, K. S., Stiasny, M. H., Folkvord, A., Nash, R. D. M., Stenevik, E. K., & Kjesbu, O. S. (2021). Quantitative molecular detection of larval Atlantic herring (*Clupea harengus*) in stomach contents of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) marks regions of predation pressure. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84545-7>
- Altschul, S. F., Gish, W., Miller, W., Myers, E. W., & Lipman, D. J. (1990). Basic local alignment search tool. *Journal of Molecular Biology*, 215(3), 403–410. [https://doi.org/10.1016/s0022-2836\(05\)80360-2](https://doi.org/10.1016/s0022-2836(05)80360-2)
- Amin, M. N., Carter, C. G., Barnes, R. K., & Adams, L. R. (2014). Protein and energy nutrition of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) at optimal and elevated temperatures. *Aquaculture Nutrition*, 22(3), 527–540. <https://doi.org/10.1111/anu.12274>
- Anand S., Gedam A., Sonawane S. (2012). Structures associated with feeding in *Mastacembelus armatus* (Lacepede, 1800) from Kaigaon Toka (M.S.). *Journal of Experimental Sciences* 2012, 3(8): 17-20.
- Anderson, K. C., Knuckey, R., Cánepa, M., & Elizur, A. (2018). A transcriptomic investigation of appetite-regulation and digestive processes in giant grouper *Epinephelus lanceolatus* during early larval development. *Journal of Fish Biology*, 93(4), 694–710. <https://doi.org/10.1111/jfb.13798>

- Armenteros, J. J. A., Salvatore, M., Emanuelsson, O., Winther, O., Von Heijne, G., Elofsson, A., & Nielsen, H. (2019). Detecting sequence signals in targeting peptides using deep learning. *Life Science Alliance*, 2(5), e201900429. <https://doi.org/10.26508/lsa.201900429>
- Astakhov, D. A. (2020). Anomalous Behavior of Free-Swimming *Echeneis naucrates* (Echeneidae) in the Aquaculture Areas of Nha Trang Bay (South China Sea, Southern Central Vietnam). *Journal of Ichthyology*, 60(3), 485–490. <https://doi.org/10.1134/s0032945220030029>
- Atukorala, A. D. S., & Franz-Odenaal, T. A. (2014). Spatial and temporal events in tooth development of *Astyanax mexicanus*. *Mechanisms of Development*, 134, 42–54. <https://doi.org/10.1016/j.mod.2014.09.002>
- Bachiller, E., Cotano, U., Boyra, G., & Irigoien, X. (2012). Spatial distribution of the stomach weights of juvenile anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) in the Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science*, 70(2), 362–378. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fss176>
- Baer, J., Spiessl, C., & Brinker, A. (2022). Size matters? Species- and size-specific fish predation on recently established invasive quagga mussels *Dreissena rostriformis bugensis* Andrusov 1897 in a large, deep oligotrophic lake. *Journal of Fish Biology*, 100(5), 1272–1282. <https://doi.org/10.1111/jfb.15043>
- Bakke, A. M., Glover, C., & Krogh, A. (2010b). Feeding, digestion and absorption of nutrients. In *Fish physiology* (pp. 57–110). [https://doi.org/10.1016/s1546-5098\(10\)03002-5](https://doi.org/10.1016/s1546-5098(10)03002-5)
- Bao, M., Mota, M., Nachón, D. J., Antunes, C., Cobo, F., Garci, M. E., Pierce, G. J., & Pascual, S. (2015). Anisakis infection in allis shad, *Alosa alosa* (Linnaeus, 1758), and twaite shad, *Alosa fallax* (Lacépède, 1803), from Western Iberian Peninsula Rivers: zoonotic and ecological implications. *Parasitology Research*, 114(6), 2143–2154. <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4403-5>
- Birchler, J. A., & Veitia, R. A. (2012). Gene balance hypothesis: Connecting issues of dosage sensitivity across biological disciplines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(37), 14746–14753. <https://doi.org/10.1073/pnas.1207726109>
- Birchler, J. A., & Yang, H. (2022). The multiple fates of gene duplications: Deletion, hypofunctionalization, subfunctionalization, neofunctionalization, dosage balance constraints, and neutral variation. *The Plant Cell*, 34(7), 2466–2474. <https://doi.org/10.1093/plcell/koac076>
- Birchler, J. A., Riddle, N. C., Auger, D. L., & Veitia, R. A. (2005). Dosage balance in gene regulation: biological implications. *Trends in Genetics*, 21(4), 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2005.02.010>

- Blanc, G., & Wolfe, K. H. (2004). Functional Divergence of Duplicated Genes Formed by Polyploidy during Arabidopsis Evolution[W]. *The Plant Cell*, 16(7), 1679–1691. <https://doi.org/10.1105/tpc.021410>
- Brandenburg, W. H., & Gido, K. B. (1999). Predation by Nonnative Fish on Native Fishes in the San Juan River, New Mexico and Utah. *The Southwestern Naturalist*, 44(3), 392–394. <http://www.jstor.org/stable/30055239>
- C, B. K., N, Y. A., C, D. K., G, A. N., & F, K. K. (2019). Feeding patterns of the Mormyrid fish *Brienomyrus brachyistius* (Gill, 1862) in Kogon and Tinguilinta rivers (Guinea Republic). *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 23(4), 239–248. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2019.54832>
- Cai-Xia Liu, Zhi Luo, Xiao-Ying Tan, and Shi-Yuan Gong (2013). Ontogenetic Development of the Digestive System in Agastric Chinese Sucker, *Myxocyprinus asiaticus*, Larvae. *Journal of the World Aquaculture Society*.
- Carlig, E., Di Blasi, D., Pisano, E., Vacchi, M., Santovito, G., & Ghigliotti, L. (2022). Ecomorphological Differentiation of Feeding Structures within the Antarctic Fish Species Flock Trematominae (Notothenioidei) from Terra Nova Bay (Ross Sea). *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(12), 1876. <https://doi.org/10.3390/jmse10121876>
- Caruso, G., Denaro, M. G., & Genovese, L. (2008). Temporal changes in digestive enzyme activities in the gastrointestinal tract of European eel (*Anguilla anguilla*) (Linneo 1758) following feeding. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 41(4), 215–228. <https://doi.org/10.1080/10236240802492931>
- Castro, L. F. C., Gonçalves, O., Mazan, S., Tay, B., Venkatesh, B., & Wilson, J. M. (2014b). Recurrent gene loss correlates with the evolution of stomach phenotypes in gnathostome history. *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences*, 281(1775), 20132669. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2669>
- Castro-Ruiz, D., Andree, K., Blondeau-Bidet, E., Fernández-Méndez, C., García-Dávila, C., Gisbert, E., & Darias, M. J. (2021). Isolation, identification, and gene expression analysis of the main digestive enzymes during ontogeny of the Neotropical catfish *Pseudoplatystoma punctifer* (Castelnau, 1855). *Aquaculture*, 543, 737031. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737031>
- Chancollon, O., Pusineri, C., & Ridoux, V. (2006). Food and feeding ecology of Northeast Atlantic swordfish (*Xiphias gladius*) off the Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science*, 63(6), 1075–1085. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.03.013>
- Chen, B. N., Qin, J. G., Kumar, M. S., Hutchinson, W., & Clarke, S. (2006). Ontogenetic development of the digestive system in yellowtail kingfish *Seriola lalandi* larvae. *Aquaculture*, 256(1–4), 489–501. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.01.041>

- Cooper, G. M., Hausman, R. E. (2015). *The Cell: a Molecular Approach*. Sinauer
- Corush, J. B. (2019). Evolutionary patterns of diadromy in fishes: more than a transitional state between marine and freshwater. *BMC Evolutionary Biology*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12862-019-1492-2>
- Crooks, G. E., Hon, G., Chandonia, J., & Brenner, S. E. (2004). WebLogo: A sequence Logo Generator: Figure 1. *Genome Research*, 14(6), 1188–1190. <https://doi.org/10.1101/gr.849004>
- Cunningham, F., Allen, J. E., Allen, J., Alvarez-Jarreta, J., Amode, M. R., Armean, I. M., Austine-Orimoloye, O., Azov, A. G., Barnes, I., Bennett, R., Berry, A., Bhai, J., Bignell, A., Billis, K., Boddu, S., Brooks, L., Charkhchi, M., Cummins, C., Da Rin Fioretto, L., . . . Flicek, P. (2021). Ensembl 2022. *Nucleic Acids Research*, 50(D1), D988–D995. <https://doi.org/10.1093/nar/gkab1049>
- Cuvier, G. (1805). Leçons d'anatomie comparée: La première partie des organes de la digestion. In Oxford University (Vol. 3). Paris: Baudouin.
- De Almeida, L., Lundstedt, L., & Moraes, G. (2006). Digestive enzyme responses of -tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed on different levels of protein and lipid. *Aquaculture Nutrition*, 12(6), 443–450. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2006.00446.x>
- Debiais-Thibaud, M., Borday-Birraux, V., Germon, I., Bourrat, F., Metcalfe, C. J., Casane, D., & Laurenti, P. (2007). Development of oral and pharyngeal teeth in the medaka (*Oryzias latipes*): comparison of morphology and expression of eve1 gene. *Journal of Experimental Zoology Part B Molecular and Developmental Evolution*, 308B(6), 693–708. <https://doi.org/10.1002/jez.b.21183>
- Deng, J., Zhang, X., Sun, Y., Zhang, L., & Mi, H. (2021). Optimal dietary lipid requirement for juvenile Asian red-tailed catfish (*Hemibagrus wyckioides*). *Aquaculture Reports*, 20, 100666. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100666>
- Denny, C. M., & Schiel, D. R. (2001). Feeding ecology of the banded wrasse *Notolabrus fucicola* (Labridae) in southern New Zealand: Prey items, seasonal differences, and ontogenetic variation. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 35(5), 925–933. <https://doi.org/10.1080/00288330.2001.9517054>
- Dunz, A. R., & Schliewen, U. K. (2013). Molecular phylogeny and revised classification of the haplotilapiine cichlid fishes formerly referred to as “Tilapia.” *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 68(1), 64–80. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2013.03.015>

Easton, R. S., Orth, D. J., & Voshell, J. R. (1996). Spatial and annual variation in the diets of juvenile smallmouth bass, *Micropterus dolomieu*. *Environmental Biology of Fishes*, 46(4), 383–392. <https://doi.org/10.1007/bf00005018>

Eiting, T. P., & Smith, G. R. (2007). Miocene salmon (*Oncorhynchus*) from Western North America: Gill Raker evolution correlated with plankton productivity in the Eastern Pacific. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 249(3–4), 412–424. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.02.011>

Elbal, M., Hernández, M. G., Lozano, M., & Agulleiro, B. (2004a). Development of the digestive tract of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). Light and electron microscopic studies. *Aquaculture*, 234(1–4), 215–238. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.11.028>

Ellis, N. A., Donde, N. N., & Miller, C. T. (2016). Early development and replacement of the stickleback dentition. *Journal of Morphology*, 277(8), 1072–1083. <https://doi.org/10.1002/jmor.20557>

Eloranta, A. P., Kahilainen, K. K., & Jones, R. I. (2010). Seasonal and ontogenetic shifts in the diet of Arctic charr *Salvelinus alpinus* in a subarctic lake. *Journal of Fish Biology*, 77(1), 80–97. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02656.x>

Esfandiyari, K., Pfeifer, L. J., Farahani, M. A., Kolbadinezhad, S. M., Castro, L. F., & Wilson, J. M. (2022). The gastric proton pump in gobiid and mudskipper fishes. Evidence of stomach loss? *Comparative Biochemistry and Physiology Part a Molecular & Integrative Physiology*, 274, 111300. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2022.111300>

FAO - *Sparus aurata* Linnaeus. (n.d.-b). https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/l1129m/file/en/en_giltheadseabr.htm

FAO- *Dicentrarchus labrax*. (n.d.-b). https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/en/en_europeanseabass.htm

Fish from Greece | Ελληνική υδατοκαλλιέργεια. (n.d.). FishfromGreece. <https://fishfromgreece.com/etisia-ekthesi/>

Food habits of four benthic fish species (*Etheostoma spectabile*, *Percina caprodes*, *Noturus exilis*, *Cottus carolinae*) from northwest Arkansas streams on JSTOR. (n.d.). [www.jstor.org. https://www.jstor.org/stable/30054446](https://www.jstor.org/stable/30054446)

Freeling, M., & Thomas, B. C. (2006). Gene-balanced duplications, like tetraploidy, provide predictable drive to increase morphological complexity. *Genome Research*, 16(7), 805–814. <https://doi.org/10.1101/gr.3681406>

Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2024. FishBase

- Gao, X., Hong, L., Liu, Z., Guo, Z., Wang, Y., & Lei, J. (2015). An integrative study of larval organogenesis of American shad *Alosa sapidissima* in histological aspects. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 34(1), 136–152. <https://doi.org/10.1007/s00343-016-5008-2>
- Gerringer, M. E., Linley, T. D., Jamieson, A. J., Goetze, E., & Drazen, J. C. (2017). *Pseudoliparis swirei* sp. nov.: A newly-discovered hadal snailfish (Scorpaeniformes: Liparidae) from the Mariana Trench. *Zootaxa*, 4358(1). <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4358.1.7>
- Glasauer, S.M.K., Neuhauss, S.C.F. Whole-genome duplication in teleost fishes and its evolutionary consequences. *Mol Genet Genomics* **289**, 1045–1060 (2014). <https://doi.org/10.1007/s00438-014-0889-2>
- Gomes, A. S., Kamisaka, Y., Harboe, T., Power, D. M., & Rønnestad, I. (2014). Functional modifications associated with gastrointestinal tract organogenesis during metamorphosis in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *BMC Developmental Biology*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/1471-213x-14-11>
- Gonçalves, M., Lopes, C., & Silva, P. (2024). Comparative histological description of the intestine in platyfish (*Xiphophorus maculatus*) and swordtail fish (*Xiphophorus helleri*). *Tissue and Cell*, 87, 102306. <https://doi.org/10.1016/j.tice.2024.102306>
- Gout, J., & Lynch, M. (2015). Maintenance and loss of duplicated genes by dosage subfunctionalization. *Molecular Biology and Evolution*, 32(8), 2141–2148. <https://doi.org/10.1093/molbev/msv095>
- Gupta, S. (2016). An Overview on Morphology, Biology, and Culture of Spotted Scat *Scatophagus argus* (Linnaeus 1766). *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 24(2), 203–212. <https://doi.org/10.1080/23308249.2015.1119800>
- Gurkan, S., Taskavak, E., Engin, S., & Taylan, B. (2021). A temporal approach for morphological indices of the common sole (*Solea solea* Linnaeus 1758) from the. . . *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/358983238_A_temporal_approach_for_morphological_indices_of_the_common_sole_Solea_solea_Linnaeus_1758_from_the_coast_of_the_Aegean_Sea_Turkey
- He, C., Li, X., Jiang, G., Zhang, L., Sun, M., Ge, Y., Chen, W., & Liu, W. (2022). Feed types affect the growth, nutrient utilization, digestive capabilities, and endocrine functions of *Megalobrama amblycephala*: a comparative study between pelleted and extruded feed. *Fish Physiology and Biochemistry*, 48(4), 1025–1038. <https://doi.org/10.1007/s10695-022-01085-1>
- Helfman, G. S. (2013). Fishes, Biodiversity of. In *Elsevier eBooks* (pp. 456–476). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384719-5.00054-x>

Herbing, Miyake, Hall, Boutilier (1996). Ontogeny of Feeding and Respiration in Larval Atlantic Cod *Gadus morhua* (Teleostei, Gadiformes) : 1. Morphology. *Journal of morphology* 227:15-35.

Holen, M. M., Tuveng, T. R., Kent, M. P., & Vaaje-Kolstad, G. (2023d). The gastric mucosa of Atlantic salmon (*Salmo salar*) is abundant in highly active chitinases. *FEBS Open Bio*, 14(1), 23–36. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13694>

Horalskyi, L. P., Demus, N. V., Sokulskyi, I. M., Gutyj, B. V., Kolesnik, N. L., Pavliuchenko, O. V., & Horalska, I. Y. (2023). Species specifics of morphology of the liver of the fishes of the Cyprinidae family. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 14(2), 234–241. <https://doi.org/10.15421/022335>

Hu, C., Ma, Z., Zhu, J., Fan, Y., Tuo, B., Li, T., & Liu, X. (2021). Physiological and pathophysiological roles of acidic mammalian chitinase (CHIA) in multiple organs. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 138, 111465. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.111465>

Hu, F., Zhong, H., Yu, P., Fan, J., Wu, C., Wang, S., Gong, D., Sun, Y., Gao, X., Wen, M., Tang, C., Tao, M., & Liu, S. (2023). Comparative analysis of growth performance, pharyngeal teeth and intestinal traits in F1 hybrids of female *Megalobrama amblycephala* × male *Culter mongolicus*. *Aquaculture*, 562, 738807. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738807>

Ikeda, M., Kakizaki, H., & Matsumiya, M. (2017d). Biochemistry of fish stomach chitinase. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 1672–1681. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.118>

Imai, K., & Nakai, K. (2020). Tools for the recognition of sorting signals and the prediction of subcellular localization of proteins from their amino acid sequences. *Frontiers in Genetics*, 11. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.607812>

Ingman Marine | “Understanding the Pelagic Zone” blog article. (n.d.). <https://www.ingmanmarine.com/article/pelagic-zone-101>

Ito, M., Hano, T., Kono, K., & Ohkubo, N. (2022). Desorption of polycyclic aromatic hydrocarbons from polyethylene microplastics in two morphologically different digestive tracts of marine teleosts: Gastric red seabream (*Pagrus major*) and agastric mummichog (*Fundulus heteroclitus*). *Environmental Pollution*, 308, 119589. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119589>

Jawad, L. A., Agha, G. F., Abdullah, S. M. A., Aguilar, G., & Qasim, A. M. (2022). Morphology and morphometry of pharyngeal bone and teeth in cyprinid species from the Kurdistan Region, Iraq. *The Anatomical Record*, 305(11), 3356–3366. <https://doi.org/10.1002/ar.24906>

- Jobling, M. (1981). Dietary digestibility and the influence of food components on gastric evacuation in plaice, *Pleuronectes platessa* L. *Journal of Fish Biology*, 19(1), 29–36. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1981.tb05808.x>
- Jollie, M. (1975). Development of the head skeleton and pectoral girdle in *Esox*. *Journal of Morphology*, 147(1), 61–88. <https://doi.org/10.1002/jmor.1051470106>
- Joseph J. Moyle, Peter B. & Cech. (n.d.). *Fishes: An Introduction to Ichthyology*.
- Jun-Sheng, L., Jian-Lin, L., & Ting-Ting, W. (2006). Ontogeny of protease, amylase and lipase in the alimentary tract of hybrid Juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 32(4), 295–303. <https://doi.org/10.1007/s10695-006-9106-5>
- Kakizaki, H., Ikeda, M., Fukushima, H., & Matsumiya, M. (2015). Distribution of Chitinolytic Enzymes in the Organs and cDNA Cloning of Chitinase Isozymes from the Stomach of Two Species of Fish, Chub Mackerel (*Scomber japonicus*) and Silver Croaker (*Pennahia argentata*). *Open Journal of Marine Science*, 05(04), 398–411. <https://doi.org/10.4236/ojms.2015.54032>
- Kalhor, H., Tong, S., Wang, L., Hua, Y., Volatiana, J. A., & Shao, Q. (2018). Morphological study of the gastrointestinal tract of *Larimichthys crocea* (Acanthopterygii: Perciformes). *Zoologia (Curitiba)*, 35, 1–9. <https://doi.org/10.3897/zoologia.35.e25171>
- Kamiński, R., Sikorska, J., & Wolnicki, J. (2021). Extracorporeal acidic predigestion of commercial dry diets can reduce the incidence of body deformities in the stomachless fish crucian carp (*Carassius carassius* L.). *Fisheries & Aquatic Life*, 29(2), 62–68. <https://doi.org/10.2478/aopf-2021-0008>
- Kasahara, M. (2007). The 2R hypothesis: An update. *Current Opinion in Immunology*, 19(5), 547–552. <https://doi.org/10.1016/j.coi.2007.07.009>
- Katoh, K., Rozewicki, J., & Yamada, K. D. (2017b). MAFFT online service: multiple sequence alignment, interactive sequence choice and visualization. *Briefings in Bioinformatics*, 20(4), 1160–1166. <https://doi.org/10.1093/bib/bbx108>
- Kavanagh D. K. (2000). Larval brooding in the marine damselfish *acanthochromis polyacanthus* (pomacentridae) is correlated with highly divergent morphology, ontogeny and life-history traits. *Bulletin of marine science*, 66(2): 321–337.
- Kawaguchi, M., Okazawa, Y., Imafuku, A., Nakano, Y., Shimizu, R., Ishizuka, R., Jiang, T., Nagasawa, T., Hiroi, J., & Yasumasu, S. (2021). Pactacin is a novel digestive enzyme in teleosts. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86565-9>
- Kawashima, S., Ikehata, H., Tada, C., Ogino, T., Kakizaki, H., Ikeda, M., Fukushima, H., & Matsumiya, M. (2016). Stomach Chitinase from Japanese Sardine *Sardinops*

melanostictus: Purification, Characterization, and Molecular Cloning of Chitinase Isozymes with a Long Linker. *Marine Drugs*, 14(1), 22. <https://doi.org/10.3390/md14010022>

Kohlmeier, M. (2015). Absorption, transport, and retention. In *Elsevier eBooks* (pp. 37–93). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-387784-0.00003-1>

Kohno, H., Ordonio-Aguilar, R., Ohno, A., & Taki, Y. (1996). Morphological aspects of feeding and improvement in feeding ability in early stage larvae of the milkfish, *Chanos chanos*. *Ichthyological Research*, 43(2), 133–140. <https://doi.org/10.1007/bf02348236>

Kohno, H., R. Ordonio-Aguilar, A. Ohno and Y. Taki. 1996. Osteological development of the feeding apparatus in early stage larvae of the seabass, *Lateolabrax japonicus* (Temminck & Schlegel), *Ichthyol. Res.* 43: 1-9.

Kumar, A., & Zhang, K. Y. J. (2019c). Human chitinases: Structure, function, and inhibitor discovery. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 221–251. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7318-3_11

Kuzmin, E., VanderSluis, B., Ba, A. N. N., Wang, W., Koch, E. N., Usaj, M., Khmelinskii, A., Usaj, M. M., Van Leeuwen, J., Kraus, O., Tresenrider, A., Prysizlak, M., Hu, M., Varriano, B., Costanzo, M., Knop, M., Moses, A., Myers, C. L., Andrews, B. J., & Boone, C. (2020). Exploring whole-genome duplicate gene retention with complex genetic interaction analysis. *Science*, 368(6498). <https://doi.org/10.1126/science.aaz5667>

Lan, X., & Pritchard, J. K. (2016). Coregulation of tandem duplicate genes slows evolution of subfunctionalization in mammals. *Science*, 352(6288), 1009–1013. <https://doi.org/10.1126/science.aad8411>

Larsson, A. (2014). AliView: a fast and lightweight alignment viewer and editor for large datasets. *Bioinformatics*, 30(22), 3276–3278. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu531>

Laverty, G., & Skadhauge, E. (2012). Adaptation of teleosts to very high salinity. *Comparative Biochemistry and Physiology Part a Molecular & Integrative Physiology*, 163(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2012.05.203>

Li, H., & Greene, L. H. (2010b). Sequence and structural analysis of the chitinase insertion domain reveals two conserved motifs involved in Chitin-Binding. *PLoS ONE*, 5(1), e8654. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008654>

Liem, K. F. (1967). Functional Morphology of the Integumentary, Respiratory, and Digestive Systems of the Synbranchoid Fish *Monopterus albus*. *Copeia*, 1967(2), 375. <https://doi.org/10.2307/1442128>

Lindsay, G. J. H. (1984). Distribution and function of digestive tract chitinolytic enzymes in fish. *Journal of Fish Biology*, 24(5), 529–536. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1984.tb04823.x>

Loginov, V. V., Klevakin, A. A., Moreva, O. A., Tarbeyev, M. L., Bayanov, N. G., & Darsia, N. A. (2014). The morphological characteristics and feeding of Nine-spined stickleback (*Pungitius pungitius* Linnaeus, 1758) in the basin of the Cheboksary reservoir. *Russian Journal of Biological Invasions*, 5(3), 186–193. <https://doi.org/10.1134/s2075111714030084>

Luizi, F. S., Gara, B., Shields, R. J., & Bromage, N. R. (1999). Further description of the development of the digestive organs in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) larvae, with notes on differential absorption of copepod and *Artemia* prey. *Aquaculture*, 176(1–2), 101–116. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(99\)00054-x](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(99)00054-x)

Lynch, M., & Conery, J. S. (2000). The evolutionary fate and consequences of duplicate genes. *Science*, 290(5494), 1151–1155. <https://doi.org/10.1126/science.290.5494.1151>

Macpherson, Holmes, Muir, Noakes (2010). Current Zoology Assessing Feeding competition between lake whitefish *Coregonus clupeaformis* and round whitefish *Prosopium cylindraceum*. *Current Zoology* 56 (1): 109–117.

Magadum, s., banerjee, u., murugan, P. *et al.* Gene duplication as a major force in evolution. *J Genet* 92, 155–161 (2013). <https://doi.org/10.1007/s12041-013-0212-8>

Magid, A. M. A. (1975). The epithelium of the gastro-intestinal tract of *Polypterus senegalus* (Pisces:Brachiopterygii). *Journal of Morphology*, 146(4), 447–456. <https://doi.org/10.1002/jmor.1051460403>

Mardiansyah, M., Utomo, A., & Putri, L. (2022). Microplastics in Grouper Fish (*Genera Epinephelus*) Gastrointestinal Tract from Pramuka Island, Seribu Islands, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, 23(3), 194–205. <https://doi.org/10.12911/22998993/145466>

Mees, J., Mwamsojo, G., & Wakwabi, E. (1999). *Aspects of the biology and feeding ecology of the orbiculate cardinal fish Sphaeramia orbicularis (Cuvier, 1828) (Teleostei: Apogonidae) in a Kenyan mangrove forest.* <https://www.semanticscholar.org/paper/Aspects-of-the-biology-and-feeding-ecology-of-the-a-Mees-Mwamsojo/40e665bbba2deb005d678494c3af78e77012e8a2>

Mendes-Júnior, R. N. G., Sá-Oliveira, J. C., Vasconcelos, H. C. G., Costa-Campos, C. E., & Araújo, A. S. (2020). Feeding ecology of electric eel *Electrophorus varii* (Gymnotiformes: Gymnotidae) in the Curiaú River Basin, Eastern Amazon. *Neotropical Ichthyology*, 18(3). <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2019-0132>

- Mendoza, S., García-Moll, M., Fernandez, V., Barrios, M., Mena, R., Miriuka, S., & Cledon, M. (2023). Microplastics in stomach contents of juvenile Patagonian blennies (*Eleginops maclovinus*). *The Science of the Total Environment*, 894, 164684. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164684>
- Miyashita, S., Kato, K., Sawada, Y., Murata, O., Ishitani, Y., Shimizu, K., Yamamoto, S., & Kumai, H. (1998). Development of Digestive System and Digestive Enzyme Activities of Larval and Juvenile Bluefin Tuna, *Thunnus thynnus*, Reared in the Laboratory. *Aquaculture Science*, 46(1), 111–120. <https://doi.org/10.11233/aquaculturesci1953.46.111>
- Moraes, G., & De Almeida, L. C. (2020). Nutrition and functional aspects of digestion in fish. In *Elsevier eBooks* (pp. 251–271). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815872-2.00011-7>
- Moreno-Hagelsieb, G., & Latimer, K. (2007b). Choosing BLAST options for better detection of orthologs as reciprocal best hits. *Bioinformatics*, 24(3), 319–324. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btm585>
- Morrison, T. W., Lynch, W. E., & Dabrowski, K. (1997). Predation on zebra mussels by Freshwater Drum and Yellow Perch in Western Lake Erie. *Journal of Great Lakes Research*, 23(2), 177–189. [https://doi.org/10.1016/s0380-1330\(97\)70895-5](https://doi.org/10.1016/s0380-1330(97)70895-5)
- Morshedi, V., Hamed, S., Pourkhazaei, F., Mozanzadeh, M. T., Tamadoni, R., Ebadi, M., Esmaili, A., Azodi, M., & Gisbert, E. (2021). Larval rearing and ontogeny of digestive enzyme activities in yellowfin seabream (*Acanthopagrus latus*, Houttuyn 1782). *Comparative Biochemistry and Physiology Part a Molecular & Integrative Physiology*, 261, 111044. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2021.111044>
- Moukhametov, Orlov, Leaman (2009). Diet of Pacific halibut (*Hippoglossus stenolepis*) in the northwestern Pacific Ocean. International Pacific Halibut Commission.
- Murray, C. A., Markham, O. I., Hutchins, S. W., & DiMaggio, M. A. (2023). Characterizing the gastrointestinal development and digestive enzyme ontogeny of larval Amphiprion ocellaris. *Aquaculture*, 563, 738897. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738897>
- Nagarajan, D., & Nanajkar, N. (2020b). The TIM barrel fold. *WikiJournal of Science*, 3(1), 4. <https://doi.org/10.15347/wjs/2020.004>
- Nolan, E. T., & Britton, J. R. (2018). Diet of invasive pikeperch *Sander lucioperca*: developing non-destructive tissue sampling for stable isotope analysis with comparisons to stomach contents analysis. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 419, 49. <https://doi.org/10.1051/kmae/2018037>

- Ohno, S. (1970). Evolution by Gene Duplication. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-86659-3>
- Ojaveer, H., Jaanus, A., MacKenzie, B. R., Martin, G., Olenin, S., Radziejewska, T., Telesh, I., Zettler, M. L., & Zaiko, A. (2010). Status of biodiversity in the Baltic Sea. *PLoS ONE*, 5(9), e12467. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012467>
- Olland, A. M., Strand, J., Presman, E., Czerwinski, R., Joseph-McCarthy, D., Krykbaev, R., Schlingmann, G., Chopra, R., Lin, L., Fleming, M., Kriz, R., Stahl, M., Somers, W., Fitz, L., & Mosyak, L. (2009b). Triad of polar residues implicated in pH specificity of acidic mammalian chitinase. *Protein Science*, 18(3), 569–578. <https://doi.org/10.1002/pro.63>
- Orlov, A. M., Rybakov, M. O., Vedishcheva, E. V., Volkov, A. A., & Orlova, S. Y. (2021). Walleye Pollock *Gadus chalcogrammus*, a Species with Continuous Range from the Norwegian Sea to Korea, Japan, and California: New Records from the Siberian Arctic. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(10), 1141. <https://doi.org/10.3390/jmse9101141>
- Oyano FJ, Dí'az M, Alarco'n FJ, Sarasquete MC (1996) Characterization of digestive enzyme activity during larval development of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Fish Physiol Biochem* 15:121–130
- Pabic, P. L., Stellwag, E. J., & Scemama, J. (2009). Embryonic Development and Skeletogenesis of the Pharyngeal Jaw Apparatus in the Cichlid Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *The Anatomical Record*, 292(11), 1780–1800. <https://doi.org/10.1002/ar.20960>
- Padrós, F., Villalta, M., Gisbert, E., & Estévez, A. (2011). Morphological and histological study of larval development of the Senegal sole *Solea senegalensis*: an integrative study. *Journal of Fish Biology*, 79(1), 3–32. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.02942.x>
- Panchy, N., Lehti-Shiu, M., & Shiu, S. (2016). Evolution of gene duplication in plants. *PLANT PHYSIOLOGY*, 171(4), 2294–2316. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00523>
- Paoletti, M. G., Norberto, L., Damini, R., & Musumeci, S. (2007b). Human gastric juice contains chitinase that can degrade chitin. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 51(3), 244–251. <https://doi.org/10.1159/000104144>
- Park, S., Lee, S., & Gwak, W. (2015). Ontogenetic Development of the Digestive System in Chub Mackerel *Scomber japonicus* Larvae and Juveniles. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(3), 301–309. <https://doi.org/10.5657/fas.2015.0301>

Patricia A. Hale (1995). The morphology and histology of the digestive systems of two freshwater teleosts, *Poecilia reticulata* and *Gasterosteus aculeatus*. *J. Zool* 146, 132-149.

Paul J. Linser, William E. S. Carr, Holly S. Cate, Charles D. Derby, And James C. Netherton III (1998). Functional Significance of the Co-Localization of Taste Buds and Teeth in the Pharyngeal Jaws of the Largemouth Bass, *Micropterus salmoides*. *Biol. Bull.* 195: 273-281.

Pavlov, D. A. (2023). Feeding-Related Skull Structures of Climbing Perch *Anabas testudineus* (Anabantidae). *Journal of Ichthyology*, 63(4), 788–796. <https://doi.org/10.1134/s0032945223040148>

Pérez-Fernández, J. (2013). Characterization of Y and dopamine receptors in lampreys by using in situ hybridization: An evolutionary approach.

Peterson, K. J., Beavan, A., Chabot, P. J., McPeck, M. A., Pisani, D., Fromm, B., & Simakov, O. (2021). MicroRNAs as Indicators into the Causes and Consequences of Whole-Genome Duplication Events. *Molecular Biology and Evolution*, 39(1). <https://doi.org/10.1093/molbev/msab344>

Pfeifer, L. (n.d.-b). *A genomic investigation of the stomach phenotype in teleosts*. Scholars Commons @ Laurier. <https://scholars.wlu.ca/etd/2237/>

Population Structure, Growth and Reproduction of the Arkansas Darter, *Etheostoma cragini* (Percidae) on JSTOR. (n.d.). [www.jstor.org. http://www.jstor.org/stable/3670561?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents](http://www.jstor.org/stable/3670561?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents)

Pospisilova, A., Stundl, J., Brejcha, J., Metscher, B. D., Psenicka, M., Cerny, R., & Soukup, V. (2021). The remarkable dynamics in the establishment, rearrangement, and loss of dentition during the ontogeny of the sterlet sturgeon. *Developmental Dynamics*, 251(5), 826–845. <https://doi.org/10.1002/dvdy.444>

Postlethwait, J. H., Yan, Y., Desvignes, T., Allard, C., Titus, T., François, N. R. L., & Detrich, H. W. (2016). Embryogenesis and early skeletogenesis in the antarctic bullhead notothen, *Notothenia coriiceps*. *Developmental Dynamics*, 245(11), 1066–1080. <https://doi.org/10.1002/dvdy.24437>

Pruitt, K. D., Tatusova, T., & Maglott, D. R. (2007b). NCBI reference sequences (RefSeq): a curated non-redundant sequence database of genomes, transcripts and proteins. *Nucleic Acids Research*, 35(Database), D61–D65. <https://doi.org/10.1093/nar/gkl842>

Qian, W., Liao, B., Chang, A. Y., & Zhang, J. (2010). Maintenance of duplicate genes and their functional redundancy by reduced expression. *Trends in Genetics*, 26(10), 425–430. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2010.07.002>

Qu, M., Ding, S., Xu, X., Shen, M., You, Y., & Su, Y. (2012). Ontogenetic development of the digestive system and growth in coral trout (*Plectropomus leopardus*). *Aquaculture*, 334–337, 132–141. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.12.046>

Qu, M., Liu, Y., Zhang, Y., Wan, S., Ravi, V., Qin, G., Jiang, H., Wang, X., Zhang, H., Zhang, B., Gao, Z., Huysseune, A., Zhang, Z., Zhang, H., Chen, Z., Yu, H., Wu, Y., Tang, L., Li, C., . . . Lin, Q. (2021). Seadragon genome analysis provides insights into its phenotype and sex determination locus. *Science Advances*, 7(34). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abg5196>

R. F. Sis, P. J. Iw, D. M. Jones, D. H. Lewis and W. E. Haensly (1979). The microscopic anatomy of the oesophagus, stomach and intestine of the channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *J. Fish Biol.* 14, 179-186.

Research portal. (n.d.). <https://research.usc.edu.au/esploro/outputs/journalArticle/Feed-digestion-rates-of-tiger-grouper/99450517602621/filesAndLinks?index=0>

Research portal. (n.d.-b). <https://research.usc.edu.au/esploro/outputs/journalArticle/Feed-digestion-rates-of-tiger-grouper/99450517602621>

Rodgveller, C., Löhr, C. V., & Dimond, J. A. (2021). The Effects of Capture and Time Out of Water on Sablefish (*Anoplopoma fimbria*) Reflexes, Mortality, and Health. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(6), 675. <https://doi.org/10.3390/jmse9060675>

Romero, J., & Navarrete, P. (2006). 16S rDNA-Based Analysis of Dominant Bacterial Populations Associated with Early Life Stages of Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Microbial Ecology*, 51(4), 422–430. <https://doi.org/10.1007/s00248-006-9037-9>

Rosa, L., & Alice, G. (2018). *TROPHIC ECOLOGY AND PHYSIOLOGICAL CONDITION OF BLACK SEA BASS CENTROPRISTIS STRIATA IN THE MIDDLE ATLANTIC BIGHT*. <https://doi.org/10.13016/jkku-uwlx>

Sayers, E. W., Bolton, E. E., Brister, J. R., Canese, K., Chan, J., Comeau, D. C., Farrell, C. M., Feldgarden, M., Fine, A. M., Funk, K., Hatcher, E., Kannan, S., Kelly, C., Kim, S., Klimke, W., Landrum, M. J., Lathrop, S., Lu, Z., Madden, T. L., . . . Sherry, S. T. (2022). Database resources of the National Center for Biotechnology Information in 2023. *Nucleic Acids Research*, 51(D1), D29–D38. <https://doi.org/10.1093/nar/gkac1032>

Sciences, B., & Orban, L. (2012, September 12). *Molecular analysis of the breeding biology of the Asian arowana (Scleropages formosus)* | ScholarBank@NUS. <http://scholarbank.nus.edu.sg/handle/10635/34690>

Scopettone, G. G., Salgado, J. A., & Nielsen, M. B. (2005). BLUE TILAPIA (*OREOCHROMIS AUREUS*) PREDATION ON FISHES IN THE MUDDY RIVER SYSTEM,

CLARK COUNTY, NEVADA. *Western North American Naturalist*, 65(3), 410–414.
<http://www.jstor.org/stable/41717474>

Shen, Y., Li, H., Zhao, J., Tang, S., Zhao, Y., Bi, Y., & Chen, X. (2021). The digestive system of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) can adapt to domestication by feeding with artificial diet. *Aquaculture*, 538, 736546.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736546>

Silva, R. C., Valentin, F. N., Paes, M. C. F., Faustino, F., Giannecchini, L. G., Viadanna, P. H. O., Nascimento, N. F., Fernandes, J. B. K., & Nakaghi, L. S. O. (2016). Development of the digestive tract in first feeding larvae of *Betta splendens* Regan, 1910. *Journal of Applied Ichthyology*, 32(5), 840–847. <https://doi.org/10.1111/jai.13127>

Simon, K. D., & Mazlan, A. G. (2010). Trophic position of archerfish species (*Toxotes chatareus* and *Toxotes jaculatrix*) in the Malaysian estuaries. *Journal of Applied Ichthyology*, 26(1), 84–88. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2009.01351.x>

Sire, Marin, Franc, Allizard (1998). Comparison Of Teeth and Dermal Denticles (Odontodes) in the Teleost *Denticeps clupeoides* (Clupeomorpha). *JOURNAL OF MORPHOLOGY* 237:237–255.

Slater B. (2019). Chapter 1 Patterns of Zooplankton Consumption by Juvenile and Adult Delta Smelt (*Hypomesus transpacificus*). ResearchGate.

Small, C. M., Bassham, S., Catchen, J., Amores, A., Fuiten, A. M., Brown, R. S., Jones, A. G., & Cresko, W. A. (2016). The genome of the Gulf pipefish enables understanding of evolutionary innovations. *Genome Biology*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s13059-016-1126-6>

Smith, M. M., Johanson, Z., Butts, T., Ericsson, R., Modrell, M., Tulenko, F. J., Davis, M. C., & Fraser, G. J. (2015). Making teeth to order: conserved genes reveal an ancient molecular pattern in paddlefish (Actinopterygii). *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences*, 282(1805), 20142700. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.2700>

Sola, L., Moretti, A., Crosetti, D., Karaïskou, N., Magoulas, A., Rossi, A.R., Rye, M., Triantafyllidis, A., C.S. Tsigenopoulos, C.S., 2014. Gilthead seabream - *Sparus aurata*

Soshnikova, N. (2014). Hox genes regulation in vertebrates. *Developmental Dynamics: An Official Publication of the American Association of Anatomists*, 243(1), 49–58.
<https://doi.org/10.1002/dvdy.24014>

Stroband, H. W. J. (1977). Growth and diet dependant structural adaptations of the digestive tract in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*, Val.). *Journal of Fish Biology*, 11(2), 167–174. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1977.tb04110.x>

Taguchi, T., Miura, Y., Krueger, D., & Sugiura, S. (2014). Utilizing stomach content and faecal DNA analysis techniques to assess the feeding behaviour of largemouth bass

Micropterus salmoides and bluegill *Lepomis macrochirus*. *Journal of Fish Biology*, 84(5), 1271–1288. <https://doi.org/10.1111/jfb.12341>

Tamura, K., Stecher, G., & Kumar, S. (2021). MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11. *Molecular Biology and Evolution*, 38(7), 3022–3027. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>

Tan, C. K., & Teh, Y. F. (1974). The Structure of the Gut of a Coral Fish, *Chelmon rostratus* Cuvier. *Okajimas Folia Anatomica Japonica*, 51(2–3), 63–79. https://doi.org/10.2535/ofaj1936.51.2-3_63

Tan, W., Witten, P., Winkler, C., Au, D., & Huysseune, A. (2017). Telomerase Expression in Medaka (*Oryzias latipes*) Pharyngeal Teeth. *Journal of Dental Research*, 96(6), 678–684. <https://doi.org/10.1177/0022034517694039>

Tawfik, M., Moawad, U., & Awaad, A. (2016). Histomorphological, histochemical, and ultrastructural studies on the stomach of the adult African catfish (*Clarias gariepinus*). *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 5(3), 155. <https://doi.org/10.1016/j.jmau.2016.08.002>

Taylor, J. S., Van de Peer, Y., Braasch, I., & Meyer, A. (2001). Comparative genomics provides evidence for an ancient genome duplication event in fish. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B*, 356(1414), 1661–1679. <https://doi.org/10.1098/rstb.2001.0975>

Teresa (2005). Developmental Changes Of Digestive System Structures In Pike-Perch (*Sander lucioperca* L.). *Electronic Journal of Ichthyology*, 2: 65-78.

Tran, H. Q., Mehta, R. S., & Wainwright, P. C. (2010). Effects of ram speed on prey capture kinematics of juvenile Indo-Pacific tarpon, *Megalops cyprinoides*. *Zoology*, 113(2), 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2009.08.002>

Tran-Tu, L., Bosma, R., Verstegen, M., & Schrama, J. (2019). Effect of dietary viscosity on digesta characteristics and progression of digestion in different segments of the gastrointestinal tract of striped catfish (*Pangasionodon hypophthalmus*). *Aquaculture*, 504, 114–120. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.01.047>

Using larval digestive system ontogeny to inform larviculture protocols in freshwater ornamental fishes. (n.d.). <https://original-ufdc.ufliib.ufl.edu/UFE0056278/00001>

Varela, J. L., Intriago, K. M., Flores, J. C., & Lucas-Pilozo, C. R. (2017). Feeding habits of juvenile yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in Ecuadorian waters assessed from stomach content and stable isotope analysis. *Fisheries Research*, 194, 89–98. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.05.017>

Veitia, R. A. (2017). Gene duplicates: agents of robustness or fragility? *Trends in Genetics*, 33(6), 377–379. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2017.03.006>

- Veterinaria Digital S.A. (2022, November 7). *Differences in digestion between carnivorous fishes and omnivorous fishes*. Veterinaria Digital. <https://www.veterinariadigital.com/en/articulos/physiological-differences-in-digestion-between-carnivorous-fishes-and-omnivorous-fishes/>
- Vieira, L. S., Vaz, D. F., & Netto-Ferreira, A. L. (2023). Ontogeny of the swim bladder of the Plainfin Midshipman, *Porichthys notatus* (Percomorphacea: Batrachoidiformes). *Zoology*, 159, 126102. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2023.126102>
- Vinagre, C., Cabral, H., & Costa, M. J. (2008). Prey selection by flounder, *Platichthys flesus*, in the Douro estuary, Portugal. *Journal of Applied Ichthyology*, 24(3), 238–243. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2008.01055.x>
- Vinson, M. R., Hoffmann, J. M., Muir, A. M., Rosinski, C. L., Krueger, C. C., Bronte, C. R., Hansen, M. J., Sitar, S. P., Allen, E. W., Baker, L. F., & Swanson, H. K. (2020). Gut contents from multiple morphs of lake trout (*Salvelinus namaycush*) at two offshore shoals in Lake Superior. *Journal of Great Lakes Research*, 46(5), 1382–1390. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.06.020>
- Volkoff, H., & Rønnestad, I. (2020a). Effects of temperature on feeding and digestive processes in fish. *Temperature*, 7(4), 307–320. <https://doi.org/10.1080/23328940.2020.1765950>
- Voskoboinikova, O. S., & Kudryavtseva, O. Y. (2014). Development of bony skeleton in the ontogeny of lumpfish *Cyclopterus lumpus* (Cyclopteridae, Scorpaeniformes). *Journal of Ichthyology*, 54(5), 301–310. <https://doi.org/10.1134/s0032945214030163>
- Wang, H., Wang, Y., Wang, Q., Xue, C., & Sun, M. (2006). Purification and characterization of stomach protease from the turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Fish Physiology and Biochemistry*, 32(2), 179–188. <https://doi.org/10.1007/s10695-006-0010-9>
- WARD A.B, KLEY J.N (2012). Effects of Precaudal Elongation on Visceral Topography in a Basal Clade of Ray-Finned Fishes. *THE ANATOMICAL RECORD* 295:289–297.
- Watanabe, K., & Hidaka, T. (1983). Feeding behaviour of the Japanese loach, *Misgurnus anguillicaudatus* (Cobitidae). *Journal of Ethology*, 1(1–2), 86–90. <https://doi.org/10.1007/bf02347834>
- Watanabe, M., Kakizaki, H., Kanai, M., Kawashima, S., Hamaguchi, K., Mizuno, H., Ueno, T., Yasukawa, C., Agata, R., Ikeda, M., Fukushima, H., Ueda, M., & Matsumiya, M. (2018c). Chondrichthyes chitinase: molecular cloning, distribution, and phylogenetic analysis. *Open Journal of Marine Science*, 08(01), 136–151. <https://doi.org/10.4236/ojms.2018.81007>

Waters, W., & Carroll, A. (2013). Population Dynamics of the European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) in.

Wegner, A., Ostaszewska, T., & Rożek, W. (2009). The ontogenetic development of the digestive tract and accessory glands of sterlet (*Acipenser ruthenus* L.) larvae during endogenous feeding. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 19(4), 431–444. <https://doi.org/10.1007/s11160-009-9111-8>

Weisel, G. F. (1973). Anatomy and histology of the digestive system of the paddlefish (*Polyodon spathula*). *Journal of Morphology*, 140(2), 243–255. <https://doi.org/10.1002/jmor.1051400209>

Weng, W., Wu, T., Chen, W., Liu, G., Osatomi, K., Su, W., & Cao, M. (2010). Purification and characterization of pepsinogens and pepsins from the stomach of rice field eel (*Monopterus albus* Zuiew). *Fish Physiology and Biochemistry*, 37(3), 543–552. <https://doi.org/10.1007/s10695-010-9456-x>

Wilson, J., & Castro, L. (2010). Morphological diversity of the gastrointestinal tract in fishes. In *Fish physiology* (pp. 1–55). [https://doi.org/10.1016/s1546-5098\(10\)03001-3](https://doi.org/10.1016/s1546-5098(10)03001-3)

Wu, R., Hong, W., & Zhang, Q. (2010). Digestive enzyme activities in mudskipper *Boleophthalmus pectinirostris* and Chinese black sleeper *Bostrichthys sinensis*. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 28(4), 756–761. <https://doi.org/10.1007/s00343-010-9111-5>

Xavier, J. C., Cherel, Y., Assis, C. A., Sendão, J., & Borges, T. C. (2009). Feeding ecology of conger eels (*Conger conger*) in north-east Atlantic waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90(3), 493–501. <https://doi.org/10.1017/s0025315409990555>

Y. Tsukamoto and M. Okiyama (1997). Metamorphosis of the pacific tarpon, megalops cyprinoides (elopiformes, megalopidae) with remarks on development patterns in the elopomorpha. *BULLETIN OF MARINE SCIENCE*, 60(1): 23-36.

Yang, Z., & Rannala, B. (2012). Molecular phylogenetics: principles and practice. *Nature Reviews Genetics*, 13(5), 303–314. <https://doi.org/10.1038/nrg3186>

Yu, D., Xiao, Z., Liu, Q., Xu, S., Ma, D., Li, J., & Webb, K. A. (2010). Ontogeny of Gastrointestinal Tract in Hybrid Flounder *Jasum*, *Paralichthys olivaceus*×*P. dentatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 41(3), 344–357. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2010.00376.x>

Yúfera, M., & Darías, M. (2007). Changes in the gastrointestinal pH from larvae to adult in Senegal sole (*Solea senegalensis*). *Aquaculture*, 267(1–4), 94–99. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.02.009>

Zeng, L., Fu, S., Li, X., Li, F., Li, B., Cao, Z., & Zhang, Y. (2014). Physiological and morphological responses to the first bout of refeeding in southern catfish (*Silurus meridionalis*). *Journal of Comparative Physiology B*, 184(3), 329–346. <https://doi.org/10.1007/s00360-014-0801-8>

Zhang, H., Yohe, T., Huang, L., Entwistle, S., Wu, P., Yang, Z., Busk, P. K., Xu, Y., & Yin, Y. (2018). dbCAN2: a meta server for automated carbohydrate-active enzyme annotation. *Nucleic Acids Research*, 46(W1), W95–W101. <https://doi.org/10.1093/nar/gky418>

Zhang, J., Yang, R., Yang, X., Fan, Q., Wei, K., & Wang, W. (2014). Ontogeny of the digestive tract in mud loach *Misgurnus anguillicaudatus* larvae. *Aquaculture Research*, 47(4), 1180–1190. <https://doi.org/10.1111/are.12574>

Zhang, L., Chia, J., Kumari, S., Stein, J. C., Liu, Z., Narechania, A., Maher, C. A., Guill, K., McMullen, M. D., & Ware, D. (2009). A Genome-Wide characterization of MicroRNA genes in maize. *PLoS Genetics*, 5(11), e1000716. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1000716>

Zhao, L., Luo, J., Du, J., Liu, Q., Xu, G., & Yang, S. (2020). Study on the adaptability of common carp (*Cyprinus carpio*) to diets from the perspective of digestion and absorption. *Aquaculture Research*, 51(6), 2495–2504. <https://doi.org/10.1111/are.14592>

Zhukova, K., & Stroganov, A. N. (2021). Anatomy of the digestive system of lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) as an adaptation to puffing behavior. *The Anatomical Record*, 305(7), 1732–1738. <https://doi.org/10.1002/ar.24799>

Αρχείο: *Dicentrarchus labrax map.png* - Βικιπαίδεια. (n.d.). https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF:Dicentrarchus_labrax_map.png

Συνεισφέροντες στα εγχειρήματα Wikimedia. (2024b, September 8). *Τσιπούρα*. Βικιπαίδεια. https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%83%CE%B9%CF%80%CE%BF%CF%8D%CF%81%CE%B1#/media/%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF:Sparus_aurata_mapa.svg