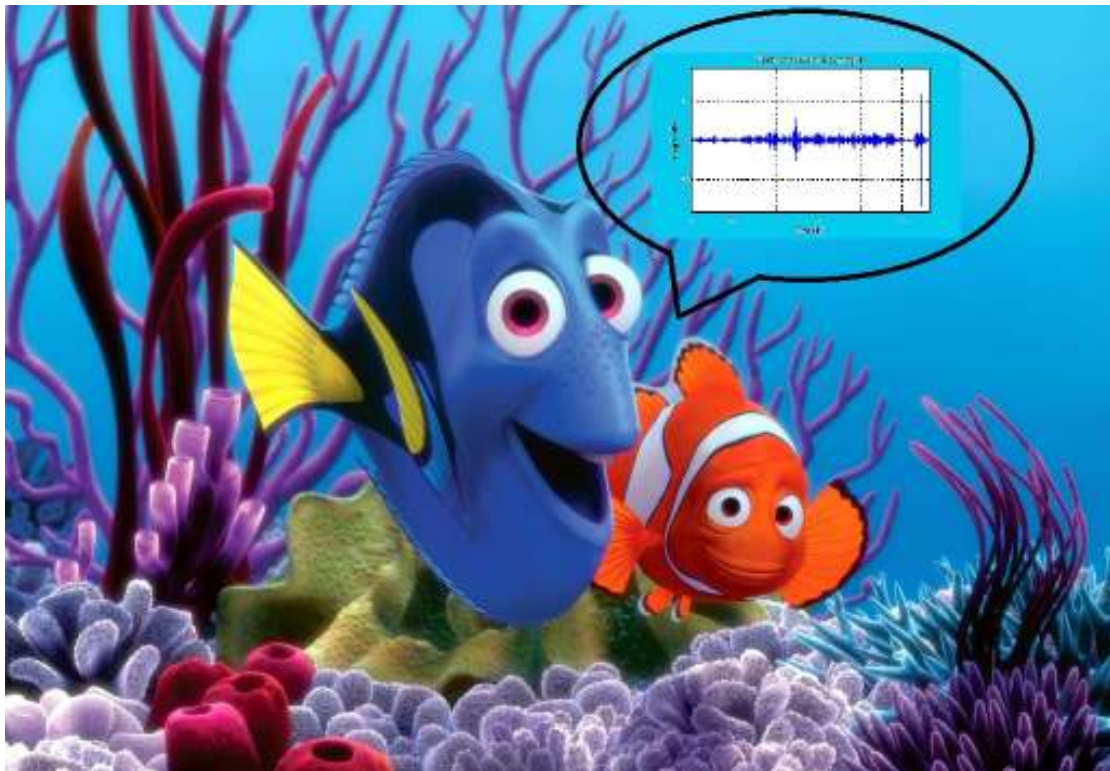


Πτυχιακή Εργασία

*Καταγραφή του ήχου ψαριών
σε μικρά ενυδρεία και τα χαρακτηριστικά του
ήχου σε σχέση με τον μηχανισμό παραγωγής του*



Σπουδάστριες:

Δασκαλάκη Νικολία Α.Μ.: 943

Τριπολιτάκη Ζαμπία Α.Μ.: 942

Επιβλέπων Καθηγητής:
Δρ. Κουζούπης Σπύρος

Ρέθυμνο 2013

Ευχαριστίες

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο «Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής», υπό την επίβλεψη του Δρ. Κουζούπη Σπύρου.

Ευχαριστίες θα θέλαμε να δώσουμε στους:

Δρ. Κουζούπη Σπύρο, για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε και τη βοήθεια κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής αυτής.

Δρ. Παπαδάκη Παναγιώτη, Διευθυντή Εφαρμογών του Ινστιτούτου Υπολογιστικών Μαθηματικών του Ιδρύματος Τεχνολογίας & Έρευνας για τη συνεργασία και την πολύτιμη βοήθειά του.

Κ. Βαλσαμάκη Νικόλαο, καθηγητή στο «Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής».

Μυλωνάκη Μαρίνα, Αγγελοπούλου Ηλέκτρα, Τριπολιτάκη Γιάννη και Καλοειδά Αρετή, για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράσταση που μας προσέφεραν.

Τέλος σε όλους εκείνους που μας εμπιστεύτηκαν και μας στήριξαν άμεσα ή έμμεσα.

*Δασκαλάκη Νικολία
Τριπολιτάκη Ζαμπία*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αρκετά είδη ψαριών παράγουν ήχους με διάφορους μηχανισμούς. Οι μηχανισμοί αυτοί περιλαμβάνουν τα δόντια, τον φάρυγγα, τα πτερύγια και τη νηκτική κύστη. Βασικός σκοπός της παρούσης εργασίας ήταν να ηχογραφηθούν οι ήχοι από μερικά είδη ψαριών γλυκού και αλμυρού νερού, σε μικρά ενυδρεία, να μελετηθεί θεωρητικά η ακουστική των μικρών ενυδρείων και να αναφερθούν τα προβλήματα που ανακύπτουν κατά την ηχογράφιση.

Στην εργασία αυτή, αναφέρονται πολύ σύντομα κάποια ιστορικά στοιχεία σχετικά με την εξέλιξη της επιστήμης της υποβρύχιας βιοακουστικής. Επίσης, γίνεται μία αναφορά στον τρόπο ταξινόμησης των ψαριών και στην μορφολογία του σώματός τους. Στη συνέχεια, αναλύεται η ακοή και περιγράφονται οι μηχανισμοί παραγωγής του ήχου από τα ψάρια, καθώς και τα ακουστικά χαρακτηριστικά των ήχων αυτών. Ακόμη, παρουσιάζονται οι οικογένειες ψαριών που είναι γνωστό ότι παράγουν ήχους.

Στο εργαστήριο συνήθως χρησιμοποιούνται μικρά ενυδρεία για την καταγραφή των ήχων. Για τα πειράματα της εργασίας, χρησιμοποιήθηκε κατά βάση ένα ενυδρείο 120 λίτρων, υδρόφωνο και λογισμικό καταγραφής και ανάλυσης του ήχου. Ηχογραφήθηκαν δέκα είδη ψαριών. Τα πέντε από αυτά ήταν ψάρια γλυκού νερού και τα υπόλοιπα πέντε ήταν αλμυρού νερού. Στην εργασία, σχολιάζονται, φασματικές αναλύσεις των ήχων που καταγράφηκαν σε σχέση με τον μηχανισμό παραγωγής τους. Ειδικότερη αναφορά γίνεται στο είδος *Pimelodus Pictus*. Τέλος, κατά την διάρκεια των ηχογραφήσεων υπήρξε οπτική παρατήρηση των ψαριών και βιντεοσκόπηση και στη συνέχεια συγχρονίστηκε ο ήχος που ηχογραφήθηκε με τη ροή της εικόνας. Με αυτό το τρόπο, παρατηρήθηκε και σχολιάστηκε η κοινωνική συμπεριφορά των ψαριών σε σχέση με τους ήχους που παρήγαγαν.

Λέξεις Κλειδιά: Βιοακουστική, Ακουστική μικρών ενυδρείων, κοινωνική συμπεριφορά ψαριών, *Pimelodus Pictus*.

ABSTRACT

Several species of fishes produce sounds using different mechanisms. They are using their teeth, pharynx, fins and swim bladder. The main aim of this work was to record the sounds of some freshwater and saltwater fish species in small tanks, analyze their sounds, enlist some aspects of the acoustics in small tanks and state the problems encountered when recordings are made in small tanks.

In this work, are mentioned, very briefly, some historical data on the evolution of the science of underwater Bioacoustics. Also, there is a reference how to classify the fish and the morphology of the body. Then, they are presented the abilities of hearing by fishes, the mechanisms of sound production and the acoustics characteristics of these sounds. Also are presented the families of fishes that are known to produce sounds.

In the laboratory usually used small aquariums for recording sounds. For the experiments, we used basically an aquarium of 120 liter, hydrophone and recording software and audio analysis. They have recorded ten species. Five of these were freshwater fishes and the remaining five were saltwater. In this work are also presented spectral analyses of recorded sounds, which in each case reveal the most probable mechanism involved in the sound production. Special reference is made to the species: *Pimelodus Pictus*. Finally, during the recordings was visual observation of fishes and filming and then synchronized the audio that was recorded with the flow of the image. In this way, observed and commented on the social behavior of fishes in relation to the sounds they produced.

Key words: Bioacoustics, Acoustics of small tank, fish social behavior, *Pimelodus Pictus*.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 ΒΙΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗ-ΥΔΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗ.....	6
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΨΑΡΙΩΝ.....	11
2.1.ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ.....	11
2.2 ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ.....	16
3.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ.....	16
3.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΑΚΟΗ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ.....	22
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	22
4.2 Η ΑΚΟΗ ΤΩΝ “ΕΙΔΙΚΩΝ” ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΟΗ ΤΩΝ “ΓΕΝΙΚΩΝ”..	24
4.3 ΥΠΟΗΧΟΙ ΚΑΙ ΥΠΕΡΗΧΟΙ.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΤΑ ΨΑΡΙΑ.....	26
5.1 Η ΠΟΙΚΙΛΟΜΟΡΦΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΤΑ ΨΑΡΙΑ.....	26
5.2 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΚΥΡΙΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ.....	27
5.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΧΟΥ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ.....	31
5.3.1 Μηχανισμός Παραγωγής Συριστικών Ήχων.....	34
5.3.2 Κρουστικός Μηχανισμός παραγωγής ήχου.....	36
5.3.3 Έγχορδος Μηχανισμός παραγωγής ήχου.....	40
5.3.4 Μηχανισμός Σπηλαίωσης.....	41
5.3.5 Υδροδυναμικός Μηχανισμός παραγωγής ήχου.....	41
5.3.6 Μηχανισμός Συμπίεσης Αέρα.....	42
5.3.7 Αναπνευστικός Μηχανισμός.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΨΑΡΙΑ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΟΥΝ ΗΧΟΥΣ.....	43
6.1. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΕΙΔΩΝ ΤΗΣ ΙΔΙΑΣ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΣ	43

6.2 ΨΑΡΙΑ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	43
6.2.1 Μορμυρίδες (Mormyridae).....	44
6.2.2 Κιχλίδες (Cichlidae).....	46
6.2.3 Οσφρονεμίδες (Osphronemidae - Gouramis).....	49
6.2.4 Άλλες οικογένειες ψαριών που παράγουν ήχους	52
6.3 ΨΑΡΙΑ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΜΙΚΡΩΝ ΕΝΥΔΡΕΙΩΝ.....	64
7.1 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΤΟ ΝΕΡΟ.....	64
7.1.1 Εισαγωγή.....	64
7.1.2 Ηχητική Ένταση και Ηχητική Πίεση στο νερό.....	65
7.1.3 Ταχύτητα του Ήχου στο νερό.....	67
7.2 ΗΧΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΣΕ ΜΙΚΡΑ ΕΝΥΔΡΕΙΑ.....	68
7.2.1 Εισαγωγή.....	68
7.2.2 Θεωρητική Προσέγγιση της Ακουστικής Μικρών Ενυδρείων.....	69
7.2.3 Μέθοδοι Ακουστικών Μετρήσεων σε Μικρά Ενυδρεία.....	72
7.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΜΙΚΡΩΝ ΕΝΥΔΡΕΙΩΝ.....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΨΑΡΙΩΝ.....	77
8.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΗΧΟΓΡΑΦΗΣΕΩΝ.....	77
8.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΗΧΟΓΡΑΦΗΣΕΩΝ.....	80
8.2.1 Συγχρονισμός της εικόνας με τον ήχο.....	82
8.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	83
8.3.1 Ηχογράφιση ψαριών θαλασσινού νερού.....	83
8.3.2 Ηχογράφιση ψαριών γλυκού νερού.....	85
8.4 ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ ΠΟΥ ΗΧΟΓΡΑΦΗΘΗΚΑΝ...98	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΧΟΛΙΑ.....	102
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	106
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΗΧΟΓΡΑΦΗΣΕΙΣ.....	113
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΕΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΑ ΗΧΩΝ.....	117
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΣΑΡΩΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ.....	124
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: ΗΧΟΙ ΚΑΙ ΒΙΝΤΕΟ ΗΧΟΓΡΑΦΗΣΕΩΝ.....	125

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΒΙΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗ - ΥΔΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗ

Η Βιοακουστική (bioacoustics), αποτελεί ένα διεπιστημονικό κλάδο, που συνδυάζει τη Βιολογία με την Ακουστική, με σκοπό τη μελέτη της παραγωγής, της διάδοσης και της λήψης του ήχου από τα ζώα. Τα αποτελέσματα των σχετικών ερευνών παρέχουν στοιχεία, αναφορικά με την εξέλιξη των μηχανισμών της ακοής και της παραγωγής του ήχου και δια μέσω αυτών, της γενικότερης εξέλιξης των ζώων, που αξιοποιούν τους μηχανισμούς αυτούς.

Οι παραγόμενοι από τα ζώα ήχοι, που εμπίπτουν στο πεδίο μελέτης της βιοακουστικής, περιλαμβάνουν ευρεία κλίμακα συχνοτήτων και μέσων, που δεν είναι πάντα ήχος, με την αυστηρή έννοια του όρου, δηλαδή δεν είναι κύματα που διαδίδονται δια μέσου του αέρα και γίνονται αντιληπτά από το ανθρώπινο αυτί.

Η αποτελεσματική εφαρμογή της βιοακουστικής είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την τεχνολογική ανάπτυξη, διότι αυτή η επιστήμη απαιτεί την χρήση πολύπλοκων καταγραφέων ήχου (sound recorders), μικροφώνων και υπολογιστικών προγραμμάτων καλής ποιότητας.

Οι βιοακουστικές μελέτες έχουν εφαρμοσθεί σε πολλά είδη ζώων όπως τα πουλιά, τα αμφίβια, τα θηλαστικά, τα έντομα και τα ερπετά. Η γραφική αναπαράσταση του ήχου που παράγει το κάθε είδος, με ειδικά προγράμματα, αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για την ταυτοποίηση των ειδών. Η διαφορετικότητα των ακουστικών εκπομπών των διαφόρων ειδών, η οποία δε γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο αυτί, γίνεται αντιληπτή με τα προγράμματα αυτά.

Ο ήχος είναι ίσως το πιο αποτελεσματικό μέσο επικοινωνίας κάτω από το νερό, καθώς το χρησιμοποιούν πολλά ψάρια. Η Υδροακουστική ή Υποβρύχια Ακουστική (underwater acoustics) αποτελεί τον κλάδο της ακουστικής που ασχολείται με τη μελέτη της διάδοσης του ήχου μέσα σε υδάτινο περιβάλλον (θαλάσσιο, ποτάμιο και λιμναίο). Οι εφαρμογές της Υδροακουστικής είναι πολλές. Ενδεικτικά αναφέρονται οι ακόλουθες:

- Ηχοεντοπιστικά συστήματα Sonar.

- Υποβρύχιες επικοινωνίες.
- Υποβρύχια ναυτιλία/πλοήγηση.
- Σεισμικές έρευνες.
- Παρακολούθηση του καιρού και του κλίματος.
- Ωκεανογραφία.
- Θαλάσσια βιολογία.
- Σωματιδιακή φυσική.
- Ανθυποβρυχιακός πόλεμος.

Οι μηχανισμοί παραγωγής ήχου και οι ίδιοι οι ήχοι, με τη βοήθεια και των τεχνολογικών εξελίξεων, έχουν διαμορφώσει μια ενεργή περιοχή έρευνας στην Υδροακουστική, την Υποβρύχια Βιοακουστική. Η Υποβρύχια Βιοακουστική είναι ένας συνδυασμός της Βιοακουστικής και της Υδροακουστικής επιστήμης. Παρόλο που η παραγωγή του ήχου μπορεί να είναι περιορισμένη μέχρι στιγμής σε κάποια είδη ψαριών, είναι προφανές ότι όλα τα ψάρια είναι σε θέση να λαμβάνουν ακουστικά ερεθίσματα. Η αντίληψη, όμως, του ήχου, εντός ενός υδάτινου μέσου, παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα που δεν συναντώνται στους χερσαίους οργανισμούς. Η εξέλιξη βέβαια των τεχνολογικών μέσων έχει βοηθήσει πάρα πολύ στην προσπέλαση κάποιων από αυτών των προβλημάτων. Ενδεικτικά αναφέρουμε, ότι από την ηχητική εκπομπή των ψαριών, γίνεται πιθανός ο εντοπισμός τους ακόμα και σε πολύ μεγάλα βάθη νερού. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται ηχοεντοπισμός (echo localization). Αυτός ο τρόπος εντοπισμού έχει, επίσης, εφαρμογή στα κητοειδή όσον αφορά την αναγνώριση και κατανόηση του πολυσύνθετου τρόπου επικοινωνίας τους.

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Οι πρώτες αναφορές στην ικανότητα των ψαριών να παράγουν ήχους, ήταν από τον Αριστοτέλη (384-322 π.Χ.). Στην πραγματεία του, «*Η ιστορία των ζώων*», αναφέρει πολλά είδη ψαριών που παρήγαγαν ήχους και παρουσιάζει κάποια χαρακτηριστικά των ήχων αυτών. Αργότερα, ο Γερμανός ερευνητής I. Müller, πρότεινε ότι ο Αριστοτέλης στην πραγματεία του, πιθανότατα, αναφερόταν σε ένα είδος των Sciaenidae, δύο εκπροσώπους των Triglidae, στα *Dactylopterus Volitans*, στα *Zeus Faber* και πιθανώς στα *Misgurnus fossilis* (Kasumyan, 2009). Στη συνέχεια, ο

Πλίνιος ο Πρεσβύτερος (23-79 μ.Χ.), έγραψε την "Ιστορία του Κόσμου", όπου επεσήμανε ότι τα ψάρια παρόλο που δεν έχουν αυτιά μπορούν να ακούν. Επίσης, ο εφευρέτης και ζωγράφος Leonardo da Vinci (1452-1519), πρότεινε ότι για να ακούσει κάποιος τα ψάρια πρέπει να βάλει το αυτί του σε κουπί που είναι βυθισμένο μες στο νερό.

Αργότερα, τον 19ο αιώνα, δημοσιεύτηκε η έκθεση του Dufosse (1874), στην οποία περιγράφονταν πολλές περιπτώσεις παραγωγής ήχου από τα ψάρια, μεταξύ των οποίων αρκετών θαλάσσιων ειδών. Εκτός από τις κατ'ουσίαν περιγραφικές μελέτες, υπήρχε ένα πρώιμο ενδιαφέρον για τους μηχανισμούς μέσω των οποίων τα ψάρια παράγουν ήχους. Ο Agassiz (1850) παρουσίασε την νυκτική κύστη ως ένα ηχητικό όργανο και ο Moreau (1876) έκανε κάποια πειράματα ως προς την ηχητική λειτουργία της νυκτικής κύστης στον θαλάσσιο κοκκινολαίμη, το γνωστό Trigla, βασιζόμενος σε ανατομικές μελέτες. Η σημασία των ήχων στη συμπεριφορά των ψαριών κέντρισε το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών. Ο Dufosse το 1874 επισήμανε την πιθανή επικοινωνιακή λειτουργία αυτών των ήχων. Οι ήχοι αυτοί, που οι περισσότεροι ερευνητές ανέφεραν σαν σημάδι συναγεμμού ή τρόμου, συχνά και ιδίως στα *sciaenids*, σχετιζόνταν με την αναπαραγωγική περίοδο ή την περίοδο ενηλικίωσης, κάτι που ήταν γνωστό στους αλιείς από τους αρχαίους χρόνους. Όλες αυτές οι εκθέσεις μέχρι και πάνω από το μισό του δέκατου ένατου αιώνα, βασίστηκαν πάνω στο τι θα μπορούσε να ανιχνεύσει το γυμνό ανθρώπινο αυτί. Η παραγωγή του ήχου από ορισμένα γατόψαρα αναφέρθηκε από τον Sorensen (1894) και παρείχε μία πολύ λεπτομερή περιγραφή των σκελετικών και μυϊκών μηχανισμών (Tavolga, 1971).

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα ανακοινώθηκε από τον Tower (1908), μία εκτεταμένη ανατομική και πειραματική έρευνα του ηχητικού μηχανισμού της νηκτικής κύστης, στην οποία για πρώτη φορά αναφερόταν ότι η συχνότητα ταλάντωσης της νηκτικής κύστης ήταν ισοδύναμη με τη θεμελιώδη συχνότητα του εκπεμπόμενου ήχου. Γενικότερα, δημοσιεύτηκαν σποραδικά περαιτέρω έρευνες σχετικά με τους ηχητικούς μηχανισμούς των ψαριών, ιδίως εκείνες του Smith (1905) για τα *sciaenids*, του Greene (1924) για τα *Porichthys* και του Hardenberg (1934) για τα *Therapon*. Επιπλέον, δομές, όπως τα δόντια, τα πτερύγια της σπονδυλικής στήλης και άλλα σκληρά μέρη, βρέθηκαν να συμμετέχουν στην παραγωγή του ήχου σε πολλά είδη (Tavolga, 1971).

Όσον αφορά την ακοή των ψαριών, όπως αναφέρθηκε από τον Moulton (1963) και τον Tavalga (1971), οι πρώτες μελέτες που την εξέτασαν ήταν από την G.H. Parker (1903), οι οποίες ήταν και οι πρώτες που αποδείκνυαν ότι τα ψάρια είναι σε θέση να ανιχνεύσουν ήχους. Αργότερα, ο Karl von Frisch (1886-1982) και οι μαθητές του (von Frisch 1923, von Frisch και Dijkgraaf 1935), έκαναν μια σειρά μελετών, που έδειξαν ότι τα ψάρια χρησιμοποιούν το έσω αυτί τους για την ακοή και παρείχαν τις πρώτες ποσοτικές μετρήσεις της ευαισθησίας της ακοής και της διάκρισης του σήματος στα ψάρια (Webb, Popper, Fay 2008).

Κατά τη διάρκεια του Α΄ Παγκοσμίου πολέμου, λόγω της επείγουσας ανάγκης για ανάπτυξη μεθόδων ανακάλυψης των υποβρυχίων του εχθρού, ξεκίνησαν από το στρατό συστηματικές μελέτες για τους ήχους και τους μηχανισμούς παραγωγής τους από τα ψάρια. Στον Β΄ Παγκοσμίο Πόλεμο, παρακινούμενοι από την ανησυχία για την ανίχνευση των μέσων υποθαλάσσιου πολέμου, αναπτύχθηκαν νέοι και αποτελεσματικότεροι μηχανισμοί για την ανίχνευση των υποβρυχίων ήχων. Παράλληλα, τα υδρόφωνα και ο συναφής εξοπλισμός ηλεκτρονικής καταγραφής, αποδείχθηκαν ικανά να ανιχνεύουν ήχους, που παράγονται από τα υποθαλάσσια ζώα. Λίγο μετά τον πόλεμο μάλιστα, δημοσιοποιήθηκαν εκθέσεις, σύμφωνα με τις οποίες, οι ήχοι που παράγονται από υποθαλάσσια ζώα συχνά αποτελούν ήχους παρεμβολής του περιβάλλοντος. Επίσης, σημειώθηκε κάποια πρόοδος στον εντοπισμό των ηχητικών ειδών, που παράγουν ήχους και την εποχιακή εμφανισή τους, καθιστώντας τα έτσι εργαλεία μελέτης της θαλάσσιας οικολογίας. Σημαντική συμβολή σε αυτό το πεδίο αποτελούν οι μελέτες του Fish (1952, 1954), (Tavalga, 1971). Οι μελέτες αυτές περιέγραψαν ήχους, οι οποίοι είχαν παραχθεί από ένα μεγάλο εύρος θαλάσσιων ψαριών, αντιπροσωπεύοντας πολλές οικογένειες και έδειξαν, ότι η παραγωγή του ήχου ήταν πιο συχνή από ότι είχε προηγουμένως υποθεθεί. Τα περισσότερα από τα εν λόγω παραδείγματα, καταγράφηκαν σε τεχνητές συνθήκες ενυδρείου και οι εκπεμπόμενοι ήχοι συχνά ήταν όταν τα ζώα βρίσκονταν υπό απειλή. Οι μελέτες αυτές ανέφεραν ότι πολλά ψάρια ήταν ενδεχομένως σε θέση να παράγουν ήχους. Οι φασματικές αναλύσεις των ήχων έδειξαν μια σημαντική ποσότητα των διακριτών ικανοτήτων των ειδών. Το 1953 ο Kellogg δημοσίευσε μια βιβλιογραφία των ήχων των θαλάσσιων οργανισμών. Αν και ημιτελής, αυτή η λίστα περιελάμβανε την πλειοψηφία των διαθέσιμων αναφορών εκείνη την εποχή (Tavalga, 1971).

Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι το 1953, ο περίφημος υποθαλάσσιος εξερευνητής, Ζακ Κουστώ, δημοσίευσε τον «Σιωπηλό Κόσμο», ένα βιβλίο που αναφερόταν στον υποθαλάσσιο κόσμο. Ο τίτλος, ωστόσο, δεν ανταποκρινόταν στην πραγματικότητα, παρόλο που το βιβλίο βγήκε αρκετά χρόνια μετά το τέλος του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου και την έκδοση των δεδομένων, για την πληθώρα των ήχων που παράγονταν από τους θαλάσσιους οργανισμούς. Πιθανώς, ο λόγος για τον οποίο ο Κουστώ δεν μπορούσε να ακούσει τους ήχους, ήταν επειδή το ανθρώπινο αυτί δεν είναι κατασκευασμένο για υποβρύχια ακρόαση. Είναι, επίσης, πιθανόν, η μικρή ποσότητα των ήχων των ψαριών που έφτανε στα αυτιά του, να ήταν καλυμμένη από τις φυσαλίδες που δημιουργούσε η συσκευή για την αναπνοή του (Tavolga, 2012).

Το πεδίο της Βιοακουστικής των ψαριών, ουσιαστικά εγκαινιάστηκε την δεκαετία του 1960 με δύο συνέδρια και την δημοσίευση των εργασιών τους, τα οποία οργανώθηκαν και επιμελήθηκαν από τον καθηγητή William N. Tavolga στις Μπαχάμες. Οι δύο τόμοι που δημοσιεύτηκαν: Θαλάσσια Βιο-Ακουστική I (1964) και Θαλάσσια Βιο-Ακουστική II (1967), ορίζουν το πεδίο εφαρμογής και το περιεχόμενο του τομέα της Υδροβιοακουστικής. Η ακοή και η παραγωγή του ήχου, η υποβρύχια ακουστική, καθώς και πληθώρα άλλων θεμάτων είναι τα θέματα των παραπάνω βιβλίων. Οι συγγραφείς των κεφαλαίων τόνισαν ότι οι ερευνητές πρέπει να εξετάζουν όλους τους οργανισμούς, από τα ασπόνδυλα μέχρι τα θαλάσσια θηλαστικά, όταν ερευνούν τον ήχο στο υποβρύχιο περιβάλλον (Webb, Popper, Fay, 2008).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΨΑΡΙΩΝ

2.1. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ

Οι Ιχθύες, κοινώς Ψάρια, (λατιν. Pisces), αποτελούν μια πολύ μεγάλη και ιδιαίτερη ομοταξία των σπονδυλωτών ζώων, που είναι προσαρμοσμένα στην υδρόβια ζωή. Ορίζονται ως η ομάδα σπονδυλωτών και χονδρωτών που δεν έχουν άκρα με δάκτυλα. Αυτός ο αρνητικός ορισμός δείχνει ότι τα ψάρια είναι μία παραφυλετική ομάδα, που αποτελείται από συνολικά 32.000 είδη οργανισμών.

Αρχικά τα ψάρια είχαν ταξινομηθεί σε μία μόνο ομώνυμη τάξη με το λατινικό όνομα pisces. Σήμερα ταξινομούνται σε 3 ξεχωριστές τάξεις:

1. Αφετοχυώδη ή Πλακόδερμα (Aphetohyidean ή Plakodermi). Ονομάστηκαν Πλακόδερμα καθώς είχαν ως κύριο χαρακτηριστικό την κάλυψη του σώματος με πλάκες. Εμφανίστηκαν κατά τη Δεβόνια περίοδο του Παλαιοζωικού αιώνα (416–359 ε.χ.π.). Σημαντικό σημείο της συγκεκριμένης περιόδου είναι η εμφάνιση των πρώτων αμφίβιων, που σηματοδότησαν τη δυνατότητα μετάβασης της ζωής από το υδρόβιο στο αερόβιο περιβάλλον. Εξαφανίστηκαν οριστικά την Πέρμια περίοδο (299–251 ε.χ.π.), η οποία τελείωσε με την πλέον εκτεταμένη εξαφάνιση ειδών που έχει καταγραφεί στην παλαιοντολογία: εξαφανίστηκε το 90% έως 95% των υδρόβιων οργανισμών, όπως και το 70% περίπου των χερσαίων οργανισμών. Η διάκριση των Πλακόδερμων γίνεται σήμερα από τα διάφορα απολιθώματα.
2. Χονδριχθύες ή Χονδριχθείς (Chondrychtyes). Οι Χονδριχθύες είναι ψάρια με σπονδύλους από χόνδρο, σαγόνια, ζευγαρωτά πτερύγια, λέπια, δίχωρη καρδιά και δεν έχουν νηκτική κύστη. Αποτελούνται από δύο υπομοταξίες, τους ελασμοβράχιους (καρχαρίες, σαλάγια) και τους ολοκέφαλους (χίμαιρες). Η λέξη προέρχεται ετυμολογικά από τις ελληνικές λέξεις *χόνδρος* και *ιχθύς* και σημαίνει χόνδρινο ψάρι.
3. Χοανιχθύες (Choanichtheyes) ή Οστεϊχθύες (Osteichthyes). Οι Οστεϊχθύες αποτελούν ταξινομική ομάδα των ψαριών με οστέινους σκελετούς. Η υπερομοταξία των Οστεϊχθύων περιλαμβάνει τις υποκλάσεις των Δίπνευστων (διαθέτουν και πνεύμονες), των Κροσσοπτερυγίων, των Βραχιόπτερυγίων και

των Ακτινοπτερυγίων. Η υποκλάση των Ακτινοπτερυγίων περιλαμβάνει τη μεσοκλάση των Τελεόστεων, η οποία είναι η πολυπληθέστερη σε αριθμό ειδών (περίπου 26.000 από τα γνωστά είδη ιχθύων ανήκουν στην μεσοκλάση των Τελεόστεων).

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των Οστεϊχθύων, που μας ενδιαφέρουν περισσότερο, είναι:

1. Στα περισσότερα είδη, το δέρμα τους καλύπτεται από λέπια και διαθέτει πολλούς βλεννογόνους αδένες.
2. Ο σκελετός τους είναι οστέινος και έχει πολλούς σπονδύλους.
3. Αναπνέουν από τα βράγχια, εκτός κάποιων εξαιρέσεων.
4. Το σώμα τους έχει πτερύγια που στηρίζονται σε ακτίνες.
5. Είναι ζώα ποικιλόθερμα - ετερόθερμα, δηλαδή πρόκειται για οργανισμούς που δεν έχουν εσωτερικούς θερμορυθμιστικούς μηχανισμούς και κατά συνέπεια η θερμοκρασία τους επηρεάζεται άμεσα από την θερμοκρασία του νερού.
6. Η γονιμοποίηση γίνεται έξω από το σώμα τους, πλην κάποιων εξαιρέσεων (π.χ. *Poeciliidae* και *Carcharinidae*).

Περισσότερα, όμως, για τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων ψαριών θα αναφερθούν στο τρίτο κεφάλαιο.

Κάθε μία από τις παραπάνω ομοταξίες περιλαμβάνει υπερτάξεις, με επιμέρους τάξεις και κάθε τάξη περιλαμβάνει επιμέρους οικογένειες. Δυστυχώς, όμως, η ταξινόμηση των ψαριών, όπως συμβαίνει και στα άλλα βασίλεια των ζώων και των φυτών, δεν είναι ενιαία απ' όλους τους επιστήμονες, οι οποίοι προτείνουν διαφορετικά συστήματα ταξινόμησης (Κλαδιστική¹, Συστηματική², Φυλογενετική³ ταξινόμηση).

¹ Στη Βιολογία, με τον όρο κλαδιστική (cladistics), χαρακτηρίζεται μια συγκεκριμένη προσέγγιση στη ταξινόμηση, κατά την οποία οι διάφοροι οργανισμοί διατάσσονται αλλά και κατατάσσονται αποκλειστικά σε μια βάση, που αντανακλά την πρόσφατη προέλευση από κοινό πρόγονο, όπως για παράδειγμα ένα οικογενειακό δέντρο. Έτσι, αυτό το σύστημα διάταξης και κατάταξης στηρίζεται επί της δημιουργίας των κλάδων και του αριθμού αυτών και όχι στον βαθμό διαφοράς αυτών των κλάδων.

Οι διαφορές αφορούν περισσότερο στις ονομασίες των τάξεων ή στη δημιουργία νεότερων και την επαναταξινόμηση σ' αυτές των διαφόρων ειδών. Ευτυχώς όμως, δεν διαφωνούν και στο όνομα του κάθε είδους. Η διαφορά στην ανακάλυψη σπανίων ψαριών είναι εύλογη, καθώς οι μελέτες δίνουν νέα δεδομένα και η ανακατάταξη ομοίων ειδών καθίσταται πλέον επιβεβλημένη. Η μέθοδος πάντως, που φαίνεται να επικρατεί για την κατηγοριοποίηση των ψαριών, είναι η Συστηματική ταξινόμηση (Εικ. 2.1.1).



Εικόνα 2.1.1: Η ιεραρχία των οχτώ κύριων ταξινομικών βαθμίδων στην Συστηματική ταξινόμηση.

² Τα κριτήρια της Συστηματικής κατάταξης των οργανισμών είναι μορφολογικά. Οι απαρτιζόμενες κύριες ομάδες, υποδιαιρούνται σε άλλες μικρότερες και ακόμη μικρότερες κ.ο.κ. Οι βασικές βαθμίδες της Συστηματικής ταξινόμησης είναι οι εξής: το Βασίλειο, η Συνομοταξία, η Ομοταξία, η Τάξη, η Οικογένεια, το Γένος και το Είδος. Ως βάση της ιεράρχησης λαμβάνεται το είδος.

³ Σήμερα, τα νεότερα συστήματα ταξινόμησης δεν είναι τεχνικά ή φυσικά, διότι δεν λαμβάνεται ως βάση η εξωτερική ομοιότητα ή η ομοιότητα της εσωτερικής κατασκευής, αλλά φυλογενετικά. Η ταξινόμηση αυτή λέγεται Φυλογενετική ταξινόμηση, διότι αποβλέπει στην ανεύρεση συγγένειας και κοινής καταγωγής των ειδών. Η σύγκριση του γενετικού υλικού (DNA) των οργανισμών έχει συμβάλει ιδιαίτερα σ' αυτή.

2.2 ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ

Όσον αφορά στην ονοματολογία των ψαριών, οι επιστημονικές ονομασίες στη Ζωολογία είναι κατ' εξοχήν ελληνικές και λατινικές. Οι ελληνικές λέξεις εμφανίζονται στη λατινοποιημένη τους μορφή, δηλαδή αποδιδόμενες με λατινικούς χαρακτήρες.

Η διωνυμική ονοματολογία είναι η επίσημη μέθοδος ονοματοδοσίας των ειδών. Εκ των δύο ονομάτων της επιστημονικής ονομασίας, το πρώτο όνομα προσδιορίζει το Γένος και είναι ουσιαστικό. Βρίσκεται πάντα σε πτώση ονομαστική της ελληνικής ή λατινικής γλώσσας (π.χ *Copadichromis*). Το αρχικό γράμμα γράφεται πάντα με κεφαλαίο γράμμα και ποτέ δεν χρησιμοποιείται πληθυντικός αριθμός, ακόμα και εάν κάποιος αναφέρεται σε περισσότερα του ενός δείγματα. Ένα γένος περιλαμβάνει το σύνολο των ειδών που είναι συγγενή μεταξύ τους και το σύνολο των γενών που είναι συγγενή μεταξύ τους ονομάζεται Οικογένεια.

Το δεύτερο όνομα αναφέρεται στο Είδος, είναι επιθετικός προσδιορισμός και μπορεί να βρίσκεται και σε πτώση γενική της λατινικής (π.χ *borleyi*). Το αρχικό γράμμα γράφεται πάντα με μικρό γράμμα. Και τα δύο ονόματα πρέπει να γράφονται πάντα με πλάγια γραφή, όπως στο παράδειγμα και όταν είναι χειρόγραφα πρέπει να είναι υπογραμμισμένα. Στην περίπτωση που υπάρχει και τρίτη λέξη αυτή αποτελεί διευκρίνιση του υποείδους ή της ποικιλίας.

Αυτά τα διώνυμα ονόματα, γένος / είδος, ακολουθούνται από το όνομα (ή τα ονόματα) του επιστήμονα ή του ανθρώπου που τα ανακάλυψε ή τα περιέγραψε πρώτος και το χρόνο της ανακάλυψής τους. Εάν ακολουθούνται και από άλλο όνομα και χρονιά, αυτό σημαίνει πως το είδος περιγράφηκε με διαφορετικό όνομα και αναθεωρήθηκε αργότερα (π.χ *Barbus tetrazona*, Bleeker, 1855). Το όνομα του είδους μπαίνει στο ίδιο γένος (αρσενικό ή θηλυκό) της λατινικής γλώσσας, που βρίσκεται και το όνομα του γένους, όπως το αρσενικό *Astronotus ocellatus* ή το θηλυκό *Rineloricaria parva*. Το ίδιο συμβαίνει όταν το όνομα του είδους καθορίζει αυτόν ή αυτήν που ανακάλυψε ή περιέγραψε το είδος. Οπότε έχουμε *Cyrtocara moorii* (κατάληξη -i), αφού πρόκειται για άντρα που ανακάλυψε ή περιέγραψε το είδος και *Labeotropheus trewavasae* (κατάληξη -ae) αφού πρόκειται για γυναίκα.

Όταν το όνομα αναφέρεται στην περιοχή της καταγωγής του ψαριού, παίρνει την κατάληξη *-ensis*, όπως *Geophagus brasiliensis*, αφού το είδος κατάγεται από τη Βραζιλία. Όταν αναφέρεται ένα άγνωστο είδος, αναγράφεται η συντομογραφία "sp." (στον ενικό) ή "spp." (στον πληθυντικό) όταν υποδηλώνονται "αρκετά άγνωστα είδη", στο δεύτερο μέρος του ονόματος του. Το επιστημονικό όνομα πρέπει να γράφεται ολοκληρωμένο όταν αναφέρεται για πρώτη φορά. Στη συνέχεια μπορεί να γράφεται μόνον το αρχικό του γενικού ονόματος, όμως σε σπάνιες περιπτώσεις γίνεται κοινή χρήση αυτής της μορφής συντομογραφίας.

Οικογένεια ονομάζεται το σύνολο των γενών που είναι συγγενείς μεταξύ τους. Για την καλύτερη αποσαφήνιση των σχέσεων στη ταξινόμηση, πολλές φορές, χρησιμοποιούνται και οι κατηγορίες Υπεροικογένεια (*Superfamilia*) και Υποοικογένεια (*Subfamilia*). Τα ονόματα των οικογενειών τελειώνουν πάντοτε με την ελληνική θηλυκή κατάληξη *-ίδαι (-idae)* ενώ οι υποοικογένειες καταλήγουν σε *-ίνας (-inae)* και οι υπεροικογένειες καταλήγουν σε *-οειδή (-oidea)*.

Το σύνολο των οικογενειών που είναι συγγενείς μεταξύ τους ονομάζεται Τάξη και στα ελληνικά έχουν κατάληξη σε *-ώδη* π.χ κητώδη (στα λατινικά σε *-ea*). Για τη καλύτερη αποσαφήνιση των σχέσεων στη ταξινόμηση πολλές φορές χρησιμοποιούνται και οι κατηγορίες Υπερτάξη (*Superordo*) και Υποτάξη (*Subordo*). Πιο κάτω από την Υποτάξη βρίσκεται η κατηγορία Ανθυποτάξη ή Ενδοτάξη (*Infraordo*). Μικρότερη εσωτερική διαίρεση αποτελεί η Μικροτάξη (*Parvordo*).

Μία Ομοταξία ή Κλάση περιλαμβάνει μία ή περισσότερες τάξεις και υπάρχει δυνατότητα να υποδιαιρεθεί περαιτέρω σε Υφομοταξία (*Subclassis*) και Ανθυφομοταξία (*Infraclassis*).

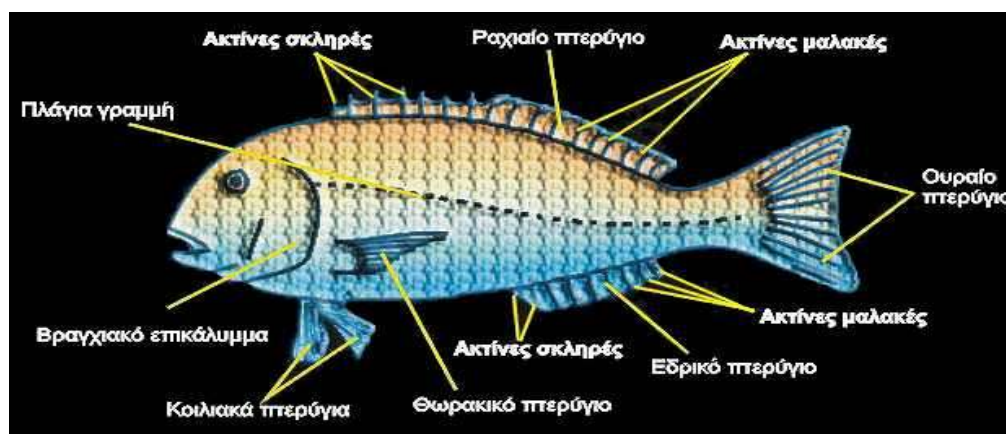
Μία Συνομοταξία (*phylum*) περιέχει μία ή περισσότερες Ομοταξίες. Αν και η χρήση του όρου συχνά χρησιμοποιείται σαν να πρόκειται για μία ξεκάθαρα οριζόμενη κατηγορία, δεν υπάρχει ακόμα, κάποιος ευρέως αποδεκτός ορισμός της λέξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ

3.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ

Το σώμα των ψαριών είναι έτσι φτιαγμένο, ώστε να μπορεί να κινείται με ταχύτητα μέσα στο νερό, το οποίο είναι 800 φορές πυκνότερο από τον αέρα. Έχει σχήμα κυλινδρικό, πεπλεγμένο στις δυο πλευρές και το κεφάλι είναι σχετικά μυτερό εμπρός, όπως και η περιοχή της ουράς, για να αποκτήσει υδροδυναμικό σχήμα.

Η εξωτερική μορφολογία των ψαριών (Εικ. 3.1.1.) αποτελείται από το κεφάλι, τον κορμό και την ουρά. Κάποια είδη της κλάσης των *οστειχθύων* δεν έχουν διαχωρισμένο τον κορμό από την ουρά, κάτι που δεν συμβαίνει ποτέ μεταξύ του κορμού και του κεφαλιού. Ένα άλλο χαρακτηριστικό τους είναι ότι δεν υπάρχει λαιμός, όπως συμβαίνει με τα ζώα της στεριάς.



Εικόνα 3.1.1: Εξωτερική μορφολογία του ψαριού.

Το κεφάλι αρχίζει από την άκρη του ρύγχους και φτάνει μέχρι την άκρη του βραγχιακού επικαλύμματος. Περιλαμβάνει το στόμα, τα μάτια, τη μύτη, τα βραγχιοκαλύμματα και τα ρουθούνια. Τα ειδικά χαρακτηριστικά του κεφαλιού των ψαριών είναι πάρα πολλά και είναι πολύ χρήσιμα για την αναγνώριση τους, αλλά και για την συστηματική ταξινόμηση τους.

Ο κορμός είναι το μεσαίο τμήμα του ψαριού και αρχίζει από το βραγχιοκάλυμμα μέχρι το εδρικό πτερύγιο (anal fin). Τα βραγχιακά επικαλύμματα αποτελούνται από δύο μέρη: το κυρίως βραγχιακό επικάλυμμα (operculum) και το προεπικάλυμμα (preoperculum ή anterior gill cover). Καλύπτεται από λέπια και σε αυτό υπάρχει η πλάγια ή πλευρική γραμμή, (Linea lateralis ή lateral line), μια σειρά από λέπια, η οποία ξεκινά από το βραγχιακό επικάλυμμα και καταλήγει στην ουρά. Αυτά τα λέπια έχουν τρύπες που επιτρέπουν στο νερό να έρχεται σε επαφή με ένα αισθητήριο νεύρο που βρίσκεται κάτω από αυτά.

Ο αριθμός των λεπιών της πλευρικής γραμμής είναι χαρακτηριστικός στα περισσότερα είδη ψαριών και χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των ειδών. Η πλευρική γραμμή χρησιμοποιείται από το ψάρι σαν όργανο αίσθησης της απόστασης, της κατεύθυνσης και του μεγέθους κάποιου αντικειμένου. Ο κυματισμός που δημιουργείται από κάθε αντικείμενο χτυπά στην πλευρική γραμμή και το ερέθισμα μεταφέρεται σαν πληροφορία στον εγκέφαλο για την διεύθυνση και την απόσταση που βρίσκεται. Το ίδιο συμβαίνει και με τον κυματισμό που δημιουργεί το ίδιο το ψάρι, ο οποίος το πληροφορεί που μπορεί να βρίσκονται εμπόδια (πέτρες, βράχοι κλπ.). Γι' αυτό τα ψάρια, δεν χτυπούν στα κρύσταλλα του ενυδρείου, ακόμα και όταν δεν υπάρχει αναμμένος φωτισμός. Με αυτό τον τρόπο έχει παρατηρηθεί ότι ακόμα και τυφλά αρπακτικά ψάρια μπορούν και επιβιώνουν. Η ουρά αποτελεί το τελευταίο τμήμα του σώματος του ψαριού, αρχίζει από το εδρικό πτερύγιο και φτάνει μέχρι το τελευταίο σημείο του ουραίου πτερυγίου.

Όσον αφορά στα πτερύγια, πρόκειται για προεξοχές του σώματος των ψαριών, που είναι μεμβρανώδεις και χρησιμεύουν στα ψάρια για να κινούνται, αλλά και για να κρατούν την ισορροπία τους μέσα στο νερό. Οι μεμβράνες των πτερυγίων στηρίζονται σε ακτίνες (rays), που μπορεί να είναι μαλακές ή σκληρές. Τα δυο είδη ακτίνων μπορεί να υπάρχουν στο ίδιο πτερύγιο ή να είναι μόνο μαλακές, σ' αυτά που λέγονται μαλακοπτερύγια. Η μορφή και η θέση των πτερυγίων είναι πολύ σημαντική στην συστηματική ταξινόμηση των ψαριών. Παράλληλα όμως είναι και όργανα που φανερώνουν την διάθεση των ψαριών μέσα στο ενυδρείο. Έτσι, είναι χαρακτηριστική η κίνηση και η στάση των πτερυγίων όταν θέλουν να ζευγαρώσουν ή όταν δείχνουν επιθετικότητα. Αν τα ψάρια παρατηρούνται συχνά, μπορεί να ερμηνευτεί η διάθεση τους και η κατάσταση της υγείας τους, από τον τρόπο που κρατούν τα πτερύγια τους.

Είναι χαρακτηριστική, για παράδειγμα, η κίνηση τους όταν πάσχουν από κάποια ασθένεια του δέρματος που μπορεί να οφείλεται σε παράσιτα.

Όλα τα ψάρια που ανήκουν στην κλάση των οστεϊχθύων διαθέτουν δυο είδη πτερυγίων. Τα μονά και τα ζυγά.

ΜΟΝΑ ΠΤΕΡΥΓΙΑ (unpaired fins): Είναι το ραχιαίο (dorsal fin), το εδρικό (anal fin) και το ουραίο (caudal fin). Το ραχιαίο πτερύγιο μπορεί να αποτελείται από ένα έως τρία μέρη και βρίσκεται κατά μήκος της ράχης του ψαριού. Έχει ακτίνες σκληρές και μαλακές και η χρησιμότητά του στο ψάρι είναι στην σταθερότητα, την γρήγορη αλλαγή διεύθυνσης και μαζί με το ουραίο και το εδρικό στο γρήγορο σταμάτημα του. Πολύ σπάνια λείπει το πτερύγιο αυτό, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στην οικογένεια *Apteronotidae* (Μαχαιρόψαρα) και *Gymnotidae* (Εικόνα 3.1.2).



Εικόνα 3.1.2: Το *Apteronotus albifrons* (μαχαιρόψαρο) είναι παράδειγμα ψαριού χωρίς ραχιαίο πτερύγιο.

Το εδρικό πτερύγιο είναι μικρό και μόνο σε ελάχιστες περιπτώσεις είναι μεγαλύτερο από το ραχιαίο. Τα ψάρια που έχουν πάνω από ένα εδρικό πτερύγιο είναι πολύ λίγα, όπως τα θαλασσινά ψάρια της οικογένειας *Gadidae*.

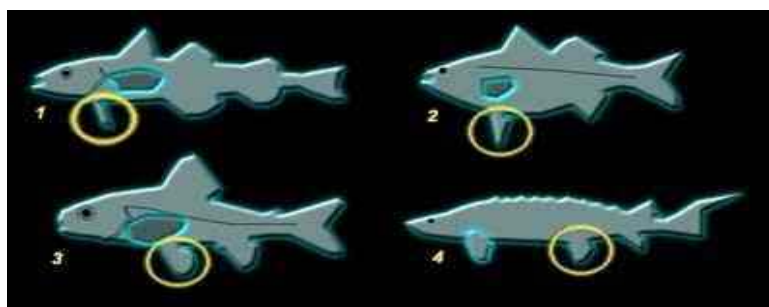
Τέλος το ουραίο πτερύγιο, ανάλογα με το είδος του ψαριού, έχει πολλές μορφές, μεγέθη και σχήματα. Τα περισσότερα ψάρια έχουν ουραίο πτερύγιο στρογγυλό, αποκοπτόμενο, εγκοπτόμενο, διχαλωτό ή ημισεληνοειδές. Τα πτερύγια που έχουν σχήμα διχαλωτό αποτελούνται από δυο λοβούς, που μπορεί να είναι στενοί ή με μεγαλύτερο πλάτος και συμμετρικοί ή ο ένας να είναι μεγαλύτερος από τον άλλο. Τα ψάρια που έχουν ουραία πτερύγια με στενούς και διχαλωτούς λοβούς μπορούν να αναπτύξουν μεγάλη ταχύτητα, όπως είναι τα περισσότερα πελαγικά ψάρια. Όσα έχουν ουραίο πτερύγιο στρογγυλό, εγκοπτόμενο ή αποκοπτόμενο είναι καλοί

κολυμβητές, αλλά δεν μπορούν να αναπτύξουν τις ταχύτητες αυτών με ημισεληνοειδές ουραίο πτερύγιο.

Τα είδη της οικογένειας *Charachidae* φέρουν στη ράχη άλλο ένα μικρό πτερύγιο, μεταξύ του ραχιαίου και του ουραίου πτερυγίου τους και αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά των ειδών της οικογένειας.

ΖΥΓΑ ΠΤΕΡΥΓΙΑ (paired fins) : Είναι τα θωρακικά ή πλευρικά πτερύγια (pectoral fins) και τα κοιλιακά πτερύγια (basal ή pelvic fins). Τα θωρακικά πτερύγια είναι σχεδόν πάντα καλά ανεπτυγμένα και βρίσκονται στις πλευρές των ψαριών, πίσω ακριβώς από τα βραγχιακά καλύμματα. Στα τελεόστεα, κατά κανόνα όλες οι ακτίνες των θωρακικών πτερυγίων είναι μαλακές και ενωμένες μεταξύ τους με μια μεμβράνη. Χρησιμεύουν στα ψάρια για τις κινήσεις τους προς τα πάνω και κάτω και για να διατηρούν την σταθερότητα τους.

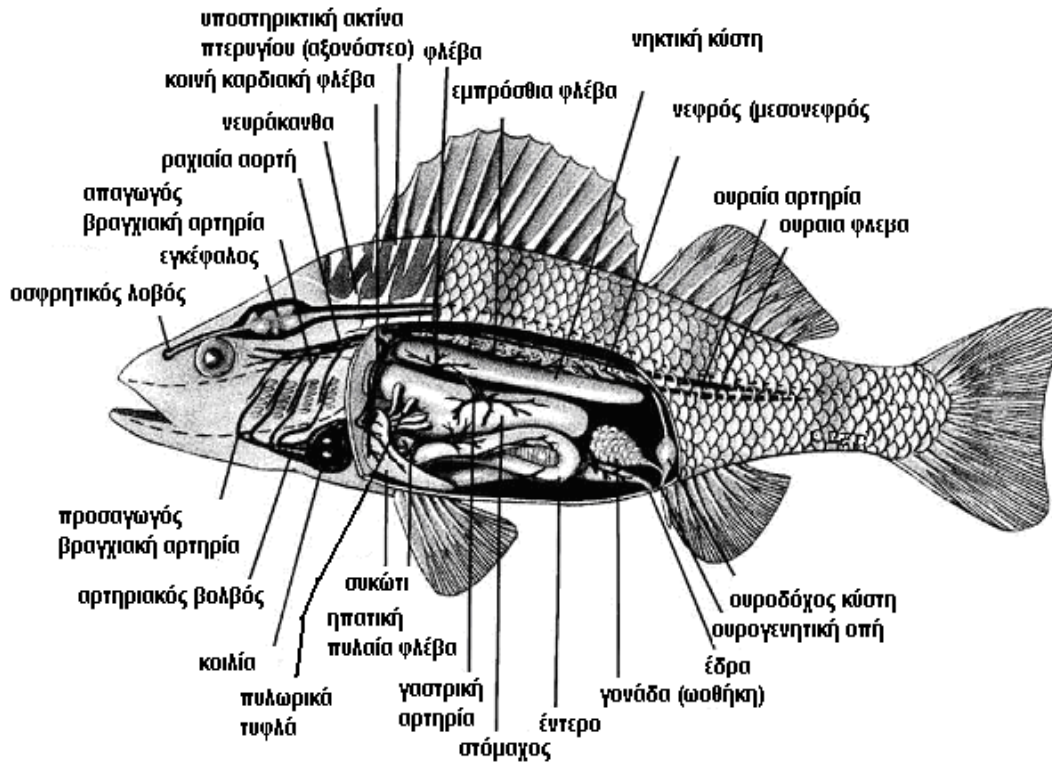
Τα κοιλιακά πτερύγια είναι μικρότερα συνήθως από τα θωρακικά και δεν στηρίζονται στην σπονδυλική στήλη των ψαριών, γι' αυτό και δεν είναι σταθερή η θέση τους σε όλα τα είδη. Τα πτερύγια αυτά δεν χρησιμοποιούνται για την κίνηση των ψαριών, αλλά για το σταμάτημα και την σταθερότητα τους. Τα τελεόστεα διακρίνονται ανάλογα με την θέση των πτερυγίων τους, σε τέσσερις μεγάλες ομάδες: Τα στηθιαία, θωρακικά, υποκοιλιακά και κοιλιακά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1.3.



Εικόνα 3.1.3: Τα στηθιαία (1), θωρακικά (2), υποκοιλιακά (3) και κοιλιακά (4) πτερύγια των ψαριών.

3.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ

Τα χαρακτηριστικά της εσωτερικής μορφολογίας των ψαριών διακρίνονται στην Εικόνα 3.2.1. Επειδή όμως στην συγκεκριμένη εργασία, μας ενδιαφέρουν περισσότερο οι ήχοι που παράγονται μέσω της νηκτικής κύστης του ψαριού, θα αναφερθούμε περισσότερο στα χαρακτηριστικά της.



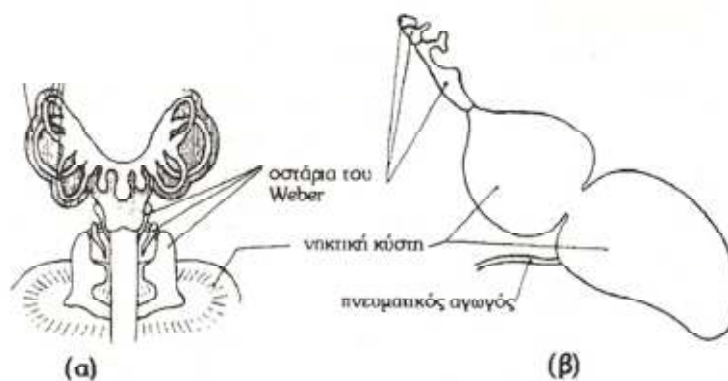
Εικόνα 3.2.1: Ανατομία ψαριού.

Νηκτική κύστη (swim bladder): Πρόκειται για ένα σημαντικό όργανο που έχουν τα περισσότερα είδη. Είναι ένας σάκος που η θέση του έχει σχέση με το κέντρο βάρους του ψαριού και βρίσκεται μπροστά ή πίσω από αυτό. Τα είδη που δεν έχουν νηκτική κύστη, είναι υποχρεωμένα να κινούν συνέχεια τα πτερύγια τους (καρχαρίες, τόνος κ.α.) ή να ζουν μόνιμα στον πυθμένα (όπως είναι οι γλώσσες στην θάλασσα). Η νηκτική κύστη περιέχει αέρα και ο ρόλος της είναι να δίνει τη δυνατότητα στο ψάρι να αλλάζει τον όγκο του, για να ισορροπεί στα διαφορετικά βάθη του νερού και στις διαφορετικές πιέσεις που εξασκούνται, λόγω του διαφορετικού βάθους.

Η σύνθεση του αέρα της νηκτικής κύστης είναι διαφορετική ανάμεσα στα είδη, αλλά ακόμα και σε ψάρια του ίδιου είδους. Αποτελείται από οξυγόνο (3-9%) , διοξείδιο του άνθρακα (1-6%) και άζωτο (58-95%). Τα ποσοστά είναι ενδεικτικά μόνο, για κάποια είδη ψαριών.

Τα ψάρια που έχουν νηκτική κύστη δεν μπορούν να μετακινούνται γρήγορα από την επιφάνεια του νερού σε βαθύτερα στρώματα ή αντίθετα, γιατί χρειάζονται ένα διάστημα μέχρι να προσαρμοστούν στις νέες πιέσεις που συναντούν. Τα είδη που μπορούν να αλλάζουν με ταχύτητα βάθος δεν έχουν νηκτική κύστη ή είναι πολύ μικρή και ισορροπούν με συνεχή κίνηση των πτερυγίων.

Σε κάποια είδη η νηκτική κύστη έρχεται σε επαφή με τον λαβύρινθο του αφτιού, μέσω τριών μικρών οστών, των οσταρίων του Weber. Έτσι, η αίσθηση της ακοής είναι πολύ ανεπτυγμένη και γίνονται αντιληπτοί ακόμα και πολύ μικροί ήχοι, όπως συμβαίνει με τους μονομάχους (*Betta sp.*). Για τα ψάρια αυτά θα μιλήσουμε πιο αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο που αναφέρεται στην ακοή των ψαριών. Η νηκτική κύστη συνδέεται επίσης, με τα εσωτερικά όργανα πέψης των ψαριών με την βοήθεια ενός αγωγού που ονομάζεται πνευμονοαγωγός ή πνευματικός σωλήνας (*Ductus pneumaticus*), (Εικόνα 3.1.4).



Εικόνα 3.1.4: Τα οστάρια του Weber, η νηκτική κύστη και ο πνευματικός αγωγός στα ψάρια.

Κάποια είδη ψαριών (πχ. τα *Corydoras*), επειδή έχουν μικρή νηκτική κύστη χρησιμοποιούν το έντερό τους και τον πνευμονοαγωγό για την πλευστότητά τους, γι' αυτό και τα βλέπουμε πολύ συχνά να κατευθύνονται στην επιφάνεια όπου “καταπίνουν” αέρα για να τον αποθηκεύσουν στο έντερό τους.

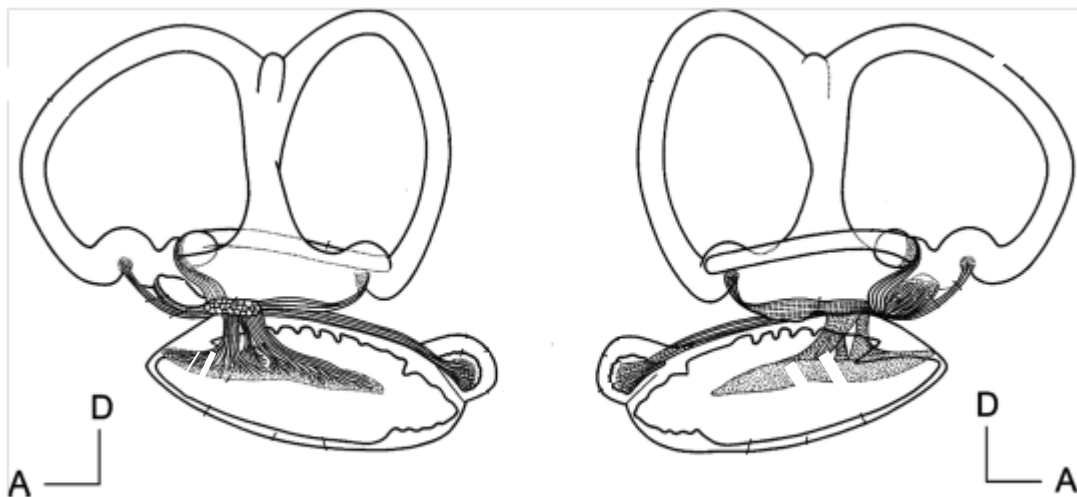
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΑΚΟΗ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ψάρια έχουν αναπτύξει ένα ευρύ φάσμα των αισθητήριων συστημάτων τους και των αποκρίσεων συμπεριφοράς τους, με τα οποία αντιλαμβάνονται και ανταποκρίνονται στο περιβάλλον τους.

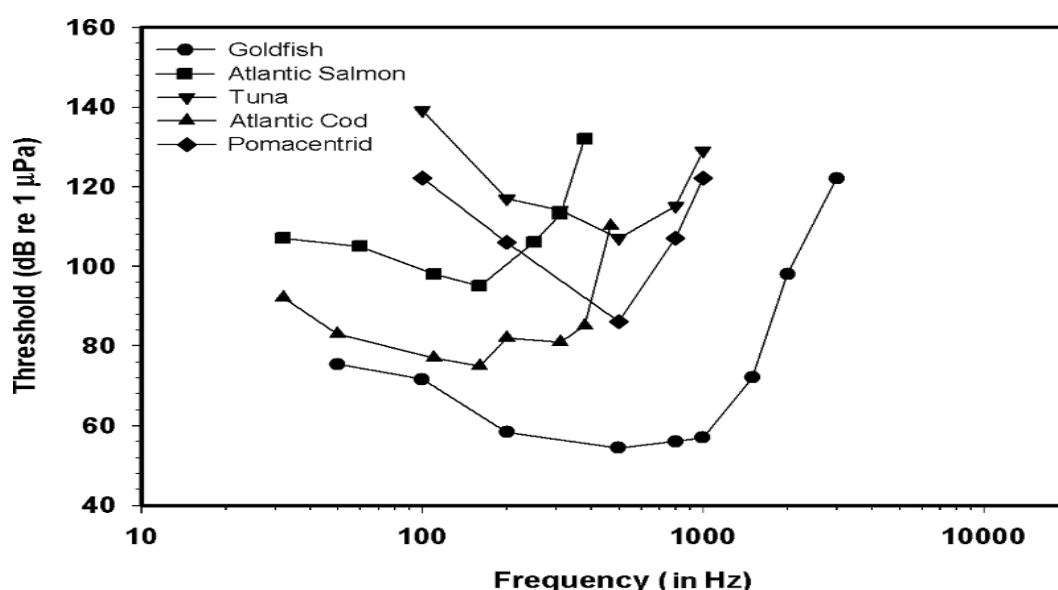
Ο μηχανισμός του αισθητηριακού συστήματος των ψαριών περιλαμβάνει:

- Την ακοή των διακυμάνσεων της ηχητικής πίεσης μέσω του έσω αφτιού.
- Τον προσανατολισμό και την αίσθηση της κίνησης του σώματος (το αιθουσαίο αισθητικό σύστημα), που γίνεται με τη μεσολάβηση του έσω αφτιού, (Εικ. 4.1.1).
- Την ανίχνευση της υδρομηχανικής διέγερσης κοντά στα ψάρια, που επιτυγχάνεται από την πλευρική γραμμή. Το σύστημα της πλευρικής γραμμής αποτελείται από μια σειρά νευρώνων που βρίσκονται μέσα σε πορώδη οστεϊκά κανάλια και στο επιθήλιο του κεφαλιού, τον κορμό, και την ουρά (Popper και Schilt, 2008).



Εικόνα 4.1.1: Έσω αφτί ψαριού. Εσωτερική όψη στα αριστερά και πλάγια όψη στα δεξιά. (Ladich και Popper, 2004).

Τα ψάρια έχουν την ικανότητα όχι μόνο να ακούνε αλλά και να διαχωρίζουν μεταξύ τους τα σήματα, καθώς και να προσδιορίζουν την κατεύθυνση της ηχητικής πηγής έχοντας έτσι την αίσθηση του περιβάλλοντος που ζουν. Μετρήσεις ακουστικής ευαισθησίας έχουν δείξει ότι τα περισσότερα είδη ψαριών ακούνε πάνω από ένα σχετικά στενό φάσμα συχνοτήτων (βλ. Σχήμα 4.1.1). Αυτό κυμαίνεται από 50 Hz και κάτω, μέχρι 1500 Hz. Η ευαισθησία σε αυτές τις συχνότητες δεν είναι πάντα πολύ καλή και υπάρχει σημαντική διακύμανση της ακουστικής ευαισθησίας σε διαφορετικά είδη.



Σχήμα 4.1.1: Κατώτερα όρια ακοής από μία συγκεκριμένη ομάδα τελεοστικών ψαριών.

Όπως επισημαίνεται από τους Ladich και Popper (2004), δεν υπάρχει κανένας σαφής συσχετισμός μεταξύ της ταξινομικής θέσης των ειδών και των ικανοτήτων ακοής. Επίσης, λίγα είναι γνωστά για τις ικανότητες ακοής σε διαφορετικά είδη, ώστε να είναι δυνατή η συσχέτιση των ικανοτήτων ακοής, σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

Επιπλέον, υπάρχουν σημαντικές διαφορές στη δομή του αφτιού και στις ικανότητες ακοής μέσα σε κάποιες ομάδες τάξεων. Για παράδειγμα, οι Coombs και Popper (1979) έδειξαν ότι δύο διαφορετικά γένη της οικογένειας Holocentridae (squirrelfishes), είχαν πολλές διαφορές στη δομή του αφτιού και στις ικανότητες ακοής παρόλο που τα δύο είδη συμβίωναν και χρησιμοποιούσαν παρόμοιους ήχους

για την επικοινωνία. Κατά συνέπεια, χωρίς επαρκή στοιχεία, δεν είναι ρεαλιστικό να γενικεύονται οι ικανότητες ακοής ακόμη και μεταξύ συγγενών τάξεων.

Παρόλα αυτά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1.1, υπάρχουν κάποια είδη, που αναφέρονται ως "ειδικοί" στην ακοή- σε αντίθεση με τους "γενικούς"- που είναι σε θέση να ανιχνεύσουν ήχους άνω των 3.000 Hz. Επιπλέον, ακόμη και στις χαμηλότερες συχνότητες όπου και οι δύο τύποι ψαριών μπορούν να ακούσουν, οι ειδικοί μπορούν να εντοπίσουν χαμηλότερης έντασης ήχους από ό,τι οι γενικοί. Έτσι, οι ειδικοί μπορούν να ακούν καλύτερα στο εύρος συχνοτήτων που μοιράζονται με τους γενικούς και επιπλέον, μπορούν να ακούν πάνω από ένα ευρύτερο φάσμα συχνοτήτων (Popper και Schilt, 2008).

4.2 Η ΑΚΟΗ ΤΩΝ “ΕΙΔΙΚΩΝ” ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΟΗ ΤΩΝ “ΓΕΝΙΚΩΝ”

Οι ειδικοί στην ακοή, οι οποίοι αποτελούνται από ποικίλα είδη όπως τα otophysans (χρυσόψαρα, γατόψαρα) και τα mormyrids (elephantfishes), έχουν εξιδικευμένες δομές περιφερειακά του αφτιού, όπου μηχανικά συνδέεται η κίνηση της νηκτικής κύστης (ή άλλη φυσαλίδα αέρα) - η οποία δονείται ανταποκρινόμενη στη διέγερση της πίεσης- απευθείας στο έσω αφτί. Όταν μια φυσαλίδα αέρα διαστέλλεται και συστέλλεται, ανταποκρινόμενη σε σήματα πίεσης πολύ περισσότερο από ό,τι το νερό ή ο ιστός των ψαριών, η φυσαλίδα του αέρα μετατρέπει την πίεση σε κίνηση και έτσι διεγείρει τα ακουστικά όργανα στο βάθος του έσω αφτιού. Αυτή η κίνηση στους ειδικούς συνδέεται απευθείας στο αφτί με ελάχιστη απώλεια ενέργειας. Αντίθετα, στους γενικούς, που έχουν νηκτική κύστη, δεν υπάρχει σύζευξη μεταξύ της φυσαλίδας του αέρα και του αφτιού. Έτσι, φτάνει πολύ λιγότερη πίεση, δημιουργούμενη από την κίνηση της νηκτικής κύστης, στο αφτί από ότι στην περίπτωση των ειδικών (Popper και Schilt, 2008).

Η πιο γνωστή ιδιαιτερότητα των ειδικών στην ακοή ψαριών είναι τα Οστάρια του Weber, (βλ. Εικόνα 3.1.4). Τα ψάρια αυτά ονομάζονται otophysans και αντιπροσωπεύουν περίπου το 27% των γνωστών ειδών των ψαριών στον κόσμο και περίπου το 64% των ειδών του γλυκού νερού. Αυτή η σειρά οστών, που προέρχονται από μέρη της σπονδυλικής στήλης, συνδέει απευθείας την νηκτική κύστη με τα υγρά του έσω αφτιού κι έτσι συνδέονται οι κινήσεις της νηκτικής κύστης με το αφτί. Άλλα

είδη έχουν πρόσθια προεξοχή από την νηκτική κύστη που τερματίζει κοντά ή βρίσκεται σε απευθείας επαφή με το έσω αφτί, με αποτέλεσμα τη μεταφορά της πίεσης, που προκαλείται από την κίνηση στο αφτί, χωρίς να παρεμβάλλεται κάτι άλλο (Briggs, 2005).

Τέλος, υπάρχουν ψάρια όπως τα mormyrids (ελεφαντόψαρα) και clupeids (ρέγγες, αντσούγιες κ.α.), στα οποία υπάρχει μια επικουρική φυσαλίδα αέρα κοντά ή σε επαφή με το αφτί.

4.3 ΥΠΟΗΧΟΙ ΚΑΙ ΥΠΕΡΗΧΟΙ

Παρά το γεγονός ότι οι ειδικοί στην ακοή γενικά δεν ακούν πάνω από 3-5 kHz, τελευταίες μελέτες, δείχνουν ότι κάποια ψάρια μίας υποοικογένειας (Alosinae - ρέγγες) μπορούν να ανιχνεύσουν υπέρηχους. Υπάρχουν στοιχεία που δείχνουν ότι η εξελικτική προέλευση της ανίχνευσης υπέρηχων επέτρεψε σ 'αυτά τα ζώα να εντοπίζουν και να αποφεύγουν τα επιθετικά ψάρια. Τέλος, ένας αριθμός ειδών, όπως οι σολομοί *Salmo salar*, τα *Gadus morhua* και τα ευρωπαϊκά χέλια *Anguilla anguilla*, είναι σε θέση να ανιχνεύσουν υπόηχους – κάτω από 20 Hz (Popper και Schilt, 2008). Σε όλες τις περιπτώσεις, ωστόσο, η ανίχνευση υπόηχων γίνεται όταν τα ψάρια είναι σχετικά κοντά στην πηγή του ήχου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΤΑ ΨΑΡΙΑ

5.1 Η ΠΟΙΚΙΛΟΜΟΡΦΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΤΑ ΨΑΡΙΑ

Ο αριθμός των ερευνών σχετικά με την ανάπτυξη του μηχανισμού της παραγωγής του ήχου από τα ψάρια και την εξέλιξή του, δεν ήταν μεγάλος μέχρι την δεκαετία του 1980. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, οι έρευνες αυτές περιελάμβαναν ανεπαρκή στοιχεία όσον αφορά στην παραγωγή του ήχου από τα ψάρια. Δεν περιελάμβαναν πληροφορίες για τον χρόνο της εμφάνισης του, τον ρυθμό ανάπτυξης του, την αλλαγή της παραγωγής ήχου με την ηλικία και τις δυνατότητες των απογόνων τους στην επικοινωνία, μέσω της χρήσης ακουστικών σημάτων.

Ωστόσο, μετά τη δεκαετία του 1980, παρατηρείται εμφανής πρόοδος στη μελέτη των ήχων και των ακουστικών σημάτων στα ψάρια. Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα θέματα αυτά υποστηρίζεται από ένα μεγάλο αριθμό δημοσιεύσεων, αξιολογήσεων και βιβλίων που διατίθενται, για τα αισθητήρια συστήματα και τη συμπεριφορά (Ladich κ.α., 2006). Παρά τα επιτεύγματα στην έρευνα της παραγωγής του ήχου στα ψάρια, τα άλλα ζώα (έντομα, πτηνά και θηλαστικά), έχουν μελετηθεί πολύ πιο διεξοδικά.

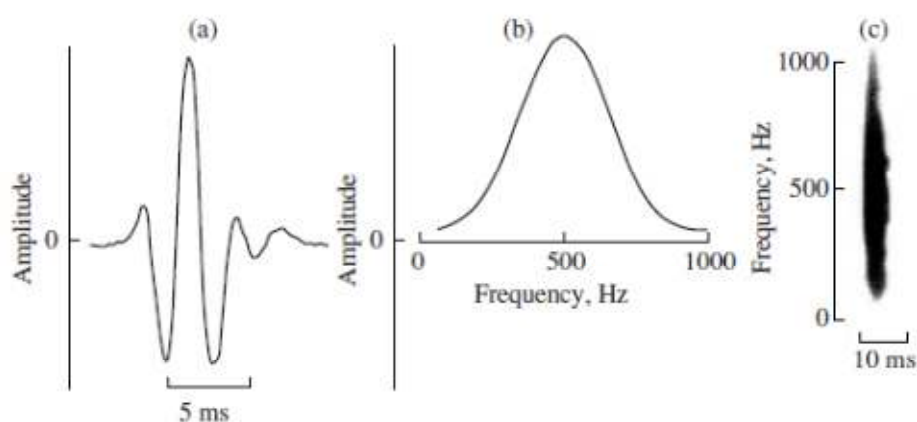
Τα ψάρια παράγουν ήχο που αποτελείται από χαμηλής συχνότητας παλμούς, οι οποίοι ποικίλουν σε διάρκεια, αριθμό και ρυθμό επανάληψης. Η ποικιλία των ήχων που προέρχονται από τα ψάρια δεν είναι τόσο αξιοσημείωτη όσο σε άλλα είδη, όπως τα πουλιά- που μπορούν να παράγουν εκατοντάδες ήχους ανά μέρα- λόγω των φυσικών περιορισμών της παραγωγής του ήχου στο νερό σε σχέση με τον αέρα. Πολύ λίγα είδη ψαριών εκπέμπουν περισσότερο από έναν ή δύο διαφορετικούς ήχους, οι οποίοι έχουν χαμηλό πλάτος και μικρή διαμόρφωση συχνότητας. Γενικά, η ποικιλία των ήχων που παράγουν τα ψάρια σχετίζεται με τις διαφορές στον υποκείμενο μηχανισμό της παραγωγής του και με τις διαφορές μεταξύ ειδών της ίδιας οικογένειας (ενδοοικογενειακές) αλλά ακόμα και εντός ενός είδους (ενδοειδείς διαφορές).

Παρόλο που η ποικιλία των ήχων των ψαριών δεν είναι εμφανής, όπως σε άλλα είδη, παρέχουν επαρκή στοιχεία επικοινωνίας. Η διαφορετικότητα των ήχων που παράγουν τα ψάρια που συνυπάρχουν- του ίδιου ή διαφορετικού είδους- εξυπηρετεί την

ενδογαμία⁴ ως αναπαραγωγική διαδικασία, την επιλογή συντρόφου, την αξιολόγηση των αντιπάλων κατά τη διάρκεια του ανταγωνισμού καθώς και την αναγνώριση της ταυτότητας των ανταγωνιστών (Amorim, 2006).

5.2 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΚΥΡΙΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ

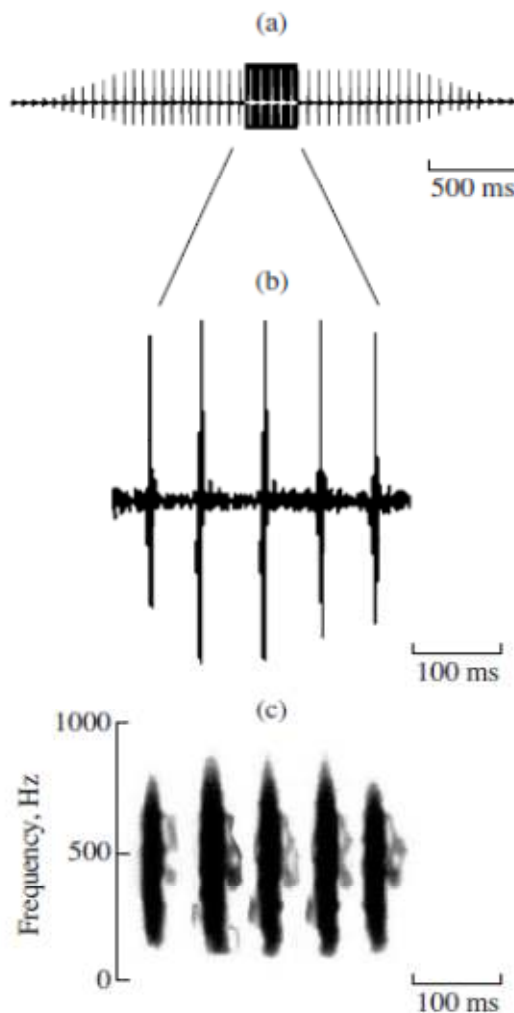
Οι ήχοι των ψαριών αποτελούνται από στοιχειώδεις μονάδες - ηχητικούς παλμούς, που παράγονται λόγω της σύσπασης των ηχητικών μυών ή κατά τη διάρκεια της μετατόπισης των οστών ή άλλων δομών. Επιπλέον, οι ηχητικοί παλμοί μπορούν να εμφανιστούν από άλλες πηγές, σύμφωνα με ένα συγκεκριμένο μηχανισμό παραγωγής ήχου. Κάθε παλμός περιλαμβάνει πολλές κυκλικές διακυμάνσεις του πλάτους του ηχητικού κύματος με μια ξεχωριστή μέγιστη τιμή. Οι παλμοί διαφέρουν στο πλάτος, στη διάρκεια, και στη συχνότητα (Σχήμα 5.2.1).



Σχήμα 5.2.1: (α) Διάγραμμα ταλάντωσης από έναν και μόνο ακουστικό παλμό συμπεριλαμβανομένου τριών παρακείμενων ακουστικών κύκλων της αλλαγής του πλάτους, (β) Συχνοτικό φάσμα του παλμού με βασική συχνότητα 500 Hz, (c) φασματογράφημα.

⁴ Η ενδογαμία σημαίνει ότι άτομα που ανήκουν στην ίδια γενετική γραμμή (*breeding line*), έχουν δηλαδή τους ίδιους προγόνους, αναπαράγονται μεταξύ τους.

Τις περισσότερες φορές, οι εναλλασσόμενοι παλμοί απλών ήχων, αποτελούνται από μια σειρά αρκετών δεκάδων παλμών. Τα χαρακτηριστικά των απλών ήχων είναι τα εξής: η διάρκεια του ήχου, η διάρκεια των σειρών, ο αριθμός των παλμών στον ήχο, η συχνότητα των παλμών και η περίοδος του παλμού (ο χρόνος μεταξύ του μέγιστου πλάτους των παρακείμενων παλμών). Άλλα χαρακτηριστικά του ήχου είναι: μια κυρίαρχη (βασική) συχνότητα, δηλαδή, μια συχνότητα στο μέγιστο πλάτος του ήχου, οι μέγιστες και ελάχιστες ηχητικές συχνότητες και διάφορες άλλες παράμετροι. Ένα σύνηθες χαρακτηριστικό είναι ένα ηχόγραμμα (οι αλλαγές της συχνότητας του ήχου σε σχέση με το χρόνο) (Σχήμα 5.2.2).

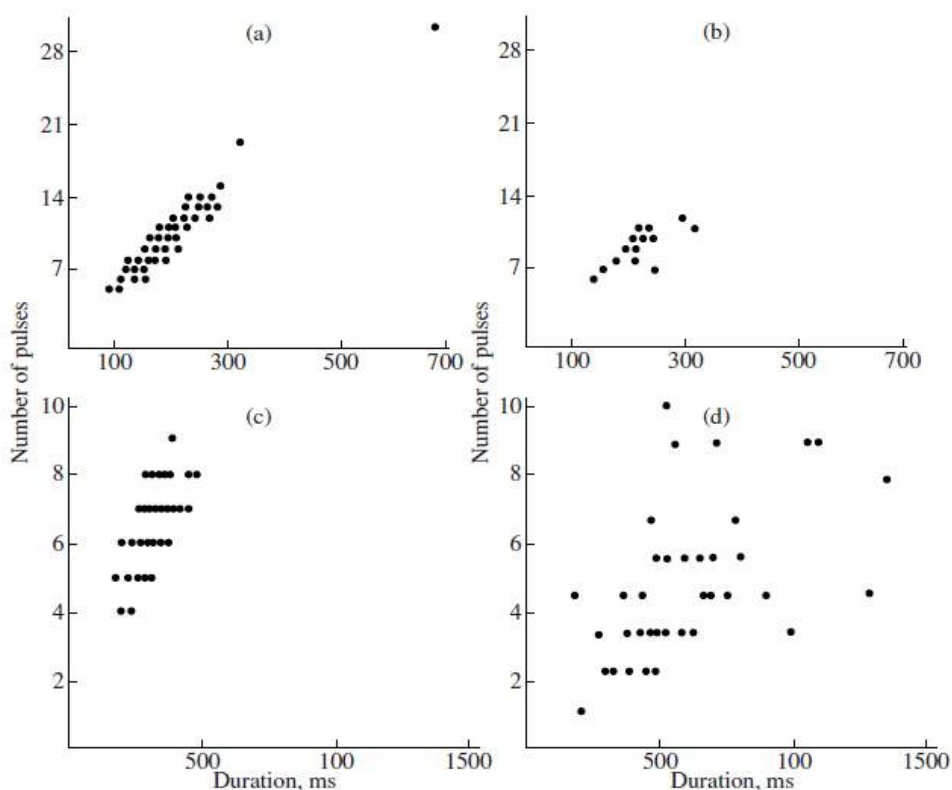


Σχήμα 5.2.2: Ηχόγραμμα, (a) Κυματομορφή ενός απλού ήχου που περιλαμβάνει μια σειρά διακριτών ακουστικών παλμών (b) τμήμα κυματομορφής και (c) φάσμα από έναν απλό ήχο πέντε παλμών.

Το πλάτος, η διάρκεια και η συχνότητα των διακριτών παλμών, καθώς και το διάστημα μεταξύ των παλμών στις σειρές μπορεί να είναι διαφορετικά. Παρά την εμφανή απλή δομή και (στις περισσότερες των περιπτώσεων) τη σύντομη διάρκεια των απλών ήχων, η διάρκειά τους, ο αριθμός και η συχνότητα των παλμών αλλά και οι μέγιστες και ελάχιστες συχνότητες παρουσιάζουν μεγάλες παραλλαγές.

Οι απλοί ήχοι μπορούν να εκπροσωπούνται από απλούς παλμούς αλλά και από ομάδες παλμών. Οι ομάδες παλμών, τις περισσότερες φορές, αποτελούνται από ένα μικρό αριθμό διακριτών παλμών. Στους κρουστικούς ήχους των ψαριών, η παρουσία των διπλών παλμών μερικές φορές θεωρείται ως αποτέλεσμα της ασύγχρονης κίνησης του δεξιού και του αριστερού ηχητικού μυ (Amorim et al. 2004a).

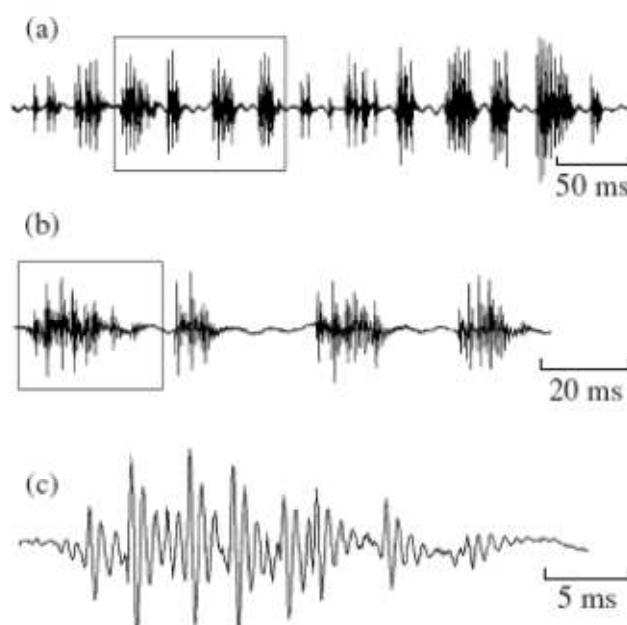
Όσο μεγαλύτεροι είναι οι αριθμοί των παλμών ή των ομάδων παλμών που περιλαμβάνονται στον ήχο, τόσο μεγαλύτερη είναι και η διάρκειά τους (Σχήμα 5.2.3).



Σχήμα 5.2.3: Σχέση μεταξύ της διάρκειας του ήχου και του αριθμού των παλμών (a, b) στους συριστικούς ήχους των κιχλίδων και (c, d) στους κρουστικούς ήχους των ψαριών από την οικογένεια Pomacentridae: (a) *Copidachromis conophorous*, (b) *Tramitichromis intermedius*, (c) *Dascyllus albisella* και (d) *Abudefduf sordidus*.

Αυτή η σχέση είναι πολύ έντονη σε πολλά είδη ψαριών και είναι συνηθισμένη για όλους τους τύπους ήχου, περισσότερο, για τους συριστικούς και τους κρουστικούς ήχους (Kasumyan, 2008).

Οι απλοί ήχοι που αντιπροσωπεύουν σειρά παλμών μπορούν να είναι μονοί ή μπορούν να παράγονται σε σειρές. Για να χαρακτηρισθούν οι τελευταίοι ήχοι, χρησιμοποιούνται πολλές παράμετροι, όπως: ο αριθμός και η διάρκεια των απλών ήχων στη σειρά και η διάρκεια των διαστημάτων μεταξύ των απλών ήχων. Στις σειρές, οι απλοί ήχοι, τις περισσότερες φορές, είναι παρόμοιοι, αλλά μπορούν να διαφέρουν στον αριθμό και το πλάτος (Σχήμα 5.2.4), (Pruzsinszky και Ladich, 1998).



Σχήμα 5.2.4: (a) Κυματομορφή του ήχου που παράγεται από το αρσενικό του *Corydoras paleatus*, κατά τη διάρκεια της ερωτοτροπίας και συμπεριλαμβάνει μια σειρά απλών ήχων, (b) ένα τμήμα της κυματομορφής με τέσσερις επόμενους απλούς ήχους, c) κυματομορφή από το προηγούμενο τμήμα του απλού ήχου.

Οι απλοί ήχοι με ένα στενό διαπασών των συχνοτήτων ανήκουν στους λεγόμενους τονικούς ήχους. Είναι συγκριτικά παρατεταμένοι και συμπεριλαμβάνουν και αρμονικές συνιστώσες. Στους τονικούς ήχους, οι συχνότητες αυτές είναι

πολλαπλάσια της βασικής συχνότητας. Στους κρουστικούς ήχους, η βασική συχνότητα αντιστοιχεί με τη συχνότητα σύσπασης των ηχητικών μυών. Οι απλοί ηχητικοί παλμοί είναι μικρότεροι και έχουν ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Οι απλοί τονικοί και παλμικοί ήχοι μπορούν να παραχθούν από τον ίδιο μηχανισμό παραγωγής, π.χ. τον κρουστικό.

Τα ψάρια παράγουν τόσο απλούς όσο και σύνθετους ήχους. Οι τελευταίοι αντιπροσωπεύουν μια ακολουθία πολλών απλών ήχων, οι οποίοι διαφέρουν στις ακουστικές παραμέτρους τους ή τη φύση της προέλευσης τους. Σε σχέση με τους σύνθετους ήχους, οι απλοί ήχοι μπορεί να διαφέρουν στον αριθμό τους, στην ακολουθία, στο εύρος, στη συχνότητα και στα χρονικά χαρακτηριστικά τους. Οι διαφορές αυτές μπορούν να παρατηρηθούν τόσο στα είδη που δεν έχουν καμία συγγένεια, όσο και σε στενά συναφή είδη.

5.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΧΟΥ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ

Τα ψάρια έχουν διαφορετικά όργανα και μηχανισμούς για την παραγωγή του ήχου σε σχέση με τα άλλα σπονδυλωτά ζώα, τα οποία εκπέμπουν ήχους από εξειδικευμένες δομές του λάρυγγα και της ευσταχιανής σάλπιγγας⁵. Τα όργανα της παραγωγής ήχου στα ψάρια δεν χαρακτηρίζονται από τόσο υψηλή εξειδίκευση. Πολλά ψάρια παράγουν ήχους με έναν τρόπο και άλλα χρησιμοποιούν διάφορους μηχανισμούς παραγωγής ήχου ταυτόχρονα. Για παράδειγμα, τα ψάρια που ανήκουν στις οικογένειες Pimelodidae, Ariidae, Doradidae, και Mochokidae παράγουν και συριστικούς ήχους και κρουστικούς (Kasumyan, 2008).

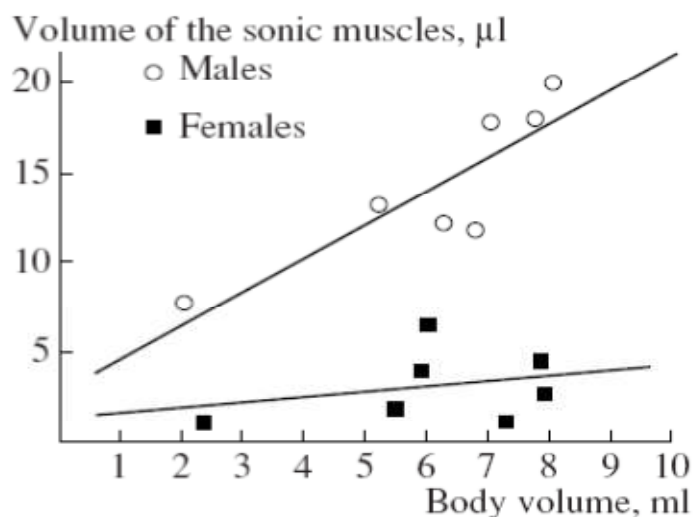
Όπως αναφέρουν οι Bass και Ladich (2008), φαίνεται ότι ο αριθμός των ειδών που είναι γνωστό ότι παράγουν ήχους και επικοινωνούν ηχητικά έχει αυξηθεί σταθερά κατά τη διάρκεια των ετών. Προτείνουν ένα σύστημα ταξινόμησης του μηχανισμού παραγωγής ήχου στα ψάρια, το οποίο βασίζεται σε ανατομικές δομές, που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την παραγωγή ήχου και επικοινωνίας.

⁵ Η ευσταχιανή σάλπιγγα είναι ένας πόρος (σωλήνας), με τον οποίο επικοινωνεί το έσω αυτί με το ρινοφάρυγγα.

Η κύρια ομάδα του μηχανισμού παραγωγής ήχου αποτελείται από τον μηχανισμό της νηκτικής κύστης, με πολυάριθμες μορφολογικές διαφοροποιήσεις, που περιλαμβάνουν τους εσωτερικούς παλλόμενους μυς, οι οποίοι βρίσκονται στα τοιχώματα της νηκτικής κύστης και τους εξωτερικούς μυς, που βρίσκονται σε άλλα όργανα, όπως το κρανίο, τα πλευρά και τους σπονδύλους. Η δεύτερη μεγάλη ομάδα μηχανισμού παραγωγής ήχου περιλαμβάνει κινήσεις από τη θωρακική ζώνη και τα θωρακικά ακτινοπτερύγια. Έχει, επίσης, διαπιστωθεί ότι η επαφή των φαρυγγικών δοντιών έχει σαν αποτελέσματα την παραγωγή ήχου σε πολλά είδη.

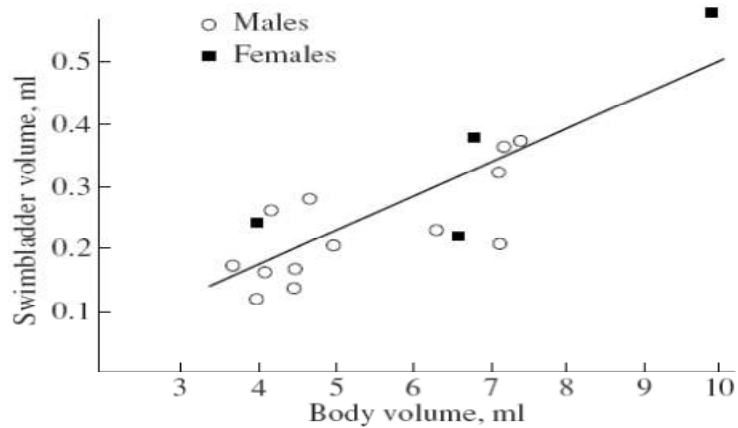
Λόγω της αύξησης της ηλικίας των ψαριών, αυξάνεται, πολλές φορές, ο αριθμός των μυϊκών ινών και η διάμετρός τους, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το βάρος και το πάχος των ηχητικών μυών. Επίσης, αυξάνεται με την ηλικία το απόλυτο μέγεθος της νηκτικής κύστης. Στα μεγάλα σε ηλικία ψάρια, εμφανίζονται νέα μυϊκά κύτταρα μικρότερης διαμέτρου, λόγω της διαίρεσης των παλιών μεγάλων κυττάρων (Kasumyan, 2008).

Στα ψάρια με φυλετικό διμορφισμό του μεγέθους των ηχητικών μυών, οι μύες αυτοί μεγαλώνουν πολύ ταχύτερα στα αρσενικά από ό,τι στα θηλυκά (Σχήμα 5.3.1.), (Crawford και Huang, 1999).



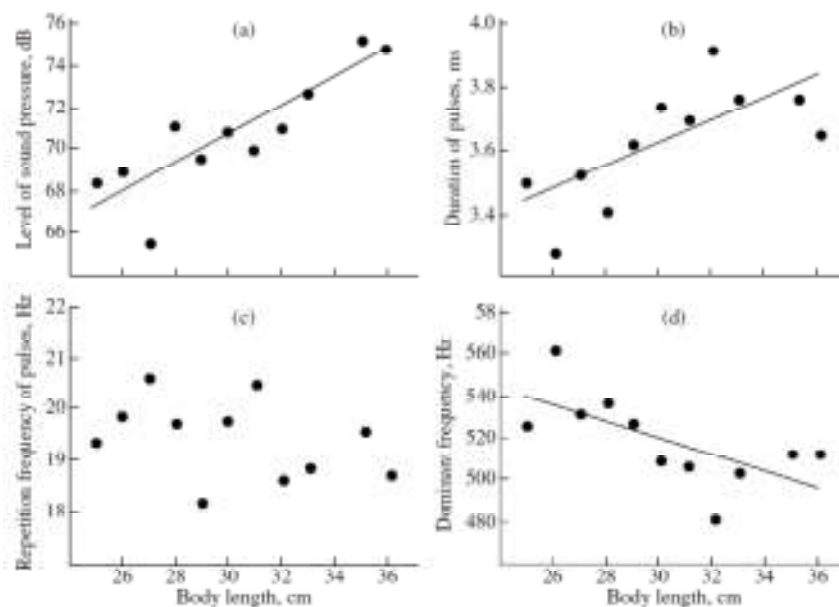
Σχήμα 5.3.1: Αύξηση του όγκου των ηχητικών μυών σε σχέση με τον όγκο του σώματος των θηλυκών και αρσενικών του *Pollimyrus adspersus* (Crawford και Huang, 1999).

Επίσης, η συχνότητα του ήχου μειώνεται σημαντικά με την αύξηση του μεγέθους του σώματος και την αύξηση της ηλικίας, κάτι που μπορεί να συνδέεται με την αύξηση του μεγέθους της νηκτικής κύστης (Σχήμα 5.3.2).



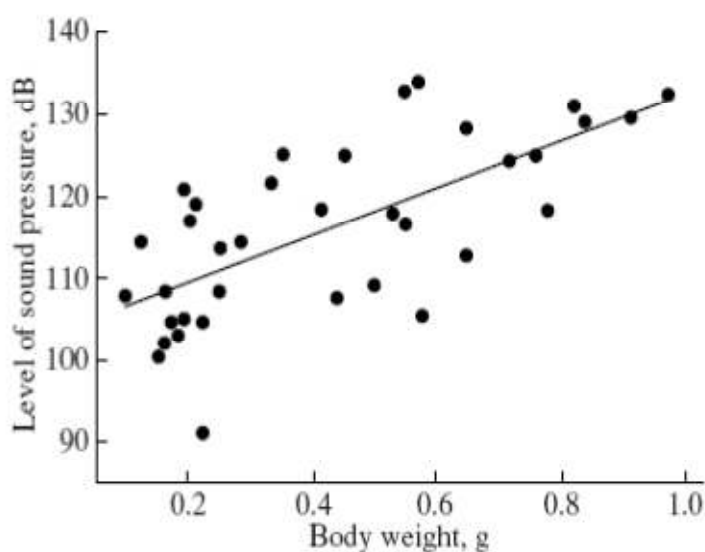
Σχήμα 5.3.2: Σχέση μεταξύ του όγκου της νηκτικής κύστης και του όγκου σώματος στα θηλυκά και αρσενικά του *Pollimyrus adspersus* (Crawford και Huang, 1999).

Η μείωση της συχνότητας του ήχου συνεχίζεται, κατά πάσα πιθανότητα, κατά τη διάρκεια ολόκληρης της περιόδου ανάπτυξης των ψαριών (Σχήμα 5.3.3).



Σχήμα 5.3.3: Επίδραση του μεγέθους του σώματος στα ψάρια σε σχέση με (a) το επίπεδο της ηχητικής πίεσης, (b) τη διάρκεια των παλμών, (c) την παλμική επανάληψη συχνότητας και (d) την κυρίαρχη συχνότητα των κρουστικών ήχων, κατά τη διάρκεια άγχους στα αρσενικά των «weakfish», *Cynoscion regalis* (Connaughton et al., 2000).

Η μείωση της συχνότητας του ήχου οδηγεί στην αύξηση της διάρκειας των διακριτών παλμών. Ωστόσο, η συχνότητα επανάληψης των παλμών παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των ψαριών (Connaughton et al., 2000). Στα μεγαλύτερα σε μέγεθος ψάρια, η διάρκεια των παλμών και ο αριθμός τους αυξάνονται, με αποτέλεσμα την αύξηση της διάρκειας του ήχου (Amorim και Hawkins, 2005). Για τονικούς ήχους, δεν έχει αναφερθεί σύνδεση μεταξύ του μεγέθους των ψαριών και της συχνότητας του ήχου (Ladich, 1997). Τέλος, οι ήχοι που παράγονται από τα ψάρια γίνονται πιο δυνατοί με την αύξηση του μεγέθους τους, (Σχήμα 5.3.4).



Σχήμα 5.3.4: Επίδραση του σωματικού βάρους στο επίπεδο της ηχητικής πίεσης (dB σε σχέση με το 1 μPa) του συριστικού ήχου από το *Trichopsis vittatus* (Wysocki and Ladich, 2001).

5.3.1 Μηχανισμός Παραγωγής Συριστικών Ήχων

Οι μηχανισμοί παραγωγής συριστικών ήχων είναι παρόμοιοι σε ψάρια και έντομα. Σχεδόν όλα τα ψάρια παράγουν συριστικούς ήχους, οι οποίοι εκπέμπονται από το τρίψιμο των δοντιών, τα οστά του κρανίου, τον μηχανισμό της γνάθου, τον βραγχιακό μηχανισμό, τα ακτινοπτερύγια και τους σπονδύλους. Οι εκπρόσωποι των Siluriformes, Haemulidae, Centrarchidae, Cichlidae, Theraponida και άλλα είδη ψαριών (Kasumyan, 2008) παράγουν ξεχωριστούς συριστικούς ήχους.

Δόντια: Η τριβή των δοντιών οδηγεί στην εμφάνιση ήχων κατά τη διάρκεια της σίτισης και κατά την επεξεργασία (μάσηση) και την κίνησή τους προς το φάρυγγα των τροφίμων. Οι συριστικοί ήχοι μπορούν να παραχθούν από την πλειοψηφία των ψαριών, ειδικά αν το θήραμά τους είναι σχετικά μεγάλο και πρέπει να τεμαχιστεί κατά τη διάρκεια της σίτισης. Αυτοί οι ήχοι εμφανίζονται αυτόματα, και, κατά συνέπεια, ανήκουν στους ήχους που δεν διαφοροποιούνται.

Τα ψάρια που έχουν γερά δόντια και τρέφονται με ζώα που έχουν σκληρό κέλυφος, εκπέμπουν ιδιαίτερα δυνατούς ήχους. Οι ήχοι που παράγουν τα είδη της οικογένειας Sparidae, που τρέφονται με οστρακοειδή, μαλάκια και εχινόδερμα, καθώς και τα Tetradontiformes, Balistidae και Monacanthidae, είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακοί, λόγω της μεγάλης τους έντασης.

Η κύρια λειτουργία της φαρυγγικής σιαγόνας είναι η καταστροφή και η συντριβή των τροφίμων. Η πυκνότητα της κατανομής των δοντιών στην φαρυγγική σιαγόνα, κατά πάσα πιθανότητα, δεν συνδέεται με τη δυνατότητα να εκπέμπουν ήχους. Παρ' όλα αυτά, τα ανατομικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά της, έχουν συνέπειες στις ακουστικές παραμέτρους του ήχου (Kasumyan, 2008).

Όπως διαπιστώθηκε, οι ήχοι γίνονται ισχυρότεροι λόγω της ύπαρξης της νηκτικής κύστης, η οποία λειτουργεί σαν ένας συνηχητής και δεν βρίσκεται πολύ μακριά από την φαρυγγική σιαγόνα (Rise και Lobel, 2002).

Οστά του κρανίου: Έχουν γίνει λίγες αναφορές στην παραγωγή του ήχου ως αποτέλεσμα του τριψίματος των οστών του κρανίου. Αυτός ο τρόπος παραγωγής ήχου έχει παρατηρηθεί στους Ιππόκαμπους, οι οποίοι παράγουν ήχους κατά τη διάρκεια της ανταγωνιστικής διάθεσης των δύο ασύζευκτων οστών του κρανίου.

Ακτινοπερύγια: Οι συριστικοί ήχοι που παράγονται από τα ακτινοπερύγια παρατηρούνται συχνότερα στους εκπροσώπους των Siluriformes (γατόψαρα), μια πολυάριθμη ομάδα που περιλαμβάνει σχεδόν το 10% όλων των σημερινών ψαριών (πάνω από 2.400 είδη). Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η πρώτη ακτίνα των θωρακικών πτερυγίων χρησιμοποιείται για την παραγωγή ήχου.

Είναι ενδιαφέρον το γεγονός ότι η παραγωγή των συριστικών ήχων σε διαφορετικούς αντιπροσώπους της τάξης των Siluriformes, με ένα μεγάλο αριθμό ειδών, είναι συνδεδεμένη με τις κινήσεις του πτερυγίου τους σε διάφορες κατευθύνσεις.

Συριστικοί ήχοι: Οι συριστικοί ήχοι είναι μη αρμονικά σήματα με ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, από 100 Hz έως και 8-12 kHz. Το διαπασών, όπου τα πλάτη των ήχων είναι τα υψηλότερα, περιορίζεται στα 1-2 kHz. Η διάρκεια των συριστικών ήχων είναι μεταβλητή. Αυτοί οι ήχοι είναι παρόμοιοι με τρίξιμο, τσίρισμα, ρουθούνισμα κλπ. Η ένταση του ήχου μειώνεται κατά τη διάρκεια της σύσπασης της νηκτικής κύστης, αλλά οι συχνότητες των ήχων παραμένουν ίδιες (Tavolga 1971, Ladich και Yan 1998).

5.3.2 Κρουστικός Μηχανισμός παραγωγής ήχου

Ο κρουστικός μηχανισμός παραγωγής ήχου είναι στην πραγματικότητα ένα σύμπλεγμα, που περιλαμβάνει τους ηχητικούς μύες και τη νηκτική κύστη. Η σύσπαση και χαλάρωση των ηχητικών μυών με υψηλές συχνότητες, οδηγεί σε γρήγορες αλλαγές του όγκου της νηκτικής κύστης, δηλαδή, στους κραδασμούς των τοιχωμάτων της, που προκαλούν την παραγωγή του ήχου. Όλα τα ψάρια που διαθέτουν ηχητικούς μύες - a priori - ανήκουν στους ειδικούς στην ακοή (Kasumyan, 2008).

Το κρουστικό σύστημα παραγωγής ήχου είναι εξαιρετικά μεταβλητό στη δομή του. Μπορεί να αποδειχθεί με τους εκπροσώπους της οικογένειας Sciaenidae. Πολλά ψάρια αυτής της οικογένειας διαφέρουν ως προς το βαθμό ανάπτυξης των ηχητικών μυών. Σε ορισμένα είδη οι ηχητικοί μύες συναντώνται μόνο στα αρσενικά, σε άλλα είδη τόσο στα αρσενικά όσο και στα θηλυκά και σε αρκετά είδη, οι μύες αυτοί απουσιάζουν από τα ψάρια και των δύο φύλων. Οι εκπρόσωποι της οικογένειας Sciaenidae διαφέρουν μεταξύ τους, όσον αφορά το σχήμα και το μέγεθος της νηκτικής κύστης: αν και είναι ανεπτυγμένη στην πλειοψηφία των ειδών, σε αρκετά είδη είναι ατροφική ή δεν υπάρχει καθόλου. Οι εκπρόσωποι των ειδών αυτών δεν παράγουν ήχους (Ramcharitar et al., 2006). Σε αρκετά είδη της οικογένειας Sciaenidae, ο ήχος παράγεται λόγω κραδασμών του περιτοναίου και δεν συνδέεται με δονήσεις της νηκτικής κύστης (Kasumyan, 2008).

Ένας ιδιαίτερος μηχανισμός παραγωγής ήχου συναντάται σε κάποια είδη της οικογένειας Cottidae. Τα είδη αυτά διαφέρουν από άλλα ψάρια που διαθέτουν ηχητικούς μύες, γιατί απουσιάζει η νηκτική κύστη. Παρά το γεγονός αυτό, τα ψάρια

αυτού του είδους είναι σε θέση να παράγουν ήχους. Ο ήχος εκπέμπεται λόγω δονήσεων στα οστά της θωρακικής ζώνης.

Το κρουστικό σύστημα παραγωγής ήχου στα ψάρια λειτουργεί πολύ αποτελεσματικά. Λόγω των φυσικών ιδιοτήτων του νερού (υψηλή ελαστικότητα), η παραγωγή του ήχου συνδέεται με μεγάλη εκπομπή ενέργειας. Πολλά ψάρια παράγουν πολύ δυνατούς κρουστικούς ήχους, οι οποίοι μπορούν να γίνουν αντιληπτοί ακόμη και πάνω από την επιφάνεια του νερού. Η παρουσία των ηχητικών μυών δεν σχετίζεται με την ταξινόμηση των ψαριών: μπορούν να βρεθούν σε ψάρια με διαφορετική εξελικτική προέλευση, καθώς και σε συναφή είδη.

Ηχητικοί μύες: Οι ηχητικοί μύες διαχωρίζονται στους ενδογενείς και εξωγενείς μύες, ανάλογα με το που βρίσκονται (Kasumyan, 2008). Οι ενδογενείς ηχητικοί μύες βρίσκονται μέσα στα τοιχώματα της νηκτικής κύστης. Οι εξωγενείς ηχητικοί μύες ακουμπούν στο τοίχωμα της νηκτικής κύστης, άμεσα ή έμμεσα με τα άκρα τους. Τα περιφερικά άκρα των εξωγενών μυών συνδέονται με μια δομή παρακείμενη με την νηκτική κύστη. Εάν οι εξωγενείς μύες συνδέονται απευθείας στα τοιχώματα της νηκτικής κύστης, ανήκουν στους μύες του άμεσου τύπου. Εάν η σύνδεση τους με την νηκτική κύστη γίνεται μέσω των οστών του άξονα του σκελετού (σύνδεση νηκτικής κύστης μέσω των συνδέσμων), οι ηχητικοί μύες ανήκουν στους μύες του έμμεσου τύπου. Η εξέλιξη των εξωγενών ηχητικών μυών έχει οδηγήσει στην εμφάνιση των ενδογενών ηχητικών μυών. Λόγω του μικρού μήκους των τελευταίων, έχουν χαμηλή αδράνεια και είναι σε θέση να συσπώνονται με υψηλή συχνότητα. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι, τα ψάρια που ανήκουν στην ίδια οικογένεια δεν έχουν παρόμοια δομή ηχητικών μυών.

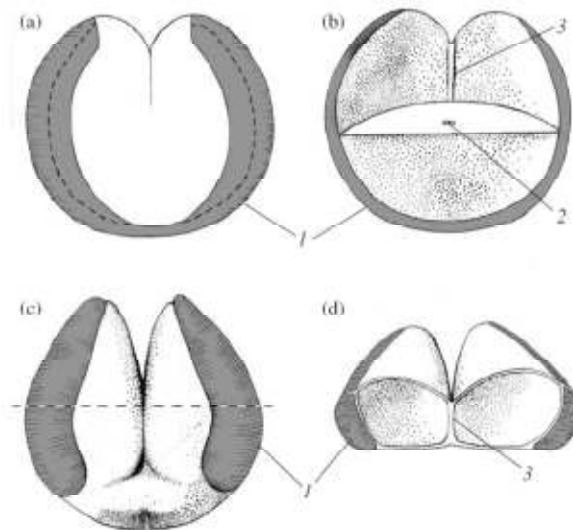
Και οι δυο ηχητικοί μύες (αριστερός και δεξιός) συστέλλονται συγχρόνως, σχεδόν σε όλα τα είδη ψαριών που έχουν μελετηθεί και που ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες τάξεων. Στην περίπτωση των τονικών ήχων και της σύγχρονης λειτουργίας των ηχητικών μυών, η θεμελιώδης συχνότητα ισούται με την συχνότητα συστολής των μυών. Όταν ο αριστερός και δεξιός μυς συστέλλονται ανεξάρτητα μεταξύ τους, η μέση συχνότητα των συστολών είναι ίδια και για τους δυο μύες, με αποτέλεσμα η θεμελιώδης συχνότητα του ήχου να είναι διπλάσια από τη συχνότητα της συστολής του κάθε μυ π.χ., αν ο κάθε μυς συστέλλεται με συχνότητα 100 Hz, η συχνότητα του ήχου είναι 200 Hz.

Νηκτική κύστη: Η νηκτική κύστη είναι μια πολυλειτουργική δομή. Διαθέτει μια άμεση σχέση με την παραγωγή του ήχου, τη ρύθμιση της πλευστότητας, την αναπνοή και την ακοή. Η νηκτική κύστη μπορεί να είναι συγκριτικά μεγάλη σε σχέση με τον όγκο του σώματος και το μέγεθός της είναι παρόμοιο σε αρσενικά και θηλυκά. Παρά τις σημαντικές διαφορές μεταξύ των φύλων ως προς το βαθμό της ανάπτυξης των ηχητικών μυών (περισσότερο ανεπτυγμένοι στα αρσενικά), ο σχετικός όγκος της νηκτικής κύστης παραμένει ίδιος κατά την ανάπτυξη των ψαριών (Crawford και Huang 1999), αλλά μεταβάλλεται λόγω των συσπάσεων των ηχητικών μυών. Ειδικότερα, αυξάνεται με την συστολή των εξωγενών ηχητικών μυών και μειώνεται με την συστολή των ενδογενών ηχητικών μυών.

Οι ηχητικοί μύες προκαλούν μια αξιοσημείωτη αλλαγή του όγκου της νηκτικής κύστης, επειδή η πίεση του αέρα στο εσωτερικό της είναι πολύ υψηλότερη από την περιβάλλουσα υδροστατική πίεση. Μετά την χαλάρωση, οι εξωγενείς ηχητικοί μύες επιστρέφουν στην αρχική τους κατάσταση, λόγω της επίδρασης του φαινομένου του ελατηρίου στα πλευρά, στην σπονδυλική στήλη ή σε άλλες δομές, με τις οποίες συνδέονται οι μύες. Οι ενδογενείς ηχητικοί μύες φτάνουν στην αρχική τους κατάσταση λόγω της ελαστικότητας των τοιχωμάτων της νηκτικής κύστης.

Το σχήμα και το μέγεθος της νηκτικής κύστης είναι πολύ διαφορετικά, ακόμη και σε στενά συνδεδεμένα είδη. Σε πολλά είδη ψαριών, η νηκτική κύστη διαθέτει προεξοχές και εσωτερικά διαφράγματα (μεμβράνες), τα οποία την διαχωρίζουν σε διαμερίσματα. Ένα μικρό άνοιγμα, που περιβάλλεται από λείους μύες, βρίσκεται στο κέντρο του κάθε διαφράγματος και ο αέρας στο εσωτερικό της νηκτικής κύστης μπορεί να περνάει από το ένα διαμέρισμα στο άλλο (βλ. Σχήμα 5.3.2.1).

Έχει αναφερθεί (χωρίς να αποδεικνύεται πειραματικά), ότι ο ήχος στα ψάρια με μια τέτοια δομή της νηκτικής κύστης παράγεται κατά τη διάρκεια της μετάβασης του αέρα ανάμεσα στα ανοίγματα, λόγω των συστολών των ηχητικών μυών και των γρήγορων αλλαγών του όγκου της νηκτικής κύστης σε ένα συγκεκριμένο διαμέρισμα. Η γενικότερη παραδοχή είναι ότι ο ήχος που παράγεται, οφείλεται σε δονήσεις (ταλαντώσεις) των τοιχωμάτων της νηκτικής κύστης, που προκαλούνται από τις συσπάσεις των ηχητικών μυών.



Σχήμα 5.3.2.1: Η νηκτική κύστη στους εκπροσώπους της οικογένειας *Batrachoididae*: (a, b) το toadfish *Opsanus tau* : (c, d) το plainfin midshipman *Porichthys notatus*: (a) η θέση και τα όρια των ηχητικών μυών -μια άποψη από το ραχιαίο μέρος (συνεχής γραμμή) και το κοιλιακό μέρος (διακεκομμένη γραμμή), (b) το οριζόντιο τμήμα της νηκτικής κύστης, (c) μια άποψη από το κοιλιακό τμήμα -η διακεκομμένη γραμμή δείχνει την τοποθεσία του εγκάρσιου τμήματος, (d) η διατομή: 1. ηχητικών μυών, 2. διαμήκης διάφραγμα με το άνοιγμα, 3. εγκάρσιο διάφραγμα (Kasumyan, 2008).

Ως ένα ταλαντώμενο σύστημα, η νηκτική κύστη ταλαντώνεται με συχνότητες που συσχετίζονται με το μέγεθός της. Σύμφωνα με έρευνες, ο ήχος αυξάνεται λόγω του συντονισμού που εμφανίζεται όταν η συχνότητα των ταλαντώσεων που προκαλούνται από τους ηχητικούς μύες και η συχνότητα των ταλαντώσεων της νηκτικής κύστης είναι παρόμοιες. Ωστόσο, το συμπέρασμα σχετικά με την λειτουργία της νηκτικής κύστης ως ένα ηχητικό αντηχείο είναι αμφισβητήσιμη (Fine et al., 2001).

Κρουστικοί ήχοι: Οι ήχοι που παράγονται από τους ηχητικούς μύες διαφέρουν από τους υπόλοιπους ήχους των ψαριών επειδή μπορούν να είναι τονικοί: η βασική συχνότητα μπορεί να συνοδεύεται από αρκετές - στενού εύρους - αρμονικές πολλαπλών συχνοτήτων. Η εμφάνιση αυτών των ήχων είναι περισσότερο συνδεδεμένη με περιβαλλοντικούς παράγοντες παρά με ανατομικά ή άλλα χαρακτηριστικά της νηκτικής κύστης. Τα πλάτη των αρμονικών είναι συνήθως χαμηλότερα από αυτά της βασικής συχνότητας, αλλά η μέγιστη ενέργεια του δεύτερου ή του τρίτου αρμονικού μπορεί να είναι υψηλότερη σε σχέση με τη βασική

συχνότητα (Ladich, 1997). Η βασική συχνότητα στον τονικό κρουστικό ήχο είναι χαμηλή, από αρκετές δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες Hertz και εξαρτάται από τη συχνότητα σύσπασης των ηχητικών μυών. Οι κρουστικοί ήχοι συνήθως έχουν βασική συχνότητα έως 300 Hz. Οι συχνότητες των αρμονικών, τις περισσότερες φορές, δεν υπερβαίνουν τα 500-800 Hz και ο αριθμός τους φτάνει τους τρεις, τέσσερις ή παραπάνω.

Στην πλειονότητα των ψαριών, οι κρουστικοί ήχοι περιλαμβάνουν μια σειρά παλμών, που το πλάτος τους σταδιακά αυξάνει, φθάνοντας τη μέγιστη τιμή του (πιο συχνά) στον τέταρτο, πέμπτο, ή έκτο παλμό (Fine et al., 2001). Η διάρκεια των κρουστικών ήχων κυμαίνεται από μερικές δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες χιλιοστά του δευτερολέπτου.

Οι κρουστικοί ήχοι των ψαριών διαφέρουν ως προς την θεμελιώδη συχνότητα, τον αριθμό των παλμών, τον αριθμό των αρμονικών, τη διάρκεια, και το πλάτος. Για τον άνθρωπο, αυτοί οι ήχοι είναι παρόμοιοι με τύμπανα, γρήγορα χτυπήματα από σφυρί, τσίρισμα, ήχο τρυπανιού, σφύριγμα, γουργούρισμα, κόασμα, κλπ. Λόγω του ότι οι κρουστικοί ήχοι είναι δυνατοί, η ικανότητα των ψαριών να παράγουν ήχους είναι γνωστή από την αρχαιότητα και πολλά ψάρια παίρνουν το όνομά τους σύμφωνα με τους ήχους που παράγουν.

5.3.3 Έγχορδος Μηχανισμός παραγωγής ήχου

Αυτός ο σπάνιος μηχανισμός παραγωγής ήχου είναι συνηθισμένος στα ψάρια από την οικογένεια Osphronemidae. Ένας ιδιαίτερος μυς βρίσκεται στη θωρακική ζώνη, του οποίου το πρόσθιο μέρος μεταμορφώνεται σε ένα ζευγάρι μεγάλων τενόντων στα πτερύγια. Μία σύσπαση του μυ, μαζί με άλλους μύες του πτερυγίου, οδηγούν στην κίνησή του. Κατά τη διάρκεια αυτής της κίνησης οι βάσεις των ακτινών μετατοπίζουν τους πλάγιους τένοντες. Λίγο πριν από τη μέγιστη έκταση του πτερυγίου και οι δύο τένοντες μετακινούν τις βάσεις των ακτινών. Οι δονήσεις των τενόντων παράγουν ένα διπλό ευρυζωνικό παλμό.

Κατά τη διάρκεια της παραγωγής έγχορδου ήχου, η συχνότητα κίνησης του πτερυγίου αυξάνεται κατά τρεις φορές και παρατηρούνται δονήσεις του σώματος. Λόγω των

γρήγορων κινήσεων των θωρακικών πτερυγίων, εμφανίζεται μια σειρά από διπλούς παλμούς (Kasumyan, 2008).

5.3.4 Μηχανισμός Σπηλαίωσης

Οι συγκεκριμένοι ήχοι παράγονται κατά τη διάρκεια της σίτισης των ψαριών, καθώς προκαλείται αρνητική πίεση στο εσωτερικό του στόματος, από το απότομο άνοιγμα κατά την αρπαγή (αναρρόφηση) του θηράματος. Μια απότομη πτώση της πίεσης στο εσωτερικό της στοματικής κοιλότητας μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση μικρών φυσαλίδων σπηλαίωσης. Όταν μειώνεται ο όγκος τους σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα παράγεται ένας ηχητικός παλμός. Οι ήχοι που παράγονται με αυτόν τον τρόπο ανήκουν στους αδιαφοροποίητους ήχους.

5.3.5 Υδροδυναμικός Μηχανισμός παραγωγής ήχου

Οι υδροδυναμικοί ήχοι εντοπίστηκαν και προσδιορίστηκαν πριν από τους υπόλοιπους ήχους, κατά τη διάρκεια της συστηματικής διερεύνησης υποβρύχιων θορύβων βιολογικής προέλευσης. Εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της κολύμβησης των ψαριών, κατά την απότομη κίνηση και την αλλαγή κατεύθυνσής τους. Κάποιοι ερευνητές τους αποκαλούν κολυμβητικούς ήχους, επειδή η προέλευσή τους είναι συνδεδεμένη τόσο με την κίνηση των υδάτων που προκαλείται από τα ψάρια, όσο και με την κίνηση των εσωτερικών δομών των ψαριών (Moulton, 1960). Στους υδροδυναμικούς ήχους, η ένταση αυξάνει στις απότομες επιταχύνσεις των ψαριών ή όταν το ψάρι αλλάζει ξαφνικά κατεύθυνση. Τα χαρακτηριστικά του πλάτους και της συχνότητας των υδροδυναμικών ήχων εξαρτώνται από το σχήμα του σώματος των ψαριών, την ταχύτητα και την τροχιά της κίνησής του. Όταν κοπάδια ψαριών κολυμπούν γρήγορα παράγουν έναν ήχο παρόμοιο με ένα ουρλιαχτό, βουητό ή θρόισμα.

5.3.6 Μηχανισμός Συμπίεσης Αέρα

Αυτός ο τρόπος παραγωγής ήχου είναι γνωστός στους εκπροσώπους των ομάδων Clupeidae, Anguillidae, Siluriformes και Cypriniformes. Οι συγκεκριμένοι ήχοι μοιάζουν με κελήδισμα και παράγονται κατά τη μετάβαση του αέρα από τη νηκτική κύστη στο έντερο ή κατά τη διάρκεια της απελευθέρωσης του αέρα από τον πεπτικό σωλήνα στο νερό. Έχουν διερευνηθεί ελάχιστα και τα υπάρχοντα δεδομένα αφορούν κυρίως τους αντιπροσώπους από την οικογένεια Clupeidae. Στα ψάρια από αυτή την οικογένεια (Clupea, Sprattus και Sardina), η νηκτική κύστη διαθέτει διπλή σύνδεση με το εξωτερικό περιβάλλον. Ο αγωγός συμπίεσης του αέρα ξεκινάει από το μπροστινό μέρος της νηκτικής κύστης και ανοίγει στο πυλωρικό μέρος του στομαχιού.

Κάθε ήχος αποτελείται από μια σειρά μερικών δεκάδων ή εκατοντάδων παλμών και η εμφάνισή του συμπίπτει με την κυκλοφορία μίας φυσαλίδας αέρα από το άνοιγμα του οπίσθιου καναλιού της νηκτικής κύστης. Η ακτίνα μίας φυσαλίδας σε ένα ψάρι 20 cm είναι 0,5-1,5 mm. Η διάρκεια του ήχου κυμαίνεται από μερικές δεκάδες ή εκατοντάδες χιλιοστά του δευτερολέπτου σε δέκα και περισσότερα δευτερόλεπτα και η συχνότητα κυμαίνεται από 3 έως 5 kHz.

5.3.7 Αναπνευστικός Μηχανισμός

Οι συγκεκριμένοι ήχοι εμφανίζονται κατά τη διαδικασία της αναπνοής των ψαριών και είναι παρόμοιοι με χειροκροτήματα και χτυπήματα. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων ανήκουν στους αδιαφοροποίητους ήχους, ωστόσο, έχουν καταγραφεί οι δυνατοί ήχοι των *Botia Hora* που παράγονται με αυτόν τον τρόπο, κατά τη διάρκεια ανταγωνιστικών επαφών. Αυτός ο μηχανισμός παραγωγής ήχου των ψαριών έχει διερευνηθεί ελάχιστα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΨΑΡΙΑ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΟΥΝ ΗΧΟΥΣ

6.1 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΕΙΔΩΝ ΤΗΣ ΙΔΙΑΣ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΣ.

Πολλά ψάρια εκπέμπουν ήχους για να ελκύσουν τον σύντροφό τους και να αναπαραχθούν. Για το θηλυκό, που το χαρακτηριστικό του είναι η αναπαραγωγή αυγών, η κρίσιμη επιλογή είναι το να βρει τον κατάλληλο σύντροφο από το ίδιο είδος για να ζευγαρώσει. Τα συγγενικά είδη συχνά μοιάζουν το ένα στο άλλο, όσον αφορά στη μορφολογία τους και όταν η ορατότητα είναι εν μέρει ή τελείως μειωμένη είναι ανεπαίσθητες οι εμφανείς διαφορές τους. Μία από τις πιο ενδιαφέρουσες πτυχές, όταν πρόκειται για την ποικιλία των ήχων των ψαριών, που βρίσκονται μέσα στην ίδια οικογένεια, είναι η δυνατότητα που παρέχουν στα συγγενικά είδη για την προώθηση της αναπαραγωγικής διαδικασίας. Θα αναφερθούν κάποια είδη ψαριών της ίδιας οικογένειας, που εκπέμπουν ήχο, με έμφαση στις ενδοοικογενειακές διαφορές που επιτρέπουν στα είδη να αναγνωρίζονται.

6.2 ΨΑΡΙΑ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

Τα ψάρια του γλυκού νερού χωρίζονται στα *ρεόφιλα* είδη, που ζουν σε τρεχούμενα νερά και στα *λιμνόφιλα* είδη που ζουν σε στάσιμα ή με μικρή ροή νερά. Αυτές οι κατηγορίες διαιρούνται ακόμα στα:

1. Πελαγικά, που ζουν μακριά από τις ακτές και τις όχθες.
2. Βαθυπελαγικά, που ζουν στα ανοιχτά βαθιά νερά.
3. Ψάρια που ζουν μεταξύ βυθού και επιφάνειας.
4. Βενθικά ή ψάρια του βυθού.

6.2.1 Μορμυρίδες (Mormyridae)

Είναι ψάρια του γλυκού νερού, που αποτελούν μια διαφορετική ομάδα των ψαριών της Αφρικής και το χαρακτηριστικό τους είναι η συνεχή παραγωγή ηλεκτρικών σημάτων, τα οποία παίζουν ρόλο στην κοινωνική αλληλεπίδραση και στο χωρικό προσανατολισμό. Μερικά ψάρια αυτής της οικογένειας έχουν χαρακτηριστεί ως έντονα ακουστικά ψάρια (Crawford, 1997), καθώς επικοινωνούν μέσω της παραγωγής ήχου και έχουν ασυνήθιστα “αφτιά”. Κάθε “αφτί” έχει ένα μικρό τύμπανο γεμάτο με αέρα και συνδέεται με μία κύστη (Fletcher and Crawford, 2002).

Επίσης, παρουσιάζουν ένα ασυνήθιστα διαφορετικό ρεπερτόριο των ήχων που παράγουν, καθώς μπορούν να εκπέμπουν μέχρι και πέντε διαφορετικά είδη ήχων. Η παραγωγή ήχων έχει καταγραφεί, σε ανταγωνιστικά και αναπαραγωγικά πλαίσια, σε τέσσερα είδη μορμυρίδων: *Gnathonemus petersii* (Εικόνα 6.2.1.1), *Petrocephalus ballayi*, *Pollimyrus isidori* και *Pollimyrus adspersus* (Crawford et al., 1997, Crawford, 1997a).



Εικόνα 6.2.1.1: *Gnathonemus petersii*

Οι ήχοι που μοιάζουν με σφύριγμα (hoots) και με κρότο (pop) ακούγονται αποκλειστικά στις επιθετικές αλληλεπιδράσεις. Τα σφυρίγματα παράγονται από τα *P. isidori*, *P. ballayi* και *P. adspersus* (Crawford et al., 1997a). Είναι σχετικά σύντομοι ήχοι (περίπου 30 ms), με συχνότητες κάτω από 1 kHz και αποτελούνται από κυματομορφές που είναι σχεδόν ημιτονοειδείς. Οι κρότοι παράγονται από δύο είδη, τα *Pollimyrus* και τα *Gnathonemus petersii* (Crawford et al., 1997a). Αποτελούνται από μια σειρά παλμών που φτάνουν έως 2-3 kHz. Το διάστημα μεταξύ των κρότων είναι περίπου 65 ms στο *P. isidori* (Crawford et al., 1997b).

Οι πιο συχνά ακουστοί ήχοι είναι οι ήχοι ερωτοτροπίας, οι οποίοι αποτελούνται κυρίως από γρυλίσματα, «στεναγμούς» και βρυχηθμούς (grunts, moans, growls). Έχουν μελετηθεί διεξοδικά τα *Pollimyrus* spp. Σε αυτά τα ψάρια, το θηλυκό παράγει ένα ηλεκτρικό σήμα όταν εισέρχεται στο έδαφος του αρσενικού και αυτό είναι ένα αποτελεσματικό ακουστικό κάλεσμα για να ξεκινήσει η ερωτοτροπία από το αρσενικό. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα αρσενικά *P. adspersus* εκπέμπουν μια σταθερή ακολουθία εναλλασσόμενων γρυλισμάτων και στεναγμών, ενώ τα αρσενικά *P. Isidori* παράγουν ένα γρύλισμα που ακολουθείται από μια μικρής διάρκειας σειρά στεναγμών (Crawford et al., 1997b). Το αρσενικό *Pollimyrus adspersus* παράγει ένα βρυχηθμό στο τέλος του γρυλίσματος, όταν το θηλυκό αφήνει την περιοχή του (Crawford, 1997). Οι βρυχηθμοί είναι παλμικοί ήχοι μεταβλητής διάρκειας, έχουν συχνοτικό εύρος από 100 Hz - 2 kHz και ρυθμό επανάληψης παλμών τα 25 rps (παλμοί ανά δευτερόλεπτο).

Μια τυπική ακολουθία των ήχων στο *P. adspersus* αποτελείται από γρυλίσματα 10-15 δευτερολέπτων ακολουθούμενα από συνεχούς βρυχηθμούς διάρκειας 5 δευτερολέπτων και άνω (Crawford, 1997). Τα γρυλίσματα είναι παλμικοί ήχοι με συχνοτικό εύρος μέχρι 3 kHz και διαρκούν περίπου 300 ms, ενώ οι βρυχηθμοί είναι ουσιαστικά σύνθετες τονικές «εκρήξεις» με δύο κύριες αρμονικές. Ο Crawford και η ομάδα του (1997), έδειξαν ότι υπάρχει μια σαφή διάκριση μεταξύ των ήχων που εκπέμπονται κατά τη διάρκεια της ερωτοτροπίας των πιο πάνω συγγενικών ειδών των *Pollimyrus*, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο ήχος μπορεί να λειτουργήσει ως κριτήριο για την επιλογή συντρόφου στα ψάρια.

Τα γρυλίσματα διαφέρουν μεταξύ των *P. adspersus* και των *P. isidori* στο ρυθμό επανάληψης των παλμών (56 ± 3 έναντι 44 ± 4 rps), ενώ στα *P. Isidori* τα γρυλίσματα περιλαμβάνουν επίσης βρυχηθμό σαν συστατικό μεταξύ των παλμών κάτι που δεν συμβαίνει στα *P. adspersus*. Οι βρυχηθμοί, επίσης, διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των ειδών τόσο στην θεμελιώδη συχνότητα ($240 \text{ Hz} \pm 12$ vs $332 \text{ Hz} \pm 34$) όσο και στη διάρκεια ($812 \text{ ms} \pm 495$ έναντι $121 \text{ ms} \pm 35$).

Στον Πίνακα που ακολουθεί (6.2.1.1), παρουσιάζονται τα ψάρια της οικογένειας των Μορμυρίδων, τα οποία είναι γνωστό ότι παράγουν ήχους.

ΓΕΝΟΣ	ΕΙΔΟΣ	ΚΟΙΝΟ ΟΝΟΜΑ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ
Gnathonemus	Petersii	Elephantnose fish	Αφρική
Petrocephalus	Balayi	African electric fish	Αφρική
Pollimyrus	Isidori	Elephant fish	Αφρική
Pollimyrus	Adspersus	Dumb Little Fish	Αφρική

Πίνακας 6.2.1.1: Είδη ψαριών τη οικογένειας Mormyridae που είναι γνωστό ότι παράγουν ήχους.

6.2.2 Κιχλίδες (Cichlidae)

Όσον αφορά στα είδη των κιχλίδων υπάρχουν άφθονες μελέτες στη βιβλιογραφία για την παραγωγή ήχου (Πίνακας 6.2.2.1). Ο Lobel αναθεώρησε πρόσφατα (2001) την ακουστική συμπεριφορά των κιχλίδων και πρότεινε έναν πίνακα των ειδών που παράγουν ήχο.

ΓΕΝΟΣ	ΕΙΔΟΣ	ΚΟΙΝΟ ΟΝΟΜΑ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ
Cichlasoma	Centrarchus	Flier cichlid	Κεντρική Αμερική
Cichlasoma	Nigrofasciatum	Convict cichild	Κεντρική Αμερική
Pterophyllum	sp. scalare	Angelfish	Νότια Αμερική
Haplochromis	burtoni	Burton's mouthbrooder	Αφρική
Hemichromis	bimaculatus	Jewelfish	Αφρική
Herotilapia	multispinosa	Rainbow fish	Κεντρική Αμερική
Simochromis	diagramma	Chromis diagramma	Αφρική
Tropheus	brichardi	Chocolate Moorii	Αφρική
Tropheus	duboisii	Wide Yellow Band	Αφρική
Tropheus	Moorii	Blunthead cichlid	Αφρική

Πίνακας 6.2.2.1: Είδη ψαριών τη οικογένειας Cichlidae που είναι γνωστό ότι παράγουν ήχους.

Οι κιχλίδες εκπέμπουν ήχους συχνά κατά τη διάρκεια της ερωτοτροπίας και κατά τη διάρκεια ανταγωνιστικής αλληλεπίδρασης, που συχνά συνδέεται με την προστασία του γόνου ή με την εδαφική άμυνα (Amorim, 2006). Ανταγωνιστικοί ήχοι μπορούν να

παράγονται και από τα δύο φύλα και σε γενικές γραμμές κατατάσσονται σε 3 κατηγορίες, οι οποίες πιθανότατα συνδέονται με τον μηχανισμό παραγωγής ήχου (βλ. Πίνακα 6.2.2.2).

Μία τυπική κατηγορία ήχου είναι μια σειρά χαμηλής συχνότητας παλμών, συχνά καλούμενη ως βρυχηθμοί (Α στον Πίνακα 6.2.2.2), οι οποίοι έχουν προταθεί (αν και δεν αποδείχθηκε) ότι παράγονται από τον φαρυγγικό μηχανισμό και ενισχύονται έπειτα από την νηκτική κύστη (Rice και Lobel, 2002). Μια άλλη κατηγορία ήχων είναι οι ήχοι που ακούγονται σαν μάσημα (chewing), οι οποίοι είναι συριστικοί, έχουν ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων και μπορούν να ακουστούν όταν τα ψάρια δεν τρώνε αλλά βρίσκονται σε ανταγωνιστική αλληλεπίδραση (Β στον Πίνακα 6.2.2.2). Η τρίτη και λιγότερη συχνή κατηγορία ήχου, (C στον Πίνακα 1), είναι οι ήχοι που παράγονται ως αποτέλεσμα των κινήσεων του σώματος. Κάθε είδος των κιχλίδων είναι σε θέση να εκπέμπει ήχο που υπάγεται σε μια ή δύο από τις τρεις μεγάλες κατηγορίες ήχου. Το εύρος του ακουστικού ρεπερτορίου που συνδέεται με τις ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις είναι συνήθως από ένα ή δύο είδη ήχου, αν και το *Herotilapia multispinosa* εκπέμπει τέσσερα διαφορετικά είδη ήχου (Amorim, 2006).

Δύο από τα είδη που περιλαμβάνονται στον Πίνακα 6.2.2.2 εκπέμπουν ήχους που σχετίζονται με τις κινήσεις του σώματος (τύπου C), ενώ επτά είδη εκπέμπουν ήχους «μασήματος» κατά τη διάρκεια ανταγωνισμού. Γρυλίσματα ακούγονται σε 5 από τα αναφερόμενα είδη και είναι ίσως οι ήχοι που έχουν πιο πολύ ενδιαφέρον από τις κιχλίδες από την άποψη της επικοινωνίας, επειδή συναντώνται και στα πλαίσια του ανταγωνισμού και στα πλαίσια της ερωτοτροπίας, και αποτελούνται από ένα μεταβλητό αριθμό σύντομων παλμών χαμηλής συχνότητας που παράγονται με διαφορετικούς ρυθμούς.

Ο αριθμός των παλμών ανά δευτερόλεπτο ποικίλει από ένα μέσο όρο 8 rps στα *H. Multispinosa* και κατά προσέγγιση 40 rps στα *Hemichromis bimaculatus* (Εικόνα 6.2.2.1). Η διάρκεια του ήχου ποικίλλει σε ένα εύρος από 100 ms (*H. multispinosa*) έως 4 s (*Cichlasoma centrarchus*).

Είδη	Τύπος Ήχου	Ηχητικ. Μηχαν.	Διάρκεια Ήχου	Περίοδος Παλμού	Βασική Συχνότητα (Εύρος Συχνοτήτ.)	Κινητικό Διάγραμμα	Φύλο	Αναφορές
<i>Cichlasoma centrarchus</i>	βρυχηθμοί	A	0.5-4s	-	100-700 Hz (100-1300 Hz)	Χτύπημα ουράς, βύθιση	♂, ♀	Schwarz (1974)
<i>Cichlasoma nigrofasciatum</i>	βρυχηθμοί	A	>1s	20 pps	480 Hz (<1000 Hz)	κατά την εκτροφή νεοσσών	♂, ♀	Myrberg et al., (1965)
<i>Pterophyllum sp.</i>	συριστικοί	B	-	6 pps	3300 Hz (<10 kHz)	προστασία γόνου	♂, ♀	Myrberg et al., (1965)
<i>Haplochromis burtoni</i>	μόσημα	B	1.5s	-	7 kHz (1.25-10 kHz)	επιθετική συμπεριφορά	♂, ♀	Nelissen (1977, 1978)
<i>Hemichromis bimaculatus</i>	χτύπημα	C	50ms	12 pps	<500 Hz (max<3 kHz)	επιθετική συμπεριφορά		Myrberg et al., (1965), Rowland (1978)
<i>Hemichromis bimaculatus</i>	βρυχηθμοί	A	<0.5s	35-42.6 pps	250-1250 Hz (ανάλογα το μέγεθος)	επίθεση, άμυνα γόνου, αρχή ερωτοτροπίας	♂, ♀	Myrberg et al., (1965), Rowland (1978)
<i>Herotilapia multispinosa</i>	χτύπημα	C	93ms	-	100-300 Hz (85-1250 Hz)	στόμα, πλευρικά πτερύγια	♂, ♀	Brown & Marshall (1978)
<i>Herotilapia multispinosa</i>	βρυχηθμοί	A	200ms	8 pps	150-350 Hz (100-600 Hz)	πλευρικά πτερύγια και ερωτοτροπία	♂, ♀	Brown & Marshall (1978)
<i>Simochromis diagramma</i>	βρυχηθμοί	A	1.1s	30 pps	200 Hz (50-500 Hz)	ανταγωνισμός, απειλή	♂	Nelissen (1975, 1978)
<i>Simochromis diagramma</i>	μόσημα	B	2.45s	3 pps	8 kHz	απειλή	♂	Nelissen (1975, 1978)
<i>Tropheus brichardi</i>	μόσημα	B	2.20s	-	7.85 kHz	απειλή	♂	Nelissen (1978)
<i>Tropheus duboisi</i>	μόσημα	B	1.37s	-	6.61 kHz	απειλή	♂	Nelissen (1978)
<i>Tropheus Moorii</i>	μόσημα	B	1.06s	-	5.5 kHz	απειλή	♂	Nelissen (1977, 1978)

Πίνακας 6.2.2.2: Περιγραφή των ήχων που έγιναν κατά τη διάρκεια ανταγωνισμού από κιχλίδες. Δεδομένα σε μέσες τιμές (εύρος). Ηχητικοί μηχανισμοί, A: οι ήχοι παράγονται από τους μύες της γνάθου και ενισχύονται από την νηκτική κύστη, B: ήχοι παρόμοιοι με ήχους μασημάτος προερχόμενοι από τα φαρυγγικά δόντια, C: ήχοι προερχόμενοι από κίνηση του σώματος όπως γέμισμο κεφαλιού (Amorim, 2006).



Εικόνα 6.2.2.1: *Hemichromis bimaculatus*

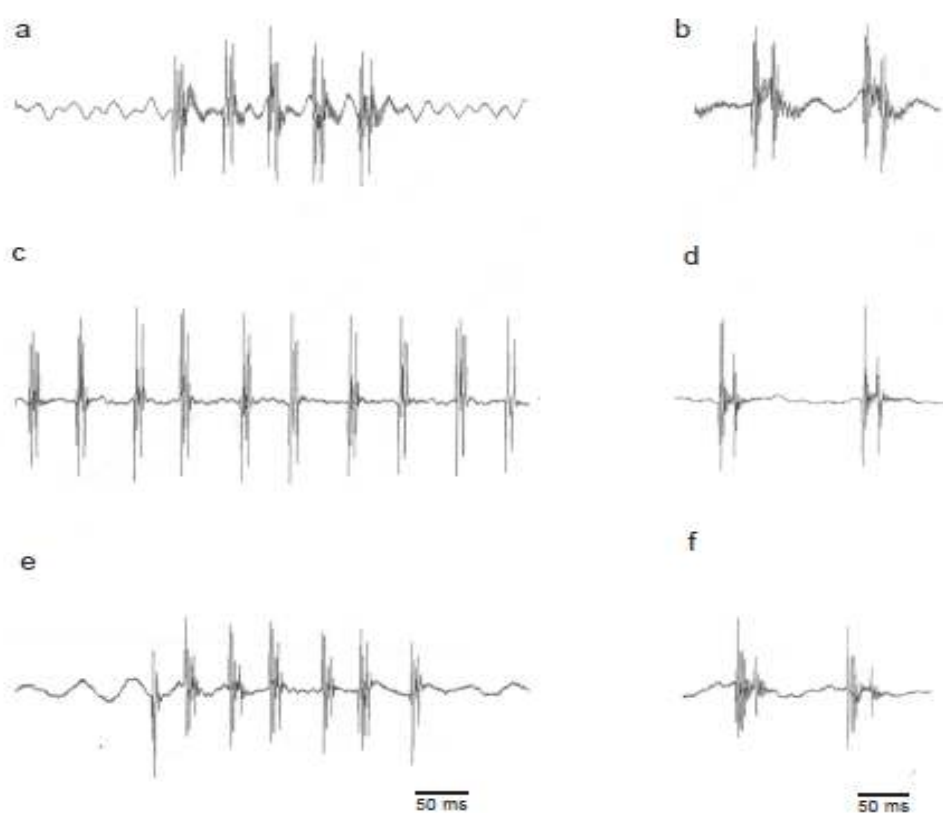
Οι βρυχηθμοί είναι οι μόνοι τύποι ήχων που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της ερωτοτροπίας στην οικογένεια των κιχλίδων. Αυτοί οι ήχοι εκπέμπονται κυρίως κατά τη διάρκεια τρέμουλου, μια συμπεριφορά που χαρακτηρίζει τα πρώτα στάδια της ερωτοτροπίας (Amorim et al., 2004a), αλλά σε συγκεκριμένα είδη μπορεί να συμβεί κοντά ή και κατά την περίοδο της ωοτοκίας (Amorim et al., 2003). Η μέση διάρκεια των βρυχηθμών ερωτοτροπίας κυμαίνεται από 181 ms στα *Copadichromis conophorus* έως και 1100 ms στα *Simochromis diagramma* (Lobel, 1998). Ο μέσος αριθμός των παλμών σε ένα γρύλισμα κυμαίνεται από 9 rps στο *Tramitichromis cf. Intermedius* έως 32 rps στο *Tropheus brichardi* (Lobel, 1998). Μια παρόμοια μεταβλητότητα μπορεί να παρατηρηθεί στο ρυθμό επανάληψης των παλμών, του οποίου οι μέσες τιμές κυμαίνονται από 8 rps στο *H. Multispinosa* έως 56 rps στο *C. conophorus* (Lobel, 1998). Παρόλο που, η διάρκεια του ήχου και η ταχύτητα επανάληψης του παλμού (και ως εκ τούτου του αριθμού των παλμών), μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με το κίνητρο των ψαριών, τα προαναφερθείσα ακουστικά χαρακτηριστικά δείχνουν μεγάλες διαφορές μέσα στα είδη.

6.2.3 Οσφρονεμίδες (Osphronemidae - Gouramis)

Το croaking gourami *Trichopsis vittatus*, είναι ίσως ο πιο γνωστός παραγωγός ήχου από τα είδη των ψαριών. Τα croaking gourami (γένος *Trichopsis*) εκπέμπουν υψηλής έντασης ήχους που παράγονται από τα θωρακικά πτερύγια, κατά τη διάρκεια ανταγωνιστικών συναντήσεων και ερωτοτροπίας. Οι ήχοι σε αυτό το γένος

αποτελούνται από ένα έως μερικά κοάσματα (croaks), που το καθένα αποτελείται από μια σειρά των 2 έως 30 διπλών παλμών όπου το κάθε ζευγάρι παλμών παράγεται από ένα θωρακικό πτερύγιο.

Ο Ladich και οι συνεργάτες του έκαναν μια συγκριτική μελέτη των ανταγωνιστικών φωνημάτων που παρήγαγαν τρία είδη του είδους *Trichopsis* (*T. vittata*, *T. schalleri* και *T. pumila*). Τα κοάσματα σε αυτά τα τρία είδη διαφέρουν στον αριθμό των διπλών παλμών, την περίοδο παλμών και τη στάθμη της ηχητικής πίεσης (Amorim, 2006) (Εικ. 6.2.3.1).



Εικόνα 6.2.3.1. Κυματομορφή ανταγωνιστικών κοασμάτων και διπλών παλμών στα *Trichopsis vittata* (a, b), *T. schalleri*, (c, d) και *T. pumila* (e, f). Φαίνονται οι διαφορές στον αριθμό των διπλών παλμών και στην περίοδο τους.

Ο μέσος αριθμός των διπλών παλμών ενός κοάσματος είναι υψηλότερος στο *T. schalleri* και χαμηλότερος στο *T. vittata* ($4,7 \pm 1,4$, $8,4 \pm 2,4$, $6,9 \pm 1,0$, μέση τιμή \pm SD), το ίδιο ισχύει και για την περίοδο του διπλού παλμού ($30,2 \pm 8,2$, $56,3 \pm 5,3$ και $45,8 \pm 3,3$ ms). Η μέση στάθμη της ηχητικής πίεσης είναι 8-9 dB υψηλότερη για το μικρότερο είδος *T. pumila* σε σύγκριση με τα άλλα δύο είδη. Οι διαφορές στα

χρονικά χαρακτηριστικά αυτών των συναφών ειδών επεκτείνονται και στον αριθμό των κοασμάτων ανά φώνημα. Τα *Trichopsis vittata* (Εικόνα 6.2.3.2), εκπέμπουν περίπου δύο κοάσματα σε κάθε κάλεσμα, ενώ τα άλλα δύο είδη εκπέμπουν μόνο ένα κοάσμα κάθε φορά (Wysocki και Ladich, 2003).



Εικόνα 6.2.3.2: *Trichopsis vittata*

Στο Πίνακα 6.2.3.1, συνοψίζονται τα ψάρια της οικογένειας Osphronemidae που είναι γνωστό ότι παράγουν ήχους κατά τη διάρκεια ανταγωνιστικών αλληλεπιδράσεων.

ΓΕΝΟΣ	ΕΙΔΟΣ	ΚΟΙΝΟ ΟΝΟΜΑ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ
Trihopsis	vittata	Croaking gourami	Ασία
Trihopsis	schalleri	Threestripe gourami	Ασία
Trihopsis	pumila	Pygmy gourami	Ασία
Trichogaster ή Colisa	lalius ή lalia	Dwarf gourami	Ασία

Πίνακας 6.2.3.1: Είδη ψαριών τη οικογένειας Osphronemidae που είναι γνωστό ότι παράγουν ήχους.

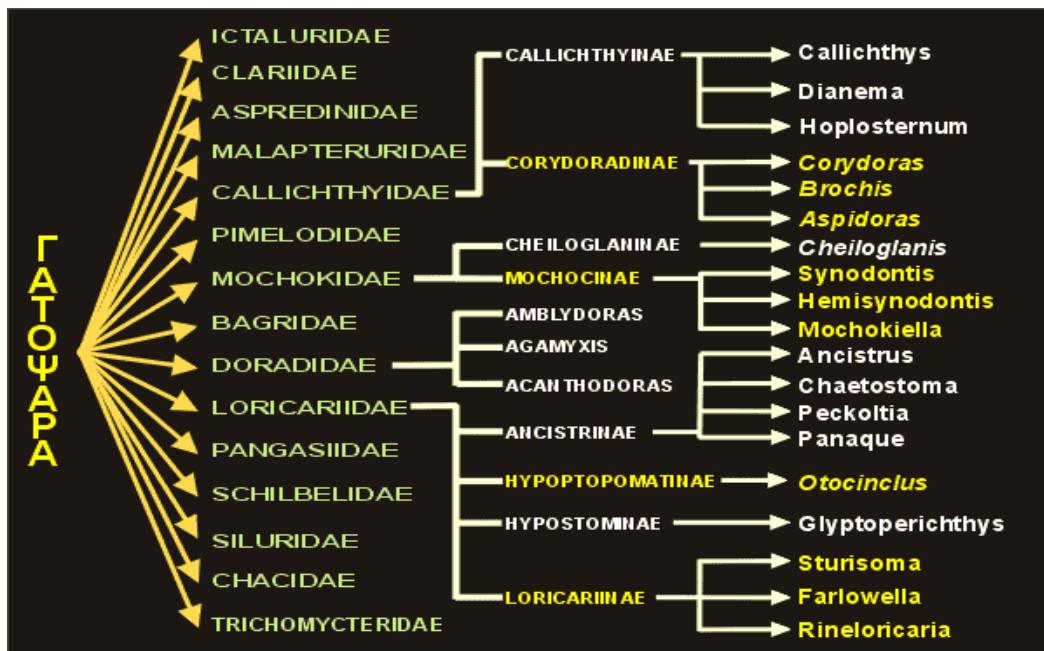
Τα πολύ μικρά αρσενικά *Colisa lalia* εκπέμπουν παλμικούς ήχους διάρκειας περίπου 23 ms με μέγιστες συχνότητες 900 Hz. Σε αυτό το είδος η συχνότητα των παλμών συσχετίζεται με τη συμπεριφορά και ειδικότερα όταν υπερασπίζονται τη φωλιά τους. Οι ήχοι της *C. Lalia*, (Εικ. 6.2.3.3), είναι πιο σύντομοι από τα κοάσματα των *Trichopsis* spp, (Amorim, 2006).



Εικόνα 6.2.3.3: *Colisa lalia*

6.2.4 Άλλες οικογένειες ψαριών που παράγουν ήχους

Τα «Γατόψαρα» (Catfishes), ανήκουν στη μεγάλη ομάδα των Οστεϊχθών (Osteichthyidae), της τάξης των Ακτινοπτερυγίων (Actinopterygii). Ο σκελετός τους δηλαδή, αποτελείται από κόκαλα και όχι από χόνδρους ή/και χόνδρινες πλάκες. Κατατάσσονται στα Siluriformes που αριθμούν τουλάχιστον τριάντα διαφορετικές οικογένειες και πάνω από τετρακόσια είδη και κατοικούν στους υγροβιότοπους όλου σχεδόν του πλανήτη (Εικ. 6.2.4.1 και Πίν. 6.2.4.1).



Εικόνα 6.2.4.1: Κατηγοριοποίηση γατόψαρων.

ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	ΚΟΙΝΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	ΓΕΝΗ	ΕΙΔΗ
Aspredinidae	Banjo Catfishes	Νότια Αμερική	10	32
Bagridae	Mouth Catfishes	Ασία – Αφρική	30	210
Callichthyidae	Armoured Catfishes	Νότια Αμερική	7	130
Chacidae	Frogmouth Catfishes	Ασία	1	2
Clariidae	Walking Catfishes	Ασία – Αφρική	13	100
Doradidae	Talking Catfishes	Νότια Αμερική	35	90
Ictaluridae	Bullhead Catfishes	Βόρ. & Κεντρική Αμερική	7	45
Loricariidae	Suckermouth Armoured Catfishes	Νότια Αμερική	70	550
Malapteruridae	Electric Catfishes	Αφρική	1	2
Mochokidae	Upside Down Catfishes	Αφρική	10	150
Pangasiidae	Shark Catfishes	Ασία	2	21
Pimelodidae	South American Catfishes	Νότια Αμερική	56	300
Schilbeidae	Schilbe Catfishes	Ασία – Αφρική	18	45
Siluridae	Sheath Catfishes	Ευρω-Ασία	12	100
Trichomycteridae	Parasitic Catfish	Νότια Αμερική	36	155
		ΣΥΝΟΛΟ	314	1922

Πίνακας 6.2.4.1: Οικογένειες, Γένη και Είδη Γατόψαρων.

Τα γατόψαρα είναι γνωστό ότι παράγουν ήχους κατά τη διάρκεια αναπαραγωγής, ανταγωνιστικής συμπεριφοράς και άμυνας. Οι έρευνες για διάφορες οικογένειες γατόψαρων παρουσιάζουν δύο ηχητικούς μηχανισμούς. Στον συριστικό μηχανισμό ο ήχος παράγεται από πολύ μικρά ραχιαία κόκκαλα που βρίσκονται κοντά στο τέλος του θωρακικού ακτινοπτερυγίου, τα οποία τρίβονται αντίθετα με το ουραίο πτερύγιο. Στον κρουστικό μηχανισμό, ο ήχος παράγεται από τους κρουστικούς μύες της νηκτικής κύστης, οι οποίοι απουσιάζουν σε κάποιες οικογένειες των γατόψαρων (Siluridae, Ictaluridae, Loricariidae, Callichthyidae). Αντίθετα από τον ηχητικό μηχανισμό του ακτινοπτερυγίου της σπονδυλικής στήλης, ο μηχανισμός της νηκτικής κύστης είναι ποικίλος και χαρακτηριστικός στην οικογένεια των γατόψαρων (Ladich,

1997). Έχουν, επίσης, παρατηρηθεί στα γατόψαρα, συριστικοί ήχοι κατά τη διάρκεια ανταγωνιστικών συναντήσεων με άλλα, μη επιθετικά ψάρια σε ενυδρεία.

Ο Kaatz με τον Lobel (1999) παρατήρησαν τη συμπεριφορά ερωτοτροπίας σε συσχέτιση με την παραγωγή του ήχου σε τρία διαφορετικά είδη των γατόψαρων *Corydoras* (*C. aeneus* (Εικ. 6.2.4.2), *C. leopardus*, *C. paleatus*), της οικογένειας *Callichthyidae*, κατά την οποία όλα τα αρσενικά παρήγαγαν συριστικούς ήχους πριν τη γονιμοποίηση του ωαρίου. Βρήκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη διάρκεια του ήχου και στον αριθμό των παλμών σε αυτά τα τρία είδη. Ο Kaatz (1999) σύγκρινε τους παραγόμενους από τη νηκτική κύστη ήχους σε 29 είδη γατόψαρων, χρησιμοποιώντας τις ίδιες συνθήκες και μεθόδους καταγραφής και βρήκε διαφορές μεταξύ των ειδών, στα φάσματα των κυματομορφών, στη θεμελιώδη συχνότητα, στη διάρκεια του ήχου και στο συνολικό αριθμό παλμών.



Εικόνα 6.2.4.2: *Corydoras aeneus* (*Callichthyidae*)

6.3 ΨΑΡΙΑ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

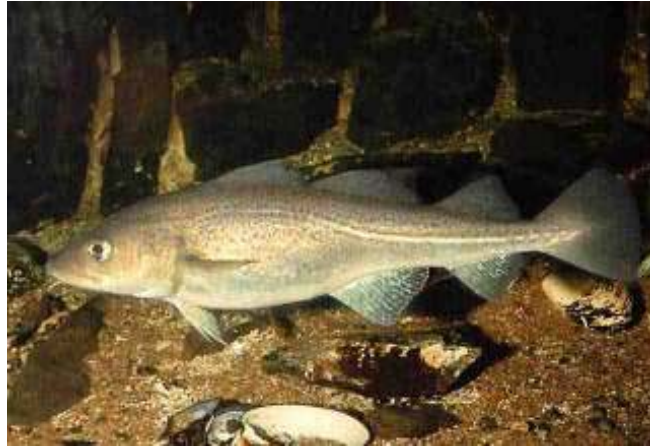
Υπάρχουν πολλές οικογένειες θαλασσινών ψαριών που παράγουν ήχους και έχουν μελετηθεί, όπως οι μπακαλιάροι (οικογένεια *Gadidae*) (Πίνακας 6.3.1), οι οποίοι εκπέμπουν ήχους μέσα από τη συστολή του ζεύγους των ηχητικών μυών που συνδέονται με τα τοιχώματα της νηκτικής κύστης (Hawkins και Amorim, 2000), τόσο σε ανταγωνιστικά όσο και σε ερωτικά πλαίσια. Οι ανταγωνιστικοί ήχοι έχουν περιγραφεί για τους μπακαλιάρους *Gadus morhua*, *Melanogrammus aeglefinus*,

Pollachius pollachius, *Gaidropsarus mediterraneus* και *Raniceps raninus*.
Εκπέμπουν γρυλίσματα και χτυπήματα.

ΓΕΝΟΣ	ΕΙΔΟΣ	ΚΟΙΝΟ ΟΝΟΜΑ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ
Gadus	morhua	Atlantic cod	Ατλαντικός & Ανταρκτική
Melanogrammus	aeglefinus	Haddock	Ατλαντικός
Pollachius	pollachius	Pollack	Ατλαντικός
Gaidropsarus	mediterraneus	Shore Rockling	Ατλαντικός & Μεσόγειος
Raniceps	raninus	Tadpole fish	Βόρεια Θάλασσα

Πίνακας 6.3.1: Είδη ψαριών τη οικογένειας *Gadidae* που είναι γνωστό ότι παράγουν ήχους.

Οι Hawkins και Rasmussen (1978) σύγκριναν τους ανταγωνιστικούς ήχους των παραπάνω ειδών. Όλες οι ακουστικές εκπομπές αποτελούνταν από χαμηλής συχνότητας παλμούς και διακρίνονται μεταξύ των ειδών από τις διαφορές στη χρονική δομή τους (μικρότερη διάρκεια και λιγότεροι παλμοί). Τα γρυλίσματα που εκπέμπονται από τον *Melanogrammus aeglefinus* διαρκούν λιγότερο από 75 ms και αποτελούνται από 3-4 παλμούς (με εύρος από 2-8 παλμούς), ενώ γρυλίσματα που παράγονται από το *Gadus morhua* (Εικόνα 6.3.1) έχουν διάρκεια μικρότερη από 150 ms και αποτελούνται από περίπου 9 παλμούς. Και τα δύο είχαν παρόμοιο ρυθμό επαναλήψεως του παλμού, ο οποίος ήταν πολύ βραδύτερος από εκείνον που παρατηρείται στο *Pollachius pollachius*. Τα *Gaidropsarus mediterraneus*, σε αντίθεση με τα προαναφερθέντα είδη, δεν διαθέτουν ηχητικούς μύες που να συνδέονται με τη νηκτική κύστη. Αυτό το είδος εκπέμπει ήχους που μοιάζουν με χτυπήματα όταν κυνηγάει και δαγκώνει το θήραμά του, οι οποίοι διαρκούν κατά μέσο όρο 81 ms (\pm 30,5 ms) και έχουν κυρίαρχες συχνότητες κοντά στα 200 Hz (Almada et al., 1996).



Εικόνα 6.3.1: Gadus morhua

Σε αντίθεση με το ανταγωνιστικό πλαίσιο, όπου και τα δύο φύλα εκπέμπουν ήχους, το αρσενικό είναι ο μοναδικός εκπομπός ήχου κατά τη διάρκεια της ερωτοτροπίας, (Amorim, 2006).

Η οικογένεια Batrachoididae (toadfish) είναι ίσως η καλύτερα μελετημένη οικογένεια των ψαριών από την άποψη της συμπεριφοράς και τις νευροφυσιολογικές πτυχές του ήχου στην παραγωγή και την ανίχνευση. Τα αρσενικά υπερασπίζονται τις φωλιές κατά την περίοδο αναπαραγωγής, είναι πολυγαμικά και εκπέμπουν ένα συνεχές τονικό ήχο σαν σφύριγμα πλοίου από τη φωλιά τους. Ο ήχος αυτός χρησιμοποιείται από το αρσενικό στην διάρκεια ανταγωνισμού με άλλο αρσενικό για την προσέλκυση συντρόφου.



Εικόνα 6.3.2: Halobatrachus didactylus

Η παραγωγή ήχου έχει τεκμηριωθεί καλά σε τουλάχιστον τέσσερα είδη: *Opsanus tau*, *O. beta*, *Halobatrachus didactylus* (Εικόνα 6.3.2) και *Porichthys notatus* (Πίνακας 6.3.2) (Amorim, 2006). Σε όλα τα είδη, και τα δύο φύλα παράγουν ανταγωνιστικά γρυλίσματα, τα οποία είναι ευρείας ζώνης ήχοι που αποτελούνται από μικρής διάρκειας παλμούς, αλλά μόνο τα αρσενικά εκπέμπουν τονικούς ήχους ερωτοτροπίας (σφύριγμα), που παράγονται από την εξαιρετικά γρήγορη συστολή του ενδογενή ηχητικού μυ της νηκτικής κύστης (Skoglund, 1961, Fine et al., 2001). Ο ρυθμός συστολής των μυών παράγει τη θεμελιώδη συχνότητα των ήχων ερωτοτροπίας που μπορεί να εμφανίζουν δύο ή περισσότερες αρμονικές (Skoglund, 1961). Αυτοί οι ήχοι μπορούν να ξεκινήσουν (και να τελειώσουν) με ένα γρύλισμα, ακολουθούμενοι από το τονικό μέρος του ήχου. Αυτά τα τέσσερα είδη toadfish διαφέρουν στα χαρακτηριστικά των ήχων κατά τη διάρκεια ζευγαρώματος και στην ποικιλομορφία του ακουστικού ρεπερτορίου τους, παράγοντας δύο διαφορετικούς τύπους ήχων τα *Opsanus* και πέντε τα *H. didactylus*.

ΓΕΝΟΣ	ΕΙΔΟΣ	ΚΟΙΝΟ ΟΝΟΜΑ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ
<i>Opsanus</i>	Tau	Oyster toadfish	Δυτικός Ατλαντικός
<i>Opsanus</i>	Beta	Gulf toadfish	Δυτικ. & Κεντρικ. Ατλαντικός
<i>Halobatrachus</i>	Didactylus	Lusitanian toadfish	Δυτικός Ατλαντικός & Μεσόγειος
<i>Porichthys</i>	Notatus	Plainfin midshipman	Ανατολικός Ατλαντικός

Πίνακας 6.3.2: Είδη ψαριών της οικογένειας Batrachoididae που είναι γνωστό ότι παράγουν ήχους.

Τα ψάρια της οικογένειας Triglidae (τριγλίδες) είναι βενθικά ψάρια θαλάσσης που μπορούν να βρεθούν σε βάθος από 20 m μέχρι 200 m. Είναι γνωστό ότι παράγουν ήχους από την εποχή του Αριστοτέλη. Σε αυτά τα ψάρια, τα μεγάλα και έντονα χρώματα στα θωρακικά πτερύγια συχνά διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανταγωνιστική συμπεριφορά, κατά τη διάρκεια της εκπομπής ήχου (Amorim και

Hawkins, 2000, Amorim et al. 2004b). Οι τριγλίδες παράγουν δυνατούς ήχους με τη δόνηση των ηχητικών μυών, που εφάπτονται στη νηκτική κύστη, τόσο εκτός όσο και κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγικής περιόδου (Amorim και Hawkins, 2000, Amorim et al. 2004b).

Οι καλύτερα μελετημένοι ήχοι σε αυτή την οικογένεια είναι εκείνοι που συνδέονται με τον ανταγωνισμό κατά τη διάρκεια της σίτισης. Ως εκ τούτου, οι συγκρίσεις σε αυτή την οικογένεια περιορίζονται σε ανταγωνιστικούς ήχους που καταγράφονται κατά τη διάρκεια της αιχμαλωσίας τους.

Τα ευρωπαϊκά gurnards και τα αμερικάνικα sea robins αυξάνουν αμέσως το ποσοστό παραγωγής του ήχου κατά τη διάρκεια ανταγωνιστικής σίτισης (Amorim και Hawkins, 2000) ή κατά τη διάρκεια ενοχλητικών καταστάσεων (Connaughton, 2004).

Ο αριθμός των διαφορετικών τύπων ήχου που εκπέμπεται από τα ευρωπαϊκά (grey-*E.gurnardus*, red- *A.cuculus*, *Trigla lucerna* και *Trigloporus lastoviza*) gurnards, ποικίλλει μεταξύ των ειδών (Πίνακας 6.3.3) (Amorim και Hawkins, 2000, Amorim et al. 2004b). Το γκρι και το κόκκινο gurnard εκπέμπει τρία είδη ήχων (κτύπους, γρυλίσματα και βρυχηθμούς).

ΓΕΝΟΣ	ΕΙΔΟΣ	ΚΟΙΝΟ ΟΝΟΜΑ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ
Eutrigla	gurnardus	Grey gurnard	Ανατολικός Ατλαντικός
Aspitrigla	cuculus	Red gurnard	Ανατολικός Ατλαντικός
Trigla	lucerna	Tub gurnard	Ατλαντικός & Μεσόγειος
Trigloporus	lastoviza	Streaked gurnard	Ανατολικός Ατλαντικός

Πίνακας 6.3.3: Είδη ψαριών τη οικογένειας *Triglidae* που είναι γνωστό ότι παράγουν ήχους.

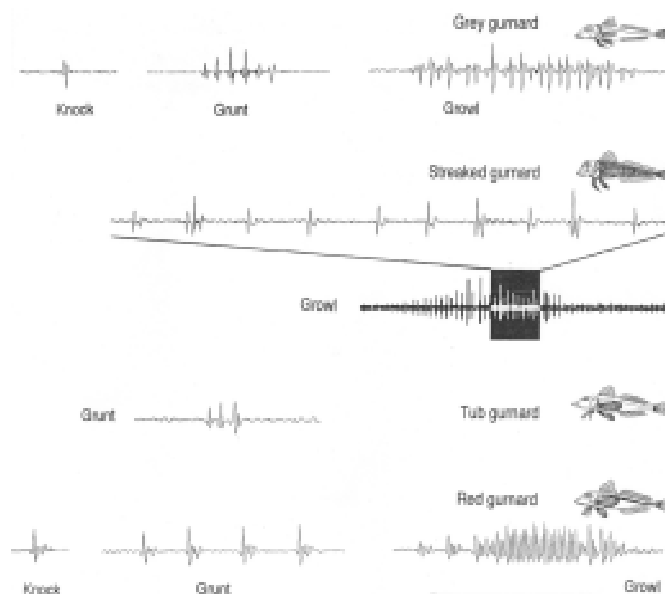
Η εκπομπή ήχου σε αυτά τα είδη διαφέρει και στον τρόπο που οι παλμοί ομαδοποιούνται μέσα σε ένα ήχο. Η μονάδα του ήχου είναι ένας μονός παλμός για το *E. gurnardus* και το *Trigla lucerna*, ενώ στους ήχους που παράγονται από τα *A.*

cuculus και *Trigloporus lastoviza* (Εικόνα 6.3.3) οι παλμοί θα μπορούσαν να διαταχθούν σε ομάδες από 1 έως 3 παλμούς μέσα σε έναν ήχο, φτάνοντας τους 15 παλμούς σε βρυχηθμούς μέσα στα είδη.



Εικόνα 6.3.3: *Trigloporus lastoviza*

Οι ανταγωνιστικοί ήχοι που παράγονται από το *E. gurnardus*, το *Trigla lucerna*, το *A. cuculus* και το *Trigloporus lastoviza*, μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες - κτύπους, γρυλίσματα και βρυχηθμούς (Σχήμα 6.3.1).



Σχήμα 6.3.1: Το σχήμα, απεικονίζει τις διαφορές μεταξύ των ειδών, *E.gurnardus*, *Trigla lucerna*, *A. cuculus* και *Trigloporus lastoviza*, στον αριθμό των παλμών, στον ρυθμό επανάληψης παλμού και στην ομαδοποίηση των παλμών μέσα σε ένα ήχο. Η κλίμακα του χρόνου είναι η ίδια για όλα τα παλμογραφήματα (ενιαία γραμμή = 100 ms, διπλή γραμμή = 1 s).

Οι κτύποι που παράγονται από το *E.gurnardus* είναι ίδια σε διάρκεια με αυτά που κάνει το *A.cuculus*, με τιμές 10-12 ms. Η διάρκεια του γρυλίσματος διαφέρει ανάμεσα στα είδη καθώς και ο αριθμός παλμών. Το *Trigloporus lastoviza* παράγει ένα γρύλισμα το οποίο μπορεί να διαρκέσει πάνω από 3 s. Οι βρυχηθμοί του είναι μεγαλύτερης διάρκειας με περισσότερους παλμούς και με μικρότερη περίοδο παλμών από ότι στο *E. gurnardus* και στο *A. cuculus*.

Η κυρίαρχη συχνότητα του ήχου στις τριγλίδες εξαρτάται από το μέγεθος των ψαριών, αλλά υπάρχουν επίσης διαφορές μεταξύ των ειδών. Σε γενικές γραμμές, οι ήχοι που παράγονται από τις τριγλίδες έχουν συχνοτικό εύρος από 40 Hz έως 4 kHz, αλλά είδη που βρίσκονται στα αμερικανικά (Searobins) και ιαπωνικά ύδατα φαίνεται να παράγουν ένα πολύ ευρύτερο φάσμα συχνοτήτων από ότι τα ευρωπαϊκά είδη. Σύμφωνα με τον Connaughton (2004), το ευρύ φάσμα των συχνοτήτων σε ήχους που παράγονται από αυτά τα είδη της Αμερικής μπορεί να εξηγηθεί εν μέρει από τις ασύγχρονες δονήσεις των ηχητικών μυών.

Τα Damsel fishes (οικογένεια Pomacentridae), είναι είδη των κοραλλιογενών υφάλων και είναι γνωστό ότι παράγουν ήχους (Πίνακας 6.3.4).

ΓΕΝΟΣ	ΕΙΔΟΣ	ΚΟΙΝΟ ΟΝΟΜΑ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ
Amphiprion	clarkii	Yellowtail clownfish	Ειρηνικός
Amphiprion	frenatus	Tomato clownfish	Ατλαντικός & Ασία
Stegastes	partitus	Bicolor damselfish	Ατλαντικός
Dascyllus	trimaculatus	Threespot dascyllus	Ειρηνικός
Dascyllus	albisella	Hawaiian dascyllus	Ειρηνικός
Abudefduf	luridus	Canary damsel	Ατλαντικός
Chromis	chromis	Damselfish	Ατλαντικός & Μεσόγειος
Chromis	viridis	Blue green damselfish	Ειρηνικός
Stegastes	planifrons	Threespot damselfish	Ατλαντικός
Stegastes	leucostictus	Beaugregory	Ατλαντικός
Stegastes	partitus	Bicolor damselfish	Ατλαντικός
Stegastes	dorsopunicans	Dusky damselfish	Ατλαντικός

Πίνακας 6.3.4: Είδη ψαριών της οικογένειας Pomacentridae που είναι γνωστό ότι παράγουν ήχους.

Οι κρότοι, τα τιτιβίσματα ή τα γρυλίσματα (pops, chirps, grunts) είναι ευρυζωνικοί παλμικοί ήχοι που εκπέμπονται κατά τη διάρκεια της καταδίωξης και απειλής μεταξύ των ειδών. Τα *Amphiprion clarkii* και τα *A. frenatus* εκπέμπουν επίσης τιτιβίσματα (1-17 παλμούς με περίοδο παλμών 52-62 ms vs 1-7 παλμούς με μια περίοδο παλμού των 83 ms). Τα *Stegastes (=Pomacentrus) partitus* εκπέμπουν μονό κρότο (pop) και τα *Dascyllus trimaculatus* εκπέμπουν κρότους, τιτιβίσματα και γρυλίσματα κατά τη διάρκεια ανταγωνισμού (Amorim, 2006). Οι κρότοι των τελευταίων ειδών είναι μονοί παλμοί, ενώ τα τιτιβίσματα και γρυλίσματα αποτελούνται από 3-6 παλμούς με διακριτές περιόδους παλμού: 8-16 ms (τιτιβίσματα) και 100-200 ms (γρυλίσματα). Τα γρυλίσματα σε αυτό το είδος μπορεί ίσως να θεωρηθούν ακολουθίες κρότων. Το *Dascyllus albisella* εκπέμπει δύο τύπους επιθετικών ήχων: pops από ένα ή δύο παλμούς, συχνά μεταξύ διαφορετικών ειδών και πολλαπλών παλμών τερέτισμα που μοιάζει με το τιτίβισμα ερωτοτροπίας, και είναι πιο συχνά μεταξύ του ίδιου είδους (Mann και Lobel, 1998). Το ανταγωνιστικό τιτίβισμα αποτελείται από $5,4 \pm 1,8$ (μέση τιμή \pm SD) παλμούς που επαναλαμβάνονται κάθε 45,2 ms (\pm 6,5 ms) και έχει μικρότερες περιόδους παλμού, μεγαλύτερη διάρκεια παλμών και υψηλότερες συχνότητες από το τιτίβισμα ερωτοτροπίας (Mann και Lobel, 1998). Το *Abudefduf luridus* εκπέμπει ήχους που είναι ακολουθίες διπλών παλμών (2-5 διπλοί παλμοί) που επαναλαμβάνονται κάθε 307 ms (\pm 100 ms). Το *Chromis chromis* εκπέμπει μονά pops (απλούς παλμούς) κατά τη διάρκεια ανταγωνιστικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ του ίδιου είδους ενώ το *C. viridis* εκπέμπει ακολουθίες 1-22 pops ($5,6 \pm 5,7$, μέση τιμή \pm SD), η οποία αποτελείται από μονούς ή διπλούς παλμούς, που επαναλαμβάνεται κάθε 252 ms (\pm 398,6 ms) (Amorim, 2006). Γενικά, οι ανταγωνιστικοί ήχοι σε αυτή την οικογένεια αποτελούνται από ευρείας συχνότητας παλμούς (μονοί ή διπλοί παλμοί) που εκπέμπονται είτε σε σχετικά τακτά χρονικά διαστήματα, συνήθως μικρότερα από 100 ms, τιτίβισμα, ή σε σχετικά μεγαλύτερο και πιο ακανόνιστο διάστημα, κάνοντας μια σειρά από κρότους. Ο αριθμός των παλμών και του ρυθμού επαναλήψεως φαίνεται να διαφέρουν μεταξύ των ειδών των pomacentrids.

Τα *Stegastes planifrons* (Εικόνα 6.3.4), *S. leucostictus*, *S. partitus*, *S. Dorsopunicans* παράγουν ήχους (τιτιβίσματα), όπου έχουν συνήθως 3, 4, 4, και 6 παλμούς, αντιστοίχως, και διαστήματα παλμών 30-45 ms εύρος (Spanier, 1979).



Εικόνα 6.3.4: *Stegastes planifrons*

Επίσης το *D. Albisella* (Εικόνα 6.3.5), είναι γνωστό ότι παράγει ήχους κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγής και ο ρυθμός παραγωγής του ήχου αυξάνει την προηγούμενη ημέρα και την ημέρα της ωοτοκίας (Amorim, 2006).



Εικόνα 6.3.5 *D. albisella*

Το τιτίβισμα και ο «ήχος ζευγαρώματος» διαφέρουν ως προς τον αριθμό των παλμών και τη διάρκεια του ήχου, με τον πρώτο να παρουσιάζει μεγαλύτερο αριθμό παλμών (6 ± 3 έναντι 4 ± 1 , μέση \pm SD) και μία μεγαλύτερη διάρκεια (262 ± 57 έναντι 127 ± 45 ms) από το τελευταίο. Η κυρίαρχη συχνότητα του τιτίβισματος ερωτοτροπίας είναι περίπου 300-400 Hz. Το *Abudefduf sordidus* εκπέμπει επίσης ένα χαμηλής συχνότητας παλμικό ήχο κατά τη διάρκεια της ερωτοτροπίας, με διάρκεια από 620 ± 276 ms και 5 ± 2 παλμούς (Amorim, 2006).

Τρία είδη της οικογένειας Carapidae από δύο γένη (*Carapus* και *Encheliophis*), εκπέμπουν ήχους που αποτελούνται από μια σειρά «κτύπων» (knocks), τα οποία διαφέρουν στο χρόνο και στην ομαδοποίηση τους, μεταξύ των ειδών. Δύο είδη των *Carapus* διέφεραν ως προς τη διάρκεια της ακολουθίας του ήχου και την περίοδο των κτύπων, το ένα παρήγαγε μεγάλης διάρκειας ήχους (25-30'') με γρήγορο ρυθμό

επανάληψης και το άλλο παρήγαγε σύντομους ήχους (3-5'') με μεγαλύτερες περιόδους (2-4 φορές μεγαλύτερες από το πρώτο). Το *Encheliophis* sp. εκπέμπει μόνο έναν κτύπο ή αλληλουχίες κτύπων, διάρκειας μικρότερης του 1 sec (Amorim, 2006).

Διάφορα είδη της οικογένειας Holocentridae, από τα γένη *Myripristis* και *Holocentrus* έχουν μελετηθεί και σε γενικές γραμμές το πρώτο γένος έχει μεγαλύτερο ακουστικό ρεπερτόριο από το δεύτερο (Horch και Salmon, 1973). Τα *Holocentrus* spp. εκπέμπουν ήχους δύο τύπων: μικρής διάρκειας γρυλίσματα (grunts) και μεγάλης διάρκειας ακολουθίες από υπόκωφους ήχους, τα γνωστά staccatos. Αντίθετα, τα *Myripristis* spp., εκτός από τα staccatos εκπέμπουν μεγάλης διάρκειας γρυλίσματα και κτύπους (growls and knocks).

Ο Gerald (1971) μελέτησε τις ενδοοικογενειακές διαφορές των προσκλήσεων σε ερωτοτροπία (γρυλίσματα και κρότους) σε έξι ψάρια του είδους των φεγγαρόψαρων (sunfish) (Εικόνα 6.3.6) του γένους *Lepomis* (Centrarchidae). Μεταξύ αυτών των ειδών διέφεραν, ο αριθμός των ήχων, η διάρκειά τους και ο ρυθμός επανάληψης του παλμού, γεγονός που υποδηλώνει πιθανές ενδείξεις για την αναγνώριση των ειδών (Amorim, 2006).



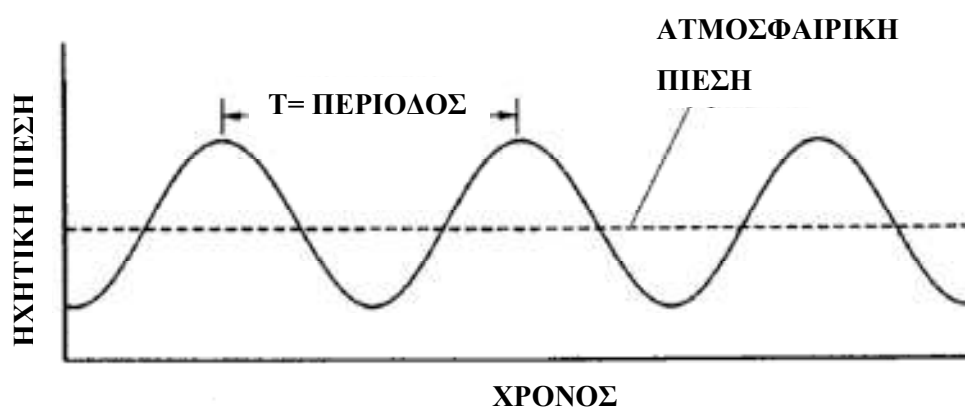
Εικόνα 6.3.6: Sunfish

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΜΙΚΡΩΝ ΕΝΥΔΡΕΙΩΝ

7.1 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΤΟ ΝΕΡΟ

7.1.1 Εισαγωγή

Βασική προϋπόθεση για ένα σώμα να είναι πηγή ήχου είναι να δονείται. Για να τεθεί ένα σώμα σε ταλάντωση, πρέπει να έχει τις φυσικές ιδιότητες της μάζας και της ελαστικότητας, κάτι που διαθέτουν όλα τα σώματα στη φύση, σε κάποιο βαθμό. Ως εκ τούτου, ο ήχος είναι μια μηχανική διαταραχή που μετατοπίζει τα μόρια ενός μέσου- στερεού, υγρού ή αέριου. Μια δόνηση έχει ως αποτέλεσμα τη παραμόρφωση ή την επιτάχυνση ενός αντικειμένου από τις αντίπαλες δυνάμεις της αδράνειας και της ελαστικότητας. Επειδή όλες οι μοριακές δομές έχουν κάποια πεπερασμένη μάζα και ελαστικότητα, μπορούν να είναι συγχρόνως, πηγή του ήχου και μέσο μετάδοσής του. Συνεπώς, ο ήχος μπορεί να προσδιοριστεί και ως η μεταφορά ενέργειας μέσω ενός ελαστικού μέσου. Μέσα σε ένα ηχητικό πεδίο, ένα μόριο συγκρούεται με το γειτονικό του, επιστρέφει προς την αρχική του θέση, προς την αντίθετη κατεύθυνση και συγκρούεται με ένα άλλο μόριο. Ο κύκλος των συγκρούσεων και επιστροφών μέσω της αρχικής θέσης καθορίζεται από την ελαστικότητα του μέσου και η ταλάντωση αυτή είναι ημιτονοειδής (Σχήμα 7.1.1.1).



Σχήμα 7.1.1.1: Ένα ημιτονοειδές κύμα δείχνει τη σχέση ανάμεσα στην ηχητική πίεση και το χρόνο σε δευτερόλεπτα.

Η συχνότητα ενός ηχητικού κύματος (f) είναι ο αριθμός κύκλων ανά δευτερόλεπτο, και μετριέται σε Hertz (Hz), ενώ, η περίοδος (T) είναι το αντίστροφο της συχνότητας, ή $1/f$ και είναι η διάρκεια ενός κύκλου, η οποία μετριέται σε δευτερόλεπτα. Η απόσταση που καλύπτεται από ένα πλήρη κύκλο του ηχητικού κύματος, είναι το μήκος κύματός του (λ), το οποίο ισούται με c/f ή cT , όπου c είναι η ταχύτητα διάδοσης του ήχου. Η ταχύτητα του ήχου c σχετίζεται με την συχνότητα f και το μήκος κύματος λ ενός ηχητικού κύματος, δηλαδή $c = \lambda \times f$. Κάθε κύκλος του ηχητικού κύματος καθορίζει την περιοδικότητα της αλλαγής στο πλάτος της ηχητικής δόνησης γύρω από μια βασική γραμμή εύρους πλάτους, η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί από τα μεγέθη της πίεσης, της μετατόπισης, της ταχύτητας, της επιτάχυνσης κ.α.

Οι περισσότεροι φυσικοί ήχοι δεν είναι καθαρά ημιτονοειδείς αλλά σύνθετοι, μη ημιτονοειδείς κυματομορφές. Σύνθετες κυματομορφές μπορούν να παρουσιαστούν από το άθροισμα μιας σειράς ημιτονοειδών, δηλαδή ο μετασχηματισμός Fourier. Η ανάλυση Fourier αποκαλύπτει συχνά ότι ένας σύνθετος ήχος αποτελείται από μια θεμελιώδη συχνότητα (f_0) και μια σειρά από αρμονικές, οι οποίες είναι ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας (δηλαδή $2f_0$, $3f_0$, $4f_0$ κλπ).

7.1.2 Ηχητική Ένταση και Ηχητική Πίεση στο νερό

Δυο από τις ποσότητες που χρησιμοποιούνται πιο συχνά για να περιγράψουν το μέγεθος ενός ηχητικού κύματος είναι η ένταση και η πίεση. Η ηχητική ένταση είναι κατευθυντική (διανυσματικό μέγεθος) και καθορίζει το μέσο ποσό της ενέργειας, το οποίο μεταφέρεται ανά μονάδα επιφάνειας σε ένα ακουστικό μέσο από μια ακουστική πηγή. Οι μονάδες μέτρησης της έντασης είναι erg/sec/cm^2 ή watt/cm^2 . Η πίεση είναι το ποσό της ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας. Μονάδα μέτρησης είναι το 1 N/m^2 ή 1 Pa . Ένα Newton είναι η ισχύς που απαιτείται για την επιτάχυνση της μάζας 1 kg με ταχύτητα από $0-1 \text{ m/sec}$ σε 1 δευτερόλεπτο. Ένα Newton ή Pa ισούται με $100,000 \text{ dynes}$, μία δίνη είναι η ισχύς που απαιτείται για την επιτάχυνση της μάζας 1 g με ταχύτητα από $0 \text{ cm}-1 \text{ cm/sec}$ σε 1 δευτερόλεπτο.

Η ηχητική ένταση (I) σχετίζεται με την ηχητική πίεση p_e με την ακόλουθη εξίσωση, που ισχύει για ένα ηχητικό κύμα σε ομοειδή και απεριόριστα μέσα.

$$I = \frac{p_e^2}{2\rho_0 c} \quad (7.1.2.1)$$

Όπου ρ_0 είναι η πυκνότητα του μέσου, c είναι η ταχύτητα διάδοσης του κύματος στο μέσο, και $\rho_0 c$ είναι η γνωστή ως χαρακτηριστική ακουστική σύνθετη αντίσταση του μέσου ($2\rho_0 c$ αναφέρεται σε σφαιρικά κύματα). Ο όρος αντίσταση ποικίλλει σε κάθε μέσο και επηρεάζει τη ληφθείσα ένταση ενός ακουστικού σήματος που μεταδίδεται μέσω του εν λόγω μέσου. Η χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση του νερού είναι σχεδόν 5000 φορές μεγαλύτερη στο νερό, λόγω της 1000 φορές μεγαλύτερης πυκνότητάς του και της 5 φορές μεγαλύτερης ταχύτητας του ήχου, σε σύγκριση με τον αέρα. Ως εκ τούτου ένα ζώο που παράγει υποβρύχια ήχο θα πρέπει να παράγει πολύ μεγαλύτερη στάθμη πίεσης, για την επίτευξη της ίδιας ενέργειας στο αυτί του δέκτη του. Ο συμβιβασμός εδώ είναι, ότι χρειάζεται λιγότερη ενέργεια για να παράγει έναν ήχο σε μια δεδομένη στάθμη πίεσης στο νερό. Τυπικά, η ηχητική ένταση παρουσιάζεται σε μονάδες decibel (dB), όπου η ένταση σε dB είναι ο λογάριθμος με βάση το 10 της αναλογίας δυο εντάσεων:

$$dB = 10 \log_{10} \left[\frac{I_1}{I_2} \right] \quad (7.1.2.2)$$

όπου I_1 : η ένταση που μετριέται

I_2 : η ένταση αναφοράς

Από την εξίσωση 7.1.2.1, η πίεση εκφρασμένη σε decibels είναι

$$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{p_1^2}{2\rho_0 c} \right) / \left(\frac{p_2^2}{2\rho_0 c} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{p_1^2}{p_2^2} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{p_1}{p_2} \right) \quad (7.1.2.3)$$

Όπου p_1 είναι μια μέτρηση της ηχητικής πίεσης σε σχέση με το p_2 , πίεση αναφοράς. Οι βιοακουστικοί τυπικά δεν μετράνε ηχητική ένταση αλλά στάθμη ηχητικής πίεσης, ή SPL.

Τα μεγέθη της έντασης και της πίεσης εκφράζονται σε dB και γραφικά παρουσιάζονται σε λογαριθμικές μονάδες, λόγω της ευρείας ευαισθησίας που μπορεί να εκτεθεί το ανθρώπινο ακουστικό σύστημα. Το πρότυπο αναφοράς στον αέρα για το ντεσιμπέλ (0 dB) ορίζεται στο ακουστικό όριο της ανθρώπινης ακοής, η οποία είναι 0.0002 dyne/cm^2 , αυτό αντιστοιχεί σε μια ένταση αναφοράς στον αέρα από

10^{-12} Watts/m² ή στάθμη ηχητικής πίεσης στα 20 μPa. Συνήθως, ορίζουμε τον αερόφερτο ήχο σε όρους SPL, ένα SPL των 30 dB σημαίνει ότι ο ήχος είναι 30 dB πάνω από την τιμή αναφοράς των 20 μPa. Στο νερό, η τιμή αναφοράς είναι 1 μPa, και η διαφορά μεταξύ της τιμής αναφοράς του αέρα από αυτή του νερού είναι 26 dB. Έτσι, μια στάθμη ηχητικής πίεσης των 0 dB στον αέρα ισούται με 26 dB στο νερό. Κατά κανόνα, ισχύει ότι διπλή μεταβολή στην πίεση ισούται με 6 dB και δεκαπλάσια μεταβολή με 20 dB. Για διπλάσια και δεκαπλάσια μεταβολή στην ένταση θα έχουμε 3 dB και 10 dB μεταβολή, αντίστοιχα.

7.1.3 Ταχύτητα του Ήχου στο νερό

Η ταχύτητα του ήχου στο νερό ποικίλει ανάλογα το μέσο μεταφοράς και γενικότερα είναι μεγαλύτερη στα υγρά από ότι στα αέρια, αλλά ακόμα μεγαλύτερη στα στερεά. Ο ήχος ταξιδεύει 334 m/s στον αέρα και περίπου 1.500 m/s στο νερό. Η ταχύτητα του ήχου στο νερό επηρεάζεται από την πίεση, τη θερμοκρασία και την αλατότητα. Κατά προσέγγιση οι τιμές για το γλυκό νερό και το θαλασσινό νερό, αντίστοιχα, είναι 1450 και 1500 m/s για την ταχύτητα του ήχου, ενώ είναι 1000 και 1030 kg/m³ για την πυκνότητα. Ο ήχος μέσα στο νερό έχει απώλεια μετάδοσης, εξασθενείται, ανακλάται και διαθλάται.

Η ταχύτητα του ήχου στο νερό προσδιορίζεται από τον τύπο:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma B_T}{\rho_0}} \quad (7.1.3.1)$$

Όπου, γ είναι ο λόγος της θερμοχωρητικότητας υπό σταθερή πίεση προς τη θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο (=1.402), B_T είναι το ισόθερμο μέτρο ελαστικότητας όγκου. Για το θαλασσινό νερό 13 °C, το B_T είναι 2.28×10^9 N/m², ενώ η πυκνότητα ρ_0 είναι 1026 kg/m³ (Bass και Clark, 2003).

7.2 ΗΧΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΣΕ ΜΙΚΡΑ ΕΝΥΔΡΕΙΑ

7.2.1 Εισαγωγή

Εξαιτίας του σχετικά μεγάλου ακουστικού μήκους κύματος στο νερό και την παρουσία πολλών περιορισμών, το ακουστικό πεδίο μέσα σε ένα ενυδρείο μπορεί να περιλαμβάνει ένα συνδυασμό από πολλά στάσιμα κύματα. Συνέπεια αυτού είναι η ακουστική μοριακή ταχύτητα, η οποία είναι ανάλογη της πίεσης, να μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη ή κοντά στο μηδέν, από σημείο σε σημείο μέσα στο ενυδρείο. Γι' αυτό το λόγο, πρέπει να ληφθούν ειδικές προφυλάξεις προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι επιδράσεις των τοιχωμάτων του ενυδρείου. Από τη στιγμή που υπάρχουν ενυδρεία σε διάφορα σχήματα, μεγέθη και βάθη είναι δύσκολο να περιγραφεί το ακουστικό πεδίο με ένα γενικό τρόπο.

Αυτό που ξεχωρίζει ένα μεγάλο από ένα μικρό ενυδρείο εξαρτάται κυρίως από το μήκος κύματος του ήχου που παράγεται και τις διαστάσεις του ενυδρείου. Τα μήκη κύματος είναι συχνά μεγαλύτερα από τα ενυδρεία, εφόσον η ακουστική των ψαριών περιλαμβάνει συχνότητες μέχρι κάποια kHz. Πολλά ψάρια παράγουν ήχους σε μικρούς παλμούς κι αυτοί οι ήχοι συχνά άρουν κάποιο περιορισμό ακόμα και πριν την ολοκλήρωση της εκπομπής του ήχου (Whitlow και Hastings, 2008).

Η αντήρηση είναι το κύριο πρόβλημα σε ένα μικρό ενυδρείο. Ένα ακουστικό σήμα υφίσταται πολλαπλές ανακλάσεις, οι οποίες μπορούν να δημιουργήσουν στάσιμα κύματα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται στο ενυδρείο συχνότητες συντονισμού (Akamatsu et al., 2002). Οι συχνότητες συντονισμού βρίσκονται με τη λύση της τρισδιάστατης κυματικής εξίσωσης συμπεριλαμβάνοντας τους κατάλληλους περιορισμούς. Για ένα ορθογώνιο δοχείο μήκους L , πλάτους W και ύψους D , οι συχνότητες συντονισμού δίνονται από την εξίσωση:

$$f_{lmn} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{l}{L}\right)^2 + \left(\frac{m}{W}\right)^2 + \left(\frac{n}{D}\right)^2} \quad (7.2.1.1)$$

Όπου, c είναι η ταχύτητα του ήχου στο νερό, κατά προσέγγιση 1.5×10^5 cm/s, εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία του νερού και την αλατότητα, l , m και n είναι ακέραιοι αριθμοί που καθορίζουν τον τρόπο επιρροής. Η χαμηλότερη συχνότητα συντονισμού βρίσκεται όταν l , m και n ισούται με ένα.

7.2.2 Θεωρητική Προσέγγιση της Ακουστικής Μικρών Ενυδρείων

Το σχήμα των περισσοτέρων ενυδρείων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με την μία διάσταση αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με τις άλλες. Στις περιπτώσεις όπου τα τοιχώματα του ενυδρείου είναι λεπτά από ελαφρύ σχετικά υλικό, π.χ. γυαλί ή κάποιο είδος πλαστικού, τότε αποδεικνύεται πειραματικά αλλά και θεωρητικά, ότι οι επιφάνειες του ενυδρείου συμπεριφέρονται ως ελεύθερες, (Parvulescu, 1967, Akamatsu et al. 2002). Οι συχνότητες συντονισμού για ένα ορθογώνιο γυάλινο ή πλαστικό ενυδρείο, αν θεωρήσουμε ότι σε όλες τις επιφάνειες του η ακουστική πίεση οριακά μηδενίζεται, δίνεται από τη σχέση:

$$f_{lmn} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{l}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{m}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n}{L_z}\right)^2} \quad (7.2.2.1)$$

όπου c η ταχύτητα του ήχου στο νερό, L_x, L_y, L_z το μήκος, το πλάτος και το ύψος του ενυδρείου αντίστοιχα και $l, m, n = 1, 2, 3, \dots$

Όταν μία από τις διαστάσεις (π.χ. η L_x), γίνεται αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με τις άλλες δύο, τα ακουστικά κύματα τα οποία έχουν χαμηλότερη συχνότητα από την 1^η ιδιοσυχνότητα του διαδιδόμενου ιδιορυθμού (συχνότητα αποκοπής), αποκτούν μιγαδικό κυματαριθμό και εξασθενούν εκθετικά μέσα στο ενυδρείο, το οποίο θεωρείται πια ως κυματοδηγός. Η συχνότητα αποκοπής για ορθογώνια ενυδρεία (με τις συνοριακές συνθήκες που αναφέρθηκαν παραπάνω), θα δίνεται από τη σχέση:

$$f_{cutoff} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{1}{L_z}\right)^2} \quad (7.2.2.2)$$

Αν θεωρήσουμε το ενυδρείο ως ένα κυματοδηγό, τότε ο ήχος θα εξασθενεί αρκετά όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή. Ορίζουμε σαν απόσταση εξασθένησης (attenuation distance), (Akamatsu et al. 2002), την απόσταση για την οποία έχουμε 20 dB μείωση στον ήχο. Η απόσταση αυτή εξαρτάται από τη συχνότητα, καθώς όταν η συχνότητα του ήχου του ψαριού είναι μικρότερη από τη συχνότητα αποκοπής, τότε, το πλάτος της κυματομορφής του ήχου, μειώνεται πολύ γρήγορα. Πιο συγκεκριμένα, όταν η συχνότητα είναι μικρότερη από τη συχνότητα αποκοπής, τότε οι κυματαριθμοί που αντιστοιχούν σε κάθε ιδιορυθμό στον κυματοδηγό, είναι μιγαδικοί αριθμοί και έχουμε εκθετική μείωση του πλάτους κατά τη διάδοση κάθε ιδιορυθμού (Kouzoupris

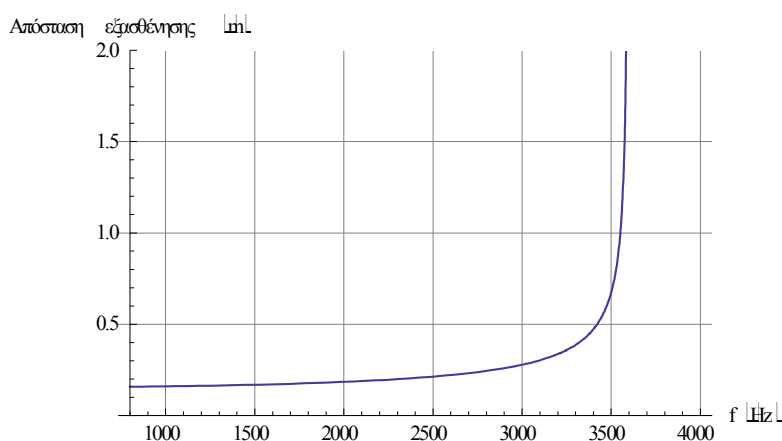
και Papadakis, 2012). Την λιγότερη μείωση θα έχει ο 1^{ος} ιδιορυθμός, για τον οποίο η πίεση θα έχει την παρακάτω μορφή:

$$p_{(x,y,z,t)} \propto 10^{-x/2D} \sin\left(\frac{\pi y}{L_y}\right) \sin\left(\frac{\pi z}{L_z}\right) e^{-i\omega t} \quad (7.2.2.3)$$

και η απόσταση εξασθένησης $D(f)$, θα ορίζεται σύμφωνα με την εξής σχέση:

$$D(f) = \frac{1}{2\pi f_{cutoff}} \frac{c \ln(10)}{\sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_{cutoff}}\right)^2}} \quad (7.2.2.4)$$

Για παράδειγμα στην περίπτωση του ενυδρείου, που χρησιμοποιήσαμε, με ύψος νερού 0.19 m, μήκος 1.14 m και πλάτος 0.35 m, η απόσταση αυτή είναι 12, 14, 19, 90 cm για τα 500, 2500, 3500 και 4450 Hz αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι το πλάτος του ήχου μειώνεται αρκετά γρήγορα με την απόσταση. Στο Σχήμα 7.2.2.1 βλέπουμε την απόσταση εξασθένησης σε μέτρα σε σχέση με τη συχνότητα για βάθος νερού 0.26 m. Το βάθος του νερού, στο οποίο έγιναν όλες σχεδόν οι ηχογραφήσεις ήταν αυτό των 0.26 m. Παρατηρούμε ότι για ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων είναι σχεδόν σταθερή η απόσταση εξασθένησης, η οποία μάλιστα είναι αρκετά μικρή.



Σχήμα 7.2.2.1: Η απόσταση εξασθένησης σε σχέση με τη συχνότητα στη περίπτωση όπου το βάθος του νερού είναι 0.26 m και όλες οι επιφάνειες θεωρούνται ελεύθερες.

Επειδή το ενυδρείο που χρησιμοποιήθηκε στα περισσότερα πειράματα ήταν ένα πλαστικό ενυδρείο, του οποίου η κάτω επιφάνεια ακουμπούσε στο δάπεδο, φάνηκε πιο λογικό να θεωρήσουμε διαφορετική συνοριακή συνθήκη μόνο για την επιφάνεια αυτή και να μελετήσουμε τις διαφορές που υπήρχαν σε σχέση με την προηγούμενη

περίπτωση. Θεωρήσαμε ως σκληρή την επιφάνεια του πυθμένα δηλαδή η πίεση δεν μπορούσε να μηδενίζεται πάνω σε αυτή. Προέκυψαν τότε αρκετά διαφορετικές τιμές για τις ιδιοσυχνότητες συντονισμού του ενυδρείου, αλλά αν θεωρήσουμε το ενυδρείο ως κυματοδηγό και για τις συχνότητες αποκοπής. Οι συχνότητες συντονισμού σε αυτή την περίπτωση θα δίνονται από τη σχέση:

$$f_{lmn} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{l}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{m}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{2n+1}{2L_z}\right)^2} \quad (7.2.2.5)$$

όπου $l, m, n = 1, 2, 3, \dots$ και $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Η ελάχιστη συχνότητα συντονισμού αντιστοιχεί στις τιμές όπου τα $l, m, n = 1, 1, 0$ στην παραπάνω σχέση. Η συχνότητα αποκοπής για ορθογώνια ενυδρεία (με τις συνοριακές συνθήκες που αναφέρθηκαν παραπάνω), δίνεται από τη σχέση:

$$f_{cutoff} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{1}{2L_z}\right)^2} \quad (7.2.2.6)$$

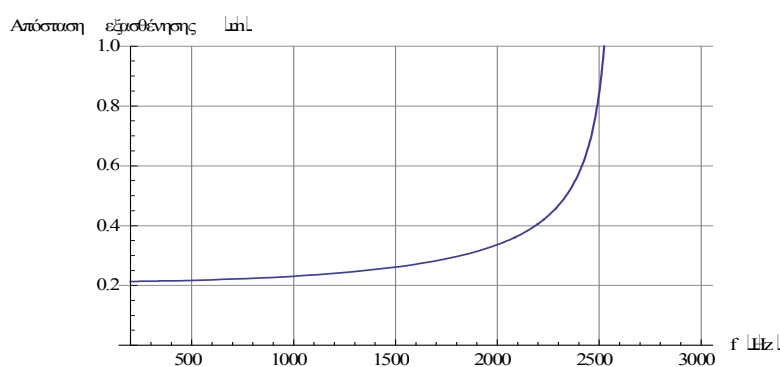
Οι συχνότητες αποκοπής και οι χαμηλότερες συχνότητες συντονισμού για το ίδιο ενυδρείο αλλά για διάφορες στάθμες νερού συνοψίζονται για τις δύο περιπτώσεις, όπου έχουμε διαφορετικές συνοριακές συνθήκες στον Πίνακα 7.2.2.1. Το μήκος L_x και το πλάτος L_y του ενυδρείου είναι 1.14 και 0.35 m αντίστοιχα. Το L_z αντιστοιχεί στο ύψος του νερού.

<u>Βάθος νερού</u>	<u>Όλες οι επιφάνειες ελεύθερες</u>		<u>Όλες οι επιφάνειες ελεύθερες εκτός από τον πυθμένα</u>	
	Συχνότητα αποκοπής (Hz)	Χαμηλότερη συχνότητα συντονισμού (Hz)	Συχνότητα αποκοπής (Hz)	Χαμηλότερη συχνότητα συντονισμού (Hz)
0.15	5439	5479	3292	3357
0.19	4491	4539	2913	2986
0.23	3902	3957	2692	2772
0.26	3593	3653	2583	2665
0.30	3292	3357	2480	2566

Πίνακας 7.2.2.1: Οι συχνότητες αποκοπής και οι χαμηλότερες συχνότητες συντονισμού για το ίδιο ενυδρείο αλλά για διάφορες στάθμες νερού.

Βλέπουμε ότι, όταν η μία διάσταση του ενυδρείου είναι σταθερή, οι συχνότητες αποκοπής και συντονισμού είναι μικρότερες σε σχέση με την περίπτωση όπου όλες οι επιφάνειες είναι ελεύθερες. Επίσης, παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος του νερού, τόσο πιο μικρές είναι η συχνότητα αποκοπής και η συχνότητα συντονισμού του ενυδρείου.

Στο Σχήμα 7.2.2.2, βλέπουμε την απόσταση εξασθένησης σε σχέση με τη συχνότητα, στη περίπτωση όπου το βάθος του νερού είναι 0.26 m και ο πυθμένας θεωρείται σκληρός (σταθερός).



Σχήμα 7.2.2.2: Η απόσταση εξασθένησης σε σχέση με τη συχνότητα στη περίπτωση όπου το βάθος του νερού είναι 0.26 m και ο πυθμένας θεωρείται σκληρός (σταθερός).

Παρατηρούμε ότι μέχρι τα 1000 Hz, η απόσταση εξασθένησης είναι περίπου 22 cm. Πράγμα που σημαίνει ότι αν η συχνότητα του ήχου του ψαριού είναι έως τα 1000 Hz, τότε σε απόσταση μεγαλύτερη των 22 cm, θα έχουμε 20 dB μείωση του πλάτους του ήχου, με αποτέλεσμα να μην είναι πάντα «ακουστός» ή να επικαλύπτεται από θόρυβο. Επίσης, ο ήχος του ψαριού παραμορφώνεται όταν περιέχει συχνότητες υψηλότερες από τη συχνότητα αποκοπής, γιατί αυτές παραμένουν ενώ οι υπόλοιπες εξασθενούν.

7.2.3 Μέθοδοι Ακουστικών Μετρήσεων σε Μικρά Ενυδρεία

Ενεργητική ακουστική και παθητική ακουστική

Έχουν αναπτυχθεί δύο χρήσεις της ακουστικής για την μελέτη των συμπεριφορών των ψαριών. Η ενεργητική ακουστική (active acoustic), χρησιμοποιεί ήχους

παραγόμενους από εκπομπούς σήματος, αναπαράγοντας τον ήχο του ψαριού προκειμένου να μελετήσει την συμπεριφορά τους. Η παθητική ακουστική (passive acoustic), για να συμπεράνει τη συμπεριφορά των ψαριών, βασίζεται στο να ηχογραφεί με υδρόφωνα τους ήχους που παράγουν. Η παθητική ακουστική παρέχει ένα σχεδόν τέλειο εργαλείο παρατήρησης της βιολογικής δραστηριότητας των ψαριών. Το πλεονέκτημα της μεθόδου, είναι ότι ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται, δεν επηρεάζεται από την βιο-ρύπανση και δεν απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ενέργειας για την λειτουργία του (Mann, 2012). Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι, ότι για να είναι χρήσιμη, πρέπει ένα ψάρι να παράγει ήχο και έτσι περιορίζεται στα είδη που παράγουν ήχους. Σε αρκετές περιπτώσεις τα ψάρια παράγουν ήχους συγκεκριμένες χρονικές περιόδους (π.χ. χειμώνα) αλλά και σε συγκεκριμένα κοινωνικά και βιολογικά πλαίσια (π.χ. ερωτοτροπία) και έτσι η παθητική ακουστική απαιτεί αρκετό χρόνο ηχογραφήσεων (Mann, 2008).

Οι ηχογραφήσεις των ψαριών στο συγκεκριμένο πείραμα έγιναν με την μέθοδο της παθητικής ακουστικής.

Οι Akamatsu, Okumura, Novarini, Y. Yan (2002), παρουσίασαν μια απλή αλλά πρακτική τεχνική της παθητικής ακουστικής, για την σωστή ηχογράφιση ψαριών και μετρήσεων σε μικρό ενυδρείο. Ο γενικές προϋποθέσεις είναι:

α) ο ήχος που παράγεται από τα ψάρια δεν πρέπει να είναι παρόμοιος με την ελάχιστη αντηχητική συχνότητα του ενυδρείου και

β) το υδρόφωνο πρέπει να τοποθετηθεί μέσα στην ελάχιστη απόσταση από την ηχητική πηγή για την ελαχιστοποίηση πιθανού θορύβου.

Ένα χρήσιμο πλαίσιο εργασίας για ηχογραφήσεις σε μικρά ορθογώνια ενυδρεία είναι το εξής:

- Μετράμε το βάθος, το πλάτος και το μήκος ενός ορθογωνίου ενυδρείου.
- Εάν η ελάχιστη διάσταση (πλάτος, μήκος) του ενυδρείου, είναι πολύ μεγαλύτερη από την απόσταση που ο ήχος μπορεί να ταξιδέψει κατά τη διάρκεια ενός παλμού, τότε το ενυδρείο μπορεί να θεωρηθεί σαν ημιανοιχτό σύστημα νερού. Με αυτή την προϋπόθεση, είναι πιθανό να μετρήσουμε τον αρχικό ήχο με λιγότερο θόρυβο, γιατί τα απευθείας και ανακλώμενα κύματα

θα χωριστούν το ένα από το άλλο στη σφαίρα του χρόνου, εκτός, βέβαια από τις ανακλάσεις της επιφάνειας του νερού.

- Εάν το μήκος του ενυδρείου είναι μικρότερο από την απόσταση που μπορεί να ταξιδέψει ο ήχος του ψαριού κατά τη διάρκεια του παλμού, τότε πρέπει να γίνει η ακόλουθη διαδικασία:
 1. Υπολογίζουμε την ελάχιστη αντηχητική συχνότητα (F_{min}) με τη χρήση του τύπου (7.2.2.1). Κατόπιν, την ελάχιστη απόσταση (D) μπορούμε να την υπολογίσουμε από τον τύπο (7.2.2.4).
 2. Ηχογραφούμε τον ήχο των ψαριών μέσα στην ελάχιστη απόσταση σε ένα μικρό δοχείο. Μετράμε την κυρίαρχη συχνότητα του αρχικού ήχου του ψαριού(F_{fish}).
 3. Εάν $F_{min} \ll F_{fish}$ ή $F_{min} \gg F_{fish}$, το μικρό δοχείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ηχογράφιση ψαριών. Αν $F_{min} = F_{fish}$, αδειάζουμε λίγο νερό για να μειώσουμε τη στάθμη του ώστε να αυξηθεί η F_{min} και μετά προχωράμε στο βήμα 4. Εάν η μικρότερη στάθμη του νερού προκαλέσει αλλαγές στην συμπεριφορά του ψαριού, προσθέτουμε νερό για να μειώσουμε την αξία της F_{min} και μετά προχωράμε στο βήμα 5.
 4. Στην περίπτωση που $F_{min} \gg F_{fish}$, ηχογραφούμε τον ήχο μέσα στην ελάχιστη απόσταση από τον ήχο του ψαριού. Όταν η ελάχιστη απόσταση παραμένει σταθερή, κάθε συχνότητα πρέπει να μειώνεται κοντά στις συχνότητες γύρω από την ελάχιστη αντηχητική συχνότητα του ενυδρείου. Γι' αυτό το σχήμα του φάσματος είναι κοντά σ' αυτό το εύρος συχνοτήτων. Όμως, αφού η ηχητική πίεση μειώνεται εκθετικά κάτω από αυτές τις συνθήκες, είναι πολύ δύσκολο να έχουμε μια ακριβή μέτρηση της απόλυτης ηχητικής πίεσης εκτός αν το ψάρι παραμένει σε μια σταθερή θέση.
 5. Στην περίπτωση που $F_{min} \ll F_{fish}$, η ελάχιστη απόσταση είναι μεγαλύτερη από ότι στην περίπτωση όπου, $F_{min} \gg F_{fish}$. Σ' αυτή την περίπτωση, η κοντινότερη απόσταση ανάμεσα στο ψάρι και στο υδρόφωνο, αυξάνεται ανάλογα και αφήνει περισσότερους περιορισμούς στην θέση του υδροφώνου. Παρόλα αυτά τα αντηχητικά στοιχεία από υψηλότερους τρόπους ταλάντωσης, μπορεί να είναι πιο κοντά στην F_{fish} . Αν το φάσμα της F_{fish} είναι ανεξάρτητο από την απόσταση ανάμεσα στην ηχητική πηγή και το υδρόφωνο,

αυτά τα συστατικά μπορεί να είναι το αποτέλεσμα της αντηχητικής συχνότητας του δεύτερου ή του τρίτου τρόπου ταλάντωσης.

Η εφαρμογή ενός φίλτρου συχνοτήτων μπορεί να αποδεικτική ωφέλιμη. Αν ο ηχογραφούμενος ήχος έχει μια επιπλέον ταλάντωση, προκαλούμενη από το αντηχητικό κύμα, τότε ένα φίλτρο διέλευσης συχνοτήτων (band pass filter), μπορεί να εφαρμοστεί για να εμποδίσει τα αντηχητικά συστατικά και άλλες πηγές ανεπιθύμητου θορύβου. Στο εργαστήριο, συχνά παρεμβάλλονται χαμηλών συχνοτήτων θόρυβοι στους ηχογραφούμενους ήχους. Πιθανές πηγές τέτοιων θορύβων δημιουργούνται από δονήσεις, δραστηριότητες ανθρώπων, εναλλασσόμενο ρεύμα, κλπ. Πρέπει να επιλεγθεί ένα φίλτρο διέλευσης συχνοτήτων στο οποίο περνάει η F_{fish} αλλά αποκλείει την F_{min} και τον θόρυβο.

7.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΜΙΚΡΩΝ ΕΝΥΔΡΕΙΩΝ

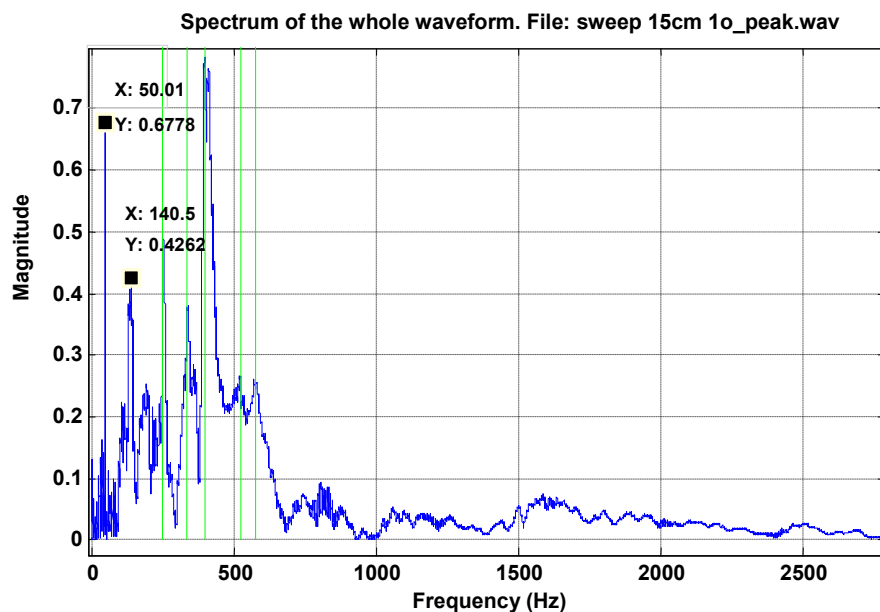
Πραγματοποιήθηκαν τρία πειράματα-δοκιμές με σκοπό να παραχθεί ήχος διαφορετικών συχνοτήτων μέσα στο βασικό ενυδρείο και να γίνει ταυτόχρονη ηχογράφηση, ώστε να διερευνηθεί εάν υπάρχουν συχνότητες, οι οποίες υπερτερούν των άλλων ή/και σχετίζονται με τις συχνότητες αποκοπής για διάφορα βάθη νερού. Οι συχνότητες που μας ενδιαφέρουν και στις οποίες ενδεχομένως κάποια ψάρια εκπέμπουν ήχους, αρχίζουν ακόμα και από τα 100 Hz.

Στο πρώτο πείραμα, χρησιμοποιήσαμε ένα υποβρύχιο ηχείο (με διαστάσεις περίπου 30x30x30 cm), το οποίο μπορούσε αποδοτικά να εκπέμψει σε χαμηλές συχνότητες. Όμως, ο όγκος που καταλάμβανε αλλοίωνε αισθητά την ακουστική μέσα στο ενυδρείο.

Στο δεύτερο πείραμα η πηγή ήταν ένα υδρόφωνο-εκπομπός που μπορούσε να εκπέμψει αποδοτικά μόνο σε αρκετά υψηλές συχνότητες (πάνω από 2000 Hz). Σε αυτή την περίπτωση, ήταν αρκετά δύσκολο να ηχογραφηθεί ο ήχος των ψαριών, καθώς οι συχνότητες που εκπέμπουν είναι χαμηλές, οπότε δεν τις λάμβανε το υδρόφωνο.

Στο τρίτο πείραμα, έγιναν προσπάθειες να οδηγηθεί και να ηχογραφηθεί το πεδίο μέσα στο ενυδρείο μέσω ενός εξωτερικού ηχείου, σαρώνοντας συχνότητες από 200 –

3000 Hz. Με σταθερή τη θέση του ηχείου πάνω από το ενυδρείο έγιναν ηχογραφήσεις μέσα στο ενυδρείο για διάφορα βάθη νερού. Στο Σχήμα 7.3.1 βλέπουμε τις συχνότητες που συντονίζει το ενυδρείο για βάθος νερού 15 cm.



Σχήμα 7.3.1: Το φάσμα από τη σάρωση των συχνοτήτων. Οι συχνότητες που συντονίζει το ενυδρείο είναι στα 248.8, 334.8, 397.9, 524.2 και 575.8 Hz.

Όπως, ήταν, όμως, σχεδόν αναμενόμενο, ούτε το πείραμα αυτό δεν κατέδειξε κάποια σαφή αποτελέσματα, κυρίως λόγω των εξής παραγόντων:

1. Υπήρχε η μεταβλητή απόδοση του ηχείου σε σχέση με τη συχνότητα.
2. Δεν μπορούσε να ορισθεί ακριβώς (ανάλογα και με τη συχνότητα), με ποιο τρόπο μεταδιδόταν ο ήχος μέσα στο νερό. Δεν μπορούσε, δηλαδή, να οριστεί η ακριβής θέση της πηγής.
3. Υπήρχε, η ποικίλη απόκριση κάθε τοιχώματος του ενυδρείου, το οποίο δεχόταν και τη φόρτιση του νερού. Με την αλλαγή και της στάθμης του νερού η δομική συμπεριφορά κάθε τοιχώματος είναι διαφορετική με αποτέλεσμα να αποκρίνεται και να εκπέμπει σε διαφορετικές συχνότητες (Τριπολιτάκη, Δασκαλάκη, Κουζούπης και Παπαδάκης, 2012).

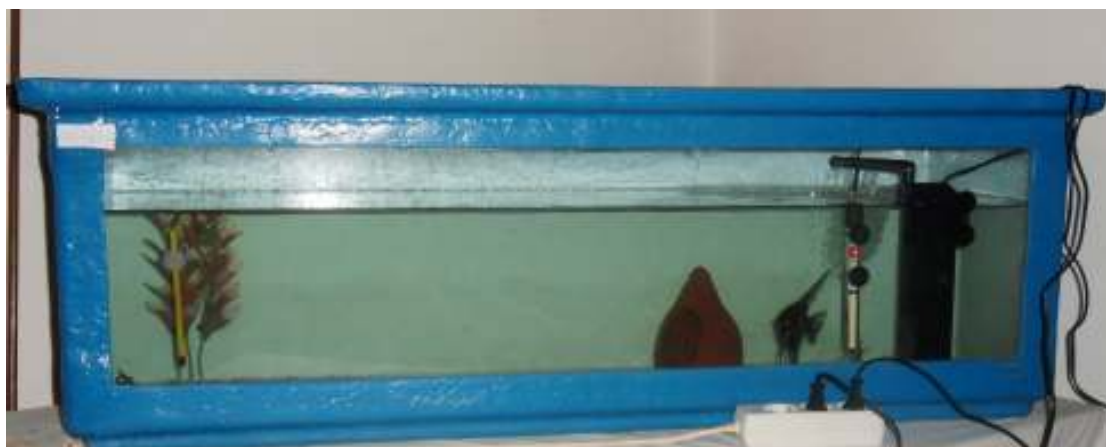
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΨΑΡΙΩΝ

8.1. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΗΧΟΓΡΑΦΗΣΕΩΝ

Για τις ηχογραφήσεις χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω:

- Ενυδρεία των 250, 104, 85 και 35 λίτρων.

Το κάθε ενυδρείο διέθετε τον κατάλληλο εξοπλισμό: φίλτρο-κυκλοφορητή νερού, θερμαντήρα και θερμομέτρο. Το βασικό ενυδρείο που χρησιμοποιήθηκε, (Εικ. 8.1.1), είχε ως διάκοσμο ένα ή δύο φυτά και μία μικρή σπηλιά, καθώς τα γατόψαρα έχουν ανάγκη μικρούς χώρους για να κρύβονται.



Εικόνα 8.1.1: Βασικό ενυδρείο ηχογραφήσεων, 104 λίτρων νερού.

- Υδρόφωνο.

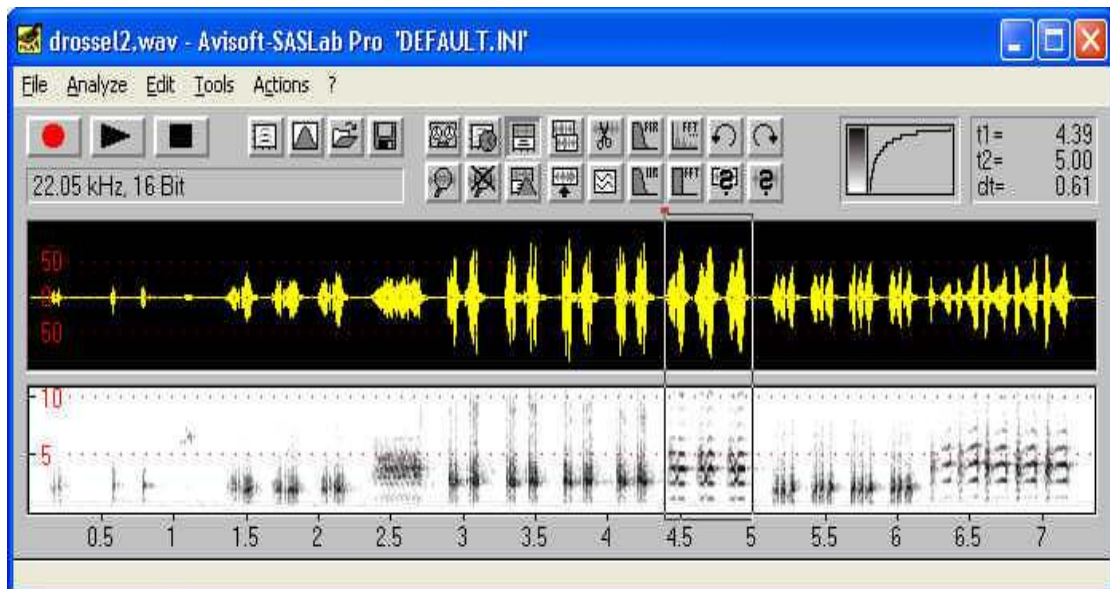
Το συγκεκριμένο υδρόφωνο (Εικ. 8.1.2), ονομάζεται H2 και είναι της εταιρείας Aquarian Audio Products, έχει συχνοτική απόκριση 20 Hz - 100 KHz και πολικό διάγραμμα παντοκατευθυντικό. Το υδρόφωνο ήταν τοποθετημένο σε διαφορετικά σημεία του ενυδρείου σε κάθε ηχογράφιση και τις περισσότερες φορές σε κοντινή απόσταση από τον βυθό (τα γατόψαρα είναι ψάρια βενθικά).



Εικόνα 8.1.2: Υδροφώνο H2

- Λογισμικά Ηχογράφησης και Επεξεργασίας ήχου.

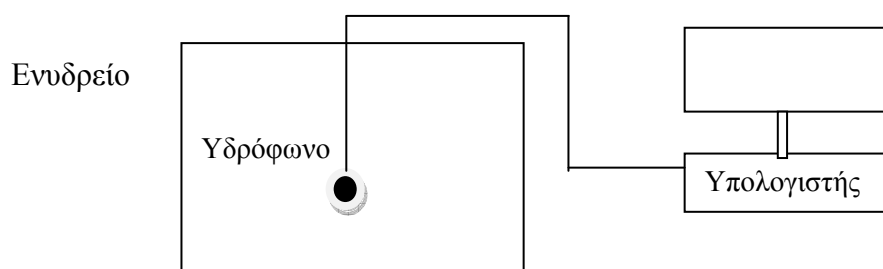
Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή του ήχου, είναι της εταιρείας Avisoft Bioacoustics, ονομάζεται SasLab Pro και ειδικεύεται στην ηχογράφηση και επεξεργασία των ήχων, (Εικ. 8.1.3).



Εικόνα 8.1.3: Το πρόγραμμα SASLab Pro.

Αποτελείται από το πρόγραμμα «SASLab recorder USG», το οποίο είναι υπεύθυνο για την ηχογράφηση και την αποθήκευση των ήχων στον υπολογιστή και από το πρόγραμμα «SASLab Pro», το οποίο αναλαμβάνει την περαιτέρω επεξεργασία των ήχων αυτών.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.1.1, το υδρόφωνο κατέληγε στον υπολογιστή και μέσω του προγράμματος SASLab Recorder USG έγινε η εγγραφή των ήχων.



Σχήμα 8.1.1: Εξοπλισμός ηχογράφησης ήχου ψαριών.

Για την επεξεργασία των ήχων, εκτός από το Avisoft, χρησιμοποιήθηκε και το λογισμικό Matlab.

Οι ηχογραφήσεις των ψαριών διήρκησαν περίπου 1,5 έτος, στις οποίες καταγράφηκαν πάρα πολλά αρχεία ήχου, εκ των οποίων πάνω από 70 αρχεία ήταν ήχοι από ψάρια. Έγιναν ηχογραφήσεις στα ψάρια γλυκού και αλμυρού νερού που βλέπετε στον Πίνακα 8.1.1.

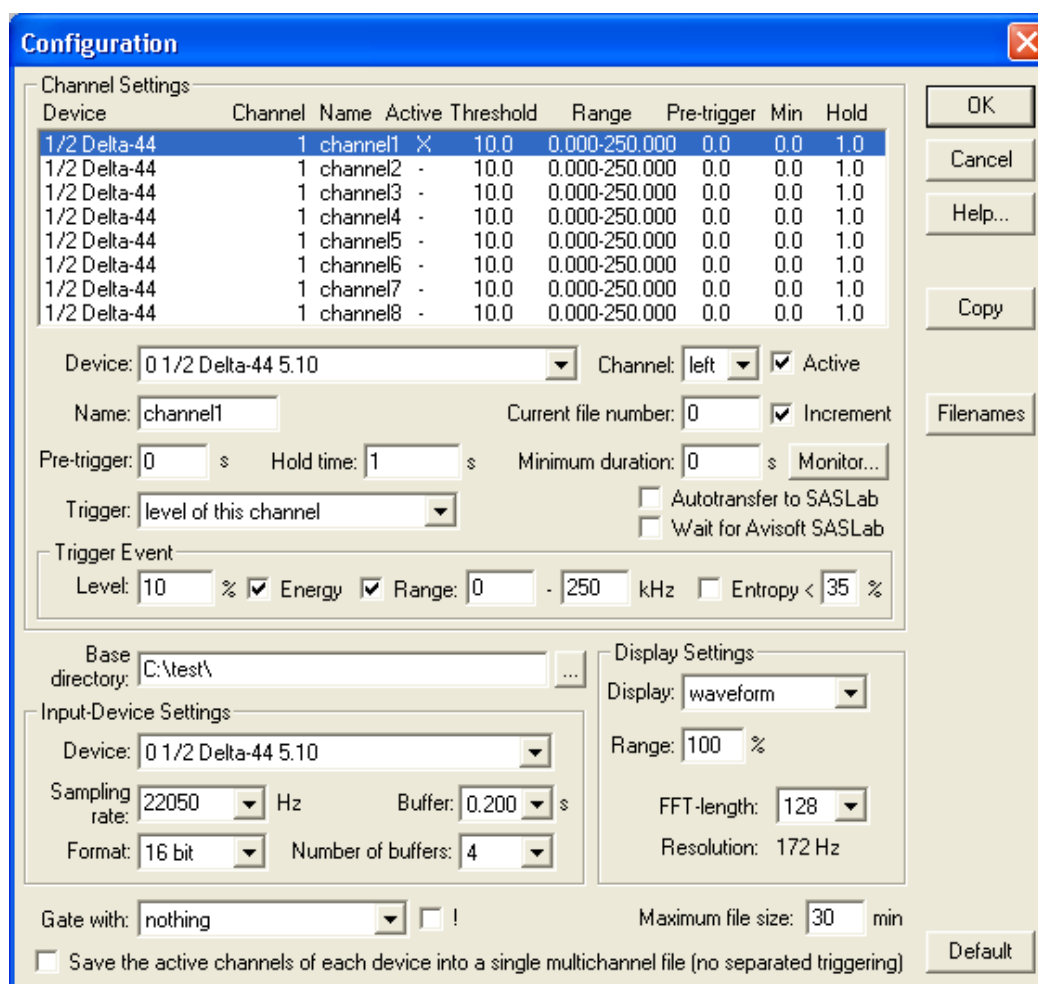
Ψάρια γλυκού νερού	Ψάρια αλμυρού νερού
Pimelodus pictus	Oblama melanura
Pterophyllum scalare	Sarpa salpa
Trichogaster leeri	Balistes capriscus
Paracheiroidon simulans	Diplodus sargus sargus
Ancistrus cirrhosus	Sparus aurata

Πίνακας 8.1.1 Τα ψάρια γλυκού και αλμυρού νερού που ηχογραφήθηκαν.

8.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΗΧΟΓΡΑΦΗΣΕΩΝ

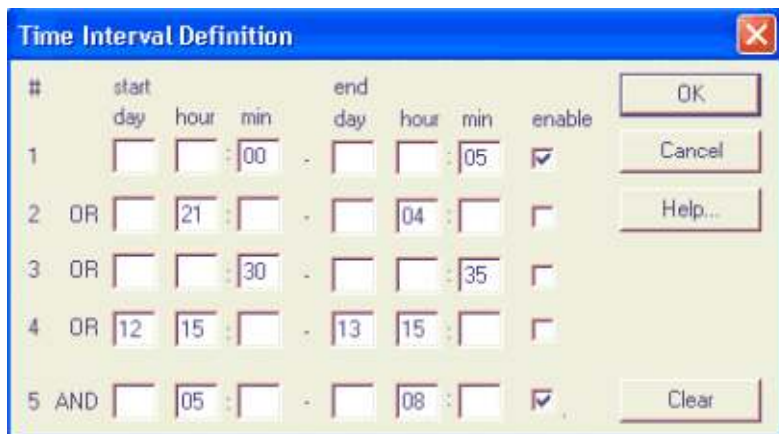
Μια συχνότητα για να αναπαραχθεί με ακρίβεια στα ψηφιακά σήματα, πρέπει η συχνότητα δειγματοληψίας να είναι τουλάχιστον η διπλάσια από την συχνότητα αυτή. Έτσι, με την συχνότητα δειγματοληψίας που διαλέξαμε για τις ηχογραφήσεις (22050 Hz), μπορούσαμε να ηχογραφήσουμε με ακρίβεια σε ψηφιακή μορφή, συχνότητες μέχρι 11025 Hz. Γνωρίζαμε ότι η συχνότητα του ήχου των υπό μελέτη ψαριών, δεν συνηθίζεται να ξεπερνάει την συγκεκριμένη συχνότητα.

Μέσω του λογισμικού «SasLab pro», (Εικ. 8.2.1), έγινε η επιλογή των κατάλληλων ρυθμίσεων για την ηχογράφησή μας.



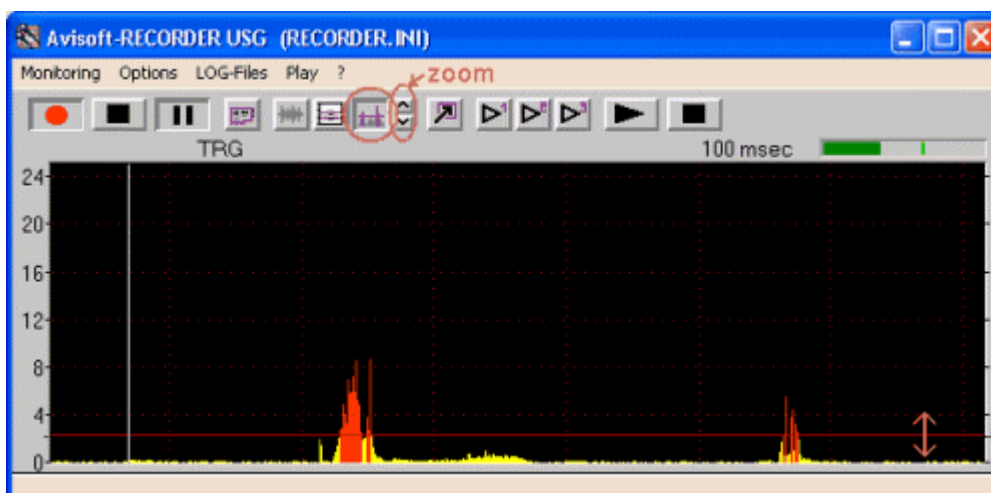
Εικόνα 8.2.1: Ρυθμίσεις ηχογράφησης από το πρόγραμμα SASLab Pro (SASLab Recorder USG Configurations).

Πέρα από τις βασικές ρυθμίσεις όπως κανάλι, συχνότητα δειγματοληψίας κλπ, υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού χρονικού διαστήματος ηχογράφησης (Εικ. 8.2.2), να καταγράψει δηλαδή τις συγκεκριμένες ώρες που επιλέγει ο χρήστης,



Εικόνα 8.2.2: Καθορισμός χρονικού διαστήματος ηχογράφησης.

και ηχογράφησης με κατώτατο όριο (threshold), όπου η ηχογράφηση ενεργοποιείται όταν ο ήχος ξεπεράσει το όριο που έχει επιλεγθεί (Εικ. 8.2.3).



Εικόνα 8.2.3: Ηχογράφηση με threshold. Αν η ένταση του παραγόμενου ήχου ξεπεράσει το κατώφλι έντασης που έχει οριστεί (κόκκινη γραμμή) τότε ο ήχος καταγράφεται.

Σε κάποιες από τις ηχογραφήσεις έγινε ταυτόχρονη καταγραφή εικόνας από μια ψηφιακή κάμερα, όπου κατά την επεξεργασία του οπτικοακουστικού υλικού ο ήχος συγχρονίστηκε με την εικόνα. Έτσι, υπήρχε η δυνατότητα να παρατηρηθούν οι αντιδράσεις των ψαριών κατά την παραγωγή του ήχου και η κοινωνική τους συμπεριφορά (Εικ. 8.2.2).



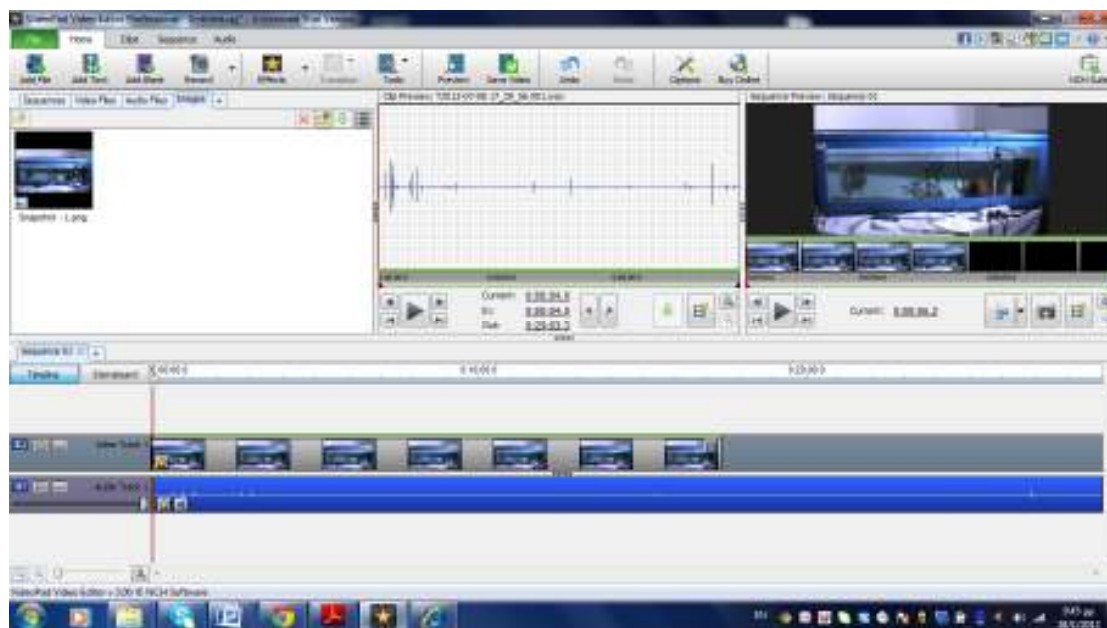
Εικόνα 8.2.2: Χρήση βινεοκάμερας κατά τις ηχογραφήσεις των ψαριών.

8.2.1 Συγχρονισμός της εικόνας με τον ήχο

Όλα τα πειράματα που έγιναν, κινηματογραφήθηκαν με κάμερα Mini DV και στην συνέχεια συγχρονίστηκαν τα αρχεία που επεξεργάστηκαν για κάθε πείραμα αντίστοιχα. Αυτό μας βοήθησε να βγάλουμε κάποια συμπεράσματα από τα φωνήματα, καθώς σε οποιοδήποτε σημείο της ηχογράφησης ξέραμε ακριβώς τι έκαναν τα ψάρια.

Ο καλύτερος τρόπος για να συγχρονιστούν τα δύο αρχεία ήταν η μέθοδος που χρησιμοποιούν στον κινηματογράφο για να συγχρονίσουν την εικόνα με τον ήχο, καθώς οι συσκευές που καταγράφουν τα δεδομένα της εικόνας και τα δεδομένα του ήχου είναι διαφορετικές. Η μέθοδος που χρησιμοποιήσαμε για τον συγχρονισμό ήταν ένα «παλαμάκι» μπροστά από τον φακό της κάμερας και κοντά στο υδρόφωνο που τοποθετήθηκε για να γίνει η ηχογράφηση και τα πειράματα. Με αυτό τον τρόπο, καταγράφεται ο ήχος σαν ένας μοναδιαίος παλμός στο κανάλι του ήχου που γράφεται στην ηχογράφηση και επομένως μπορεί εύκολα να συγχρονιστεί με την εικόνα.

Αρχικά, επιλέχθηκαν τα βίντεο που μας ενδιέφεραν και στη συνέχεια «κόπηκαν» με το πρόγραμμα VideoPad Video editor. Έπειτα, με το ίδιο πρόγραμμα, το οποίο μπορεί να επεξεργαστεί σήματα εικόνας και ήχου, συγχρονίστηκαν τα αρχεία της εικόνας με το σήμα του ήχου της ηχογράφησης. Στην Εικόνα 8.2.1.1, φαίνονται τα δύο αυτά σήματα όπου στο πρώτο κανάλι βρίσκεται η εικόνα και στο δεύτερο κανάλι βρίσκεται ο ήχος που καταγράφηκε στις ηχογραφήσεις.



Εικόνα 8.2.1.1: Συγχρονισμός της εικόνας με το επεξεργασμένο σήμα των ηχογραφήσεων.

8.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

8.3.1 Ηχογράφηση ψαριών θαλασσινού νερού

Τα ψάρια θαλασσινού νερού είναι δύσκολο να διατηρηθούν λόγω του εξειδικευμένου εξοπλισμού που απαιτούν για τη ρύθμιση της αλατότητας. Γι' αυτό το λόγο, δεν υπήρχε η δυνατότητα διακοπής των μηχανημάτων του ενυδρείου και η ηχογράφηση τους - διάρκειας 40 ωρών - πραγματοποιήθηκε εκτός εργαστηρίου. Το ενυδρείο είχε διαστάσεις, μήκος x πλάτος x ύψος: 0.5 m x 0.5 m x 1 m. Τα ψάρια αλμυρού νερού που ηχογραφήθηκαν φαίνονται στον Πίνακα 8.3.2.1.

ΓΕΝΟΣ	ΕΙΔΟΣ	ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	ΚΟΙΝΟ ΟΝΟΜΑ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ
Oblada	melanura	Sparidae	Saddled seabream	Ατλαντικός, Μεσόγειος
Sarpa	salpa	Sparidae	Salema	Ατλαντικός, Μεσόγειος
Balistes	capriscus	Balistidae	Grey triggerfish	Ατλαντικός, Μεσόγειος
Diplodus sargus	sargus	Sparidae	White seabream	Ατλαντικός, Μεσόγειος
Sparus	aurata	Sparidae	Gilthead seabream	Ατλαντικός

Πίνακας 8.3.2.1: Ψάρια θαλασσινού νερού που ηχογραφήθηκαν.

Κατά την ηχογράφηση των θαλασσινών ψαριών συναντήσαμε τα εξής προβλήματα:

- Υπήρχαν πολλά είδη ψαριών μέσα στο ενυδρείο και έτσι υπήρχε αδυναμία να εντοπίσουμε ποιο ψάρι παρήγαγε ήχο.
- Υπήρξε θόρυβος από το φίλτρο καθαρισμού.

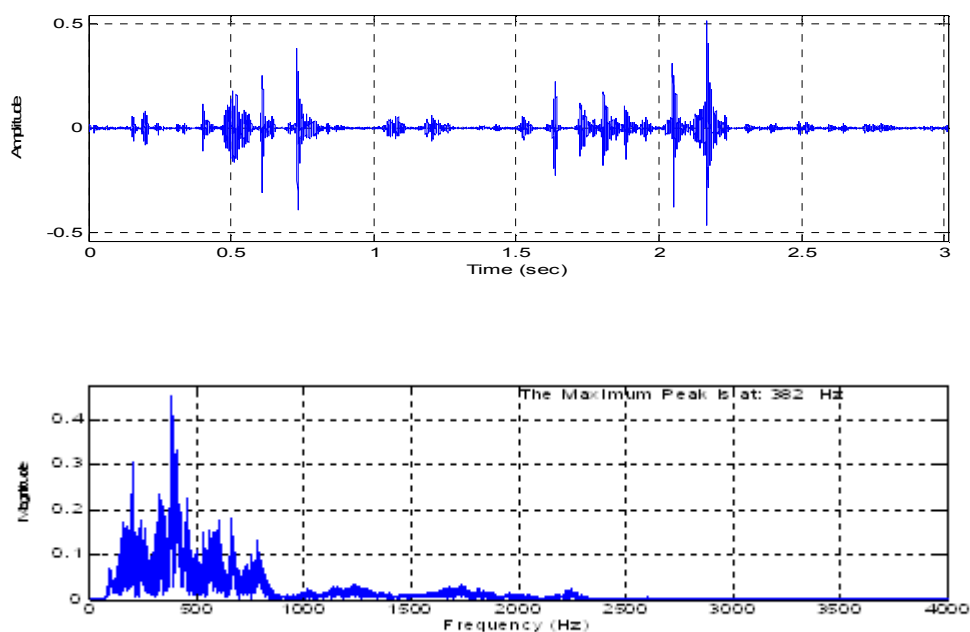
Έγινε, αποθρομβοποίηση στα αρχεία ήχου (μέσω Matlab), με αποτέλεσμα όμως να έχουμε αλλοίωση και στις συχνότητες του ήχου που παράγουν τα ψάρια.

Γνωρίζαμε ότι από αυτά τα ψάρια, παρήγαγαν ήχους τα *Balistes capriscus* κοινώς τα γουρουνόψαρα (Εικ. 8.3.2.1).



Εικόνα 8.3.2.1: Το Balistes capriscus.

Οι ήχοι που ηχογραφήθηκαν από τα ψάρια θαλασσινού νερού ήταν κυρίως από τον μηχανισμό σπηλαίωσης και συριστικοί ήχοι από το γουρουνόψαρο.



Σχήμα 8.3.2.1: Κυματομορφή καταγεγραμμένου αποθρονοποιημένου ήχου από το είδος *Balistes capriscus* (σχετικός ήχος “gourounopsaro 1.wav”, στο Παράρτημα Δ).

Η βασική συχνότητα του συγκεκριμένου ήχου είναι 382 Hz και η διάρκειά του είναι περίπου 2 δευτερόλεπτα.

8.3.2 Ηχογράφηση ψαριών γλυκού νερού

Αρχικά ηχογραφήθηκαν δύο *Pterophyllum scalare* (Εικόνα 8.3.2.1), της οικογένειας των κιχλίδων (Cichlidae). Το ενυδρείο που τα φιλοξενούσε είχε, μήκος x πλάτος x ύψος: 0.40m x 0.25m x 0.35 m. Οι συγκεκριμένες ηχογραφήσεις διήρκησαν περίπου 6 μήνες.

Τα *Pterophyllum scalare* είναι ψάρια γλυκού νερού από την οικογένεια Cichlidae γνωστά ως Αγγελόψαρα. Προέρχονται από τις εκβολές των ποταμών Αμαζόνιο, Ορινόκο και Essequibo, στην Νότια Αμερική. Το *Pterophyllum scalare* είναι το πιο

κοινό είδος των *Pterophyllum* που βρίσκεται σε αιχμαλωσία. Βρίσκεται σε βάλτους ή πλημμυρισμένα εδάφη, όπου η βλάστηση είναι πυκνή και το νερό είναι διαυγές ή λασπώδες. Είναι βενθοπελαγικά, τροπικού κλίματος και ζουν σε θερμοκρασία νερού από 24 έως 30 °C.

Έχουν ρομβοειδές σώμα, σχεδόν επίπεδο, που μοιάζει να είναι συμπιεσμένο πλευρικά και εντυπωσιακά μακριά πτερύγια, τα οποία τους δίνουν μια τριγωνική μορφή, ενώ το μεγάλο τους ουραίο πτερύγιο έχει σχήμα βεντάλιας. Αυτό το σχήμα του σώματος, τους επιτρέπει να κρύβονται ανάμεσα σε ρίζες και φυτά. Τα αγγελόψαρα είναι συχνά ριγέ, με μήκος και χρώμα που παρέχει επιπλέον καμουφλάζ. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το ύψος τους είναι μεγαλύτερο απ' ό,τι το μήκος τους, πράγμα που καθιστά αναγκαίο ένα ψηλό ενυδρείο για να τα φιλοξενήσει.



Εικόνα 8.3.2.1: *Pterophyllum Scalare*

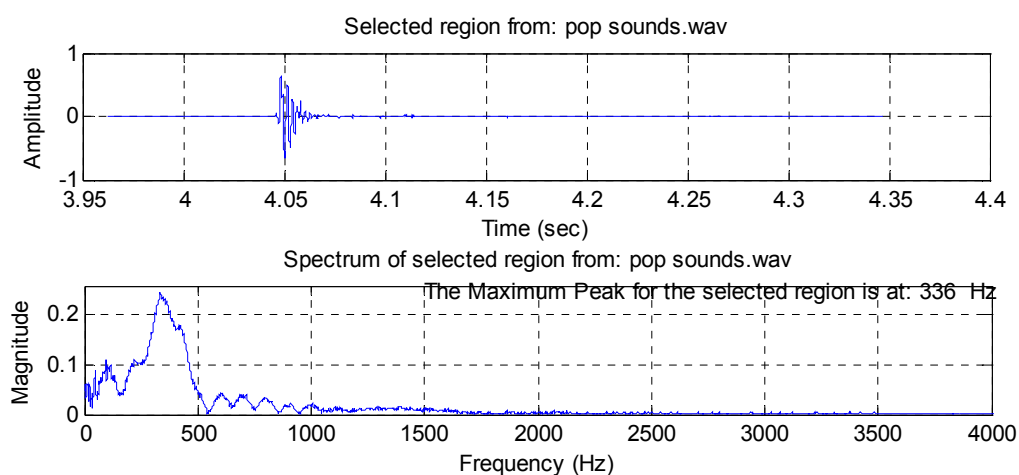
Φτάνουν το τελικό μήκος των 12–15 cm ενώ το ύψος τους μπορεί να φτάσει και τα 20 cm. Το μικρό κεφάλι που διαθέτουν, καταλήγει σε ένα μυτερό στόμα ενώ τα περισσότερα του είδους έχουν βαθυ-κόκκινα μάτια. Πρόκειται για ψάρια που αρέσκονται να κολυμπούν κυρίως στα μεσαία τμήματα του ενυδρείου. Τα *Pterophyllum scalare* είναι παμφάγα και μπορούν να συμβιώνουν με άλλα ψάρια καθότι γενικά είναι ειρηνικά, ωστόσο μικρά ψάρια όπως τα *Cardinal Tetra* θα τα χρησιμοποιήσουν ως τροφή.

Η αναπαραγωγική διαδικασία γίνεται πάνω σε φύλλα ή κορμούς φυτών. Και οι δυο γονείς φυλάνε τα αυγά χρησιμοποιώντας τα πτερύγια τους. Τα αυγά εκκολάπτονται μέσα σε 24 ως 36 ώρες. Τα νεογνά κολυμπούν γύρω από τους γονείς τους για 4 με 5 ημέρες και στην συνέχεια μεταφέρονται σε λακκούβα στον πυθμένα του ενυδρείου. Σε αυτό το σημείο αρχίζουν να ψάχνουν για τροφή. Η φροντίδα του γόνου είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη στα *Pterophyllum Scalare*, όπως συμβαίνει και με άλλες κιχλίδες, γι' αυτό και έχει καταγραφεί σε μελέτες η παραγωγή ήχου κατά τη διάρκεια προστασίας του γόνου. Στις συγκεκριμένες εργαστηριακές συνθήκες δεν υπήρχε δυνατότητα αναπαραγωγής των ψαριών, κι έτσι δεν καταγράφηκε κάποιος ήχος προερχόμενος από την αναπαραγωγική διαδικασία.

Ηχοι από τα Pterophyllum Scalare

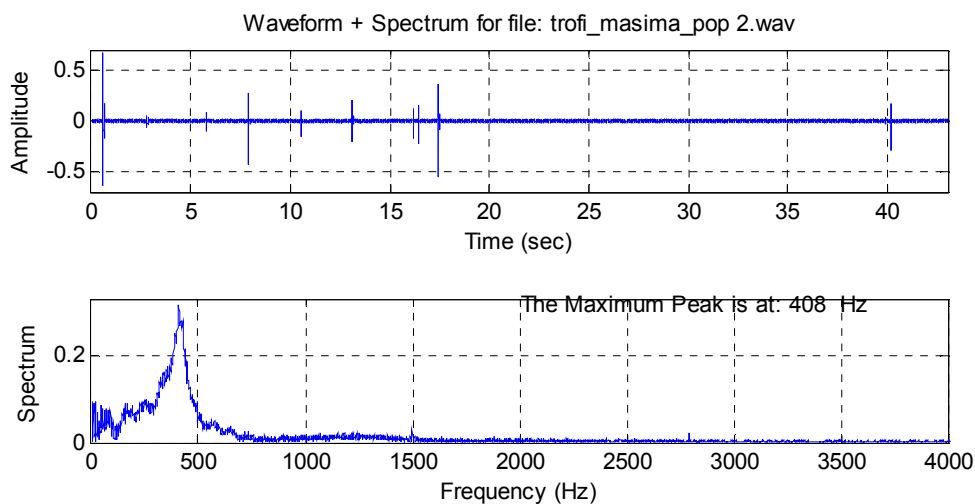
Οι ήχοι που καταγράφηκαν από τα *Pterophyllum scalare* ήταν μόνο μέσω του μηχανισμού σπηλαίωσης. Συγκεκριμένα, παρήγαγαν ήχους όταν το ένα ανταγωνίζοταν με το άλλο, κατά τη διάρκεια της σίτισης και όταν άνοιγαν το στόμα τους στην επιφάνεια του νερού.

Ο ήχος που διακρίνεται στο Σχήμα 8.3.2.1, έχει βασική συχνότητα 336 Hz. Ηχογραφήθηκε κατά τη διάρκεια ανταγωνιστικής συμπεριφοράς και διάθεσης μεταξύ των ψαριών.



Σχήμα 8.3.2.1: Χαρακτηριστική κυματομορφή από καταγεγραμμένο ήχο κατά τη διάρκεια ανταγωνιστικής συμπεριφοράς, του είδους *Pterophyllum Scalare* (σχετικός ήχος "pop sounds.wav" στο Παράρτημα Δ).

Ο ήχος που διακρίνεται στο Σχήμα 8.3.2.2, έχει βασική συχνότητα 408 Hz. Καταγράφηκε κατά τη διάρκεια της σίτισης των ψαριών.



Σχήμα 8.3.2.2: Χαρακτηριστική κυματομορφή από καταγεγραμμένο ήχο κατά τη διάρκεια σίτισης, του είδους *Pterophyllum Scalare* (σχετικός ήχος «trofi_masima_pop 2.wav» στο Παράρτημα Δ).

Ακόμα, ηχογραφήθηκαν τα ψάρια γλυκού νερού *Trichogaster leeri* (Εικ. 8.3.2.2), *Paracheiroidon simulans*, *Ancistrus cirrhosus*, για 24 συνεχόμενες ώρες, χωρίς τη λειτουργία των φίλτρων σε ενυδρείο που είχε μήκος: 0.70 m, πλάτος: 0.35 m και ύψος: 0.35 m, χωρητικότητας 85 λίτρων νερού.



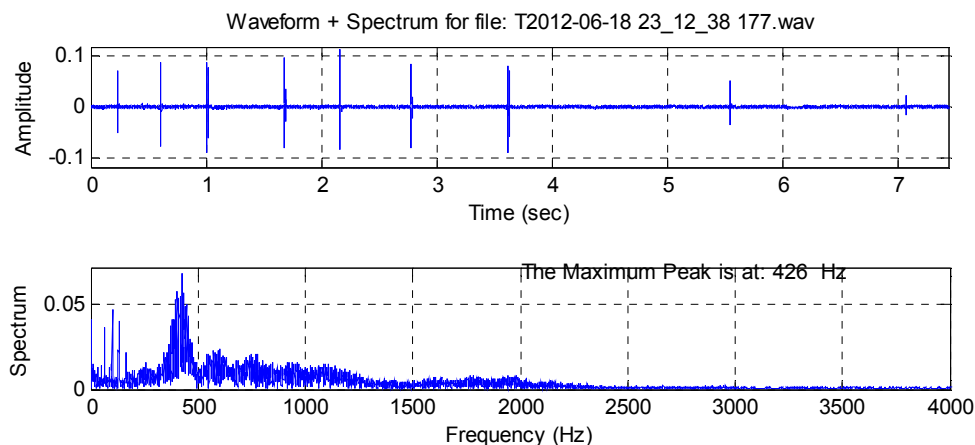
Εικόνα 8.3.2.2.: *Trichogaster leeri*.

Και σε αυτήν την ηχογράφιση, υπήρχαν πολλά είδη ψαριών μέσα στο ενυδρείο και έτσι υπήρχε αδυναμία στο να καθορίσουμε ποιο ψάρι παρήγαγε τον ήχο (Πίνακας 8.3.2.1).

ΠΛΗΘΟΣ	ΓΕΝΟΣ	ΕΙΔΟΣ	ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	ΚΟΙΝΟ ΟΝΟΜΑ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ
2	Trichogaster	leeri	Osphronemidae	Pearl gourami	Ασία
6	Paracheirodon	simulans	Charasiformes	Green neon tetra	Νότια Αμερική
3	Ancistrus	cirrhusus	Loricariidae	Jumbie teta	Νότια Αμερική

Πίνακας 8.3.2.1: Ψάρια γλυκού νερού που ηχογραφήθηκαν συγχρόνως.

Οι ήχοι που καταγράφηκαν από τα παραπάνω ψάρια ήταν κυρίως από τον μηχανισμό σπηλαίωσης. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, η βασική συχνότητα του ήχου είναι 426 Hz.



Σχήμα 8.3.2.3: Κυματομορφή καταγεγραμμένου ήχου από τα ψάρια γλυκού νερού (ήχος "T2012-06-18 23_12_38 177.wav" στο Παράρτημα Δ).

Pimelodus Pictus

Το είδος *Pimelodus pictus*, τα γνωστά γατόψαρα, μελετήθηκε πιο διεξοδικά. Τα συγκεκριμένα ψάρια επιλέχθηκαν μετά από έρευνα κάποιων μηνών, κατά την οποία μελετήθηκε η σχετική βιβλιογραφία των ψαριών, που παράγουν ήχους μέσω της νηκτικής κύστης. Ένα, ακόμα κριτήριο για την επιλογή αυτού του είδους ήταν το ότι μπορούσε να βρεθεί σχετικά εύκολα στην αγορά.

Τα *Pimelodus pictus* (Εικόνα 8.3.2.3), είναι ένα είδος της οικογένειας Pimelodidae των γατόψαρων. Είναι γλυκού νερού, βενθοπελαγικά ψάρια, τροπικού κλίματος. Ζουν σε θερμοκρασία 22-25 °C, στη Νότια Αμερική και συγκεκριμένα στις εκβολές του Αμαζόνιου ποταμού.



Εικόνα 8.3.2.3: *Pimelodus Pictus*

Συνήθως διατηρούνται ως κατοικίδια ζώα σε ενυδρεία, καθώς το μέγιστο μέγεθος που φτάνουν είναι τα 11 cm, με τα θηλυκά να είναι μεγαλύτερα από τα αρσενικά. Το μήκος του ενυδρείου που απαιτούν για την επιβίωσή τους, είναι τουλάχιστον 120 cm. Είναι μη επιθετικά ψάρια, παμφάγα και έχουν παρατηρηθεί να τρέφονται με πολύ μικρά σε μέγεθος ψάρια, όπως τα *Neon tetras*, (Εικόνα 8.3.2.4).



Εικόνα 8.3.2.4: *Neon Tetras* (*Characidae*)

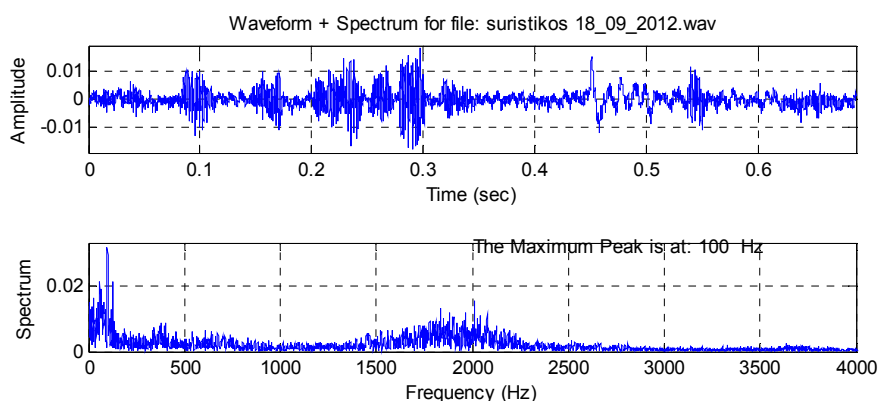
Το χαρακτηριστικό τους είναι τα μεγάλα «μουστάκια», που μπορούν να φτάσουν μέχρι το ουραίο περύγιο. Είναι ασημί χρώματος με μαύρα στίγματα και ραβδώσεις και διαθέτουν αιχμηρά αγκάθια στα ραχιαία και θωρακικά περύγια, που είναι ακίνδυνα για τον άνθρωπο, ωστόσο μπορούν να προκαλέσουν ένα ήπιο δηλητηριώδες τσίμπημα. Τα περισσότερα είδη φέρουν νευροτοξικό δηλητήριο στα ραχιαία ή/και στα θωρακικά τους αγκάθια (πχ *Heteropneustes fossilis*). Είναι νυκτόβια ψάρια και ενεργοί κολυμβητές.

Οι ηχογραφήσεις των συγκεκριμένων ψαριών διήρκησαν περίπου 12 μήνες. Ζούσαν στο ενυδρείο των 104 λίτρων, με διαστάσεις 1.14 x 0.35 x 0.30 m (βάθος νερού 0.26m). Σε αυτό το ενυδρείο έγιναν και οι προαναφερθείσες δοκιμές-πειράματα. Οι ηχογραφήσεις έγιναν σε διαφορετικές ώρες και σε όλες τις εποχές του χρόνου. Υπήρξε παρατήρηση των ψαριών και συγχρόνως, καταγραφή εικόνας σε κάμερα.

Στα pimelodids, ο ηχητικός μυς που παράγει τους κρουστικούς ήχους εισέρχεται, διαμέσω της κοιλιάς στη νηκτική κύστη και καλύπτει σχεδόν ολοκληρωτικά το κοιλιακό μέρος (Ladich, 2001).

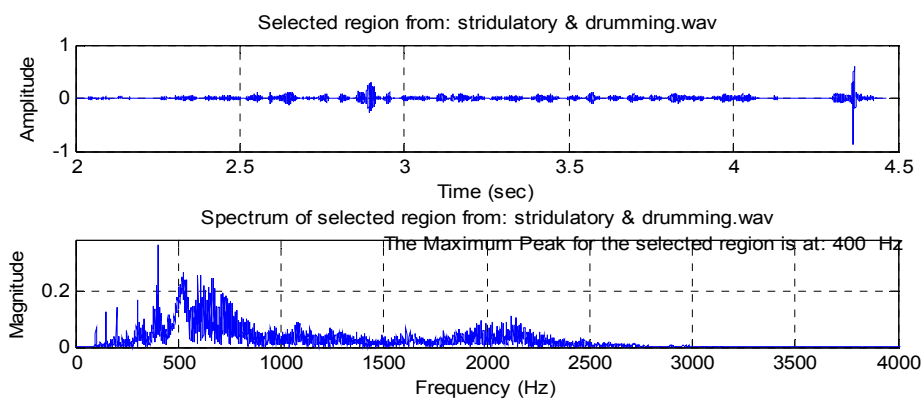
Στην ηχογράφιση των *Pimelodus pictus* καταγράφηκαν συριστικοί, κρουστικοί, υδροδυναμικοί ήχοι αλλά και συνδυασμοί αυτών. Οι υδροδυναμικοί ήχοι παρήχθησαν κατά τη διάρκεια ανταγωνισμού μεταξύ των ψαριών, καθώς οι επιταχύνσεις και οι αλλαγές πορείας του σώματός τους ήταν έντονες.

Στο Σχήμα 8.3.2.4, μπορούμε να διακρίνουμε την κυματομορφή από καταγεγραμμένο συριστικό ήχο από το είδος *Pimelodus pictus*. Η διάρκεια του είναι περίπου 6.5ms και το εύρος συχνοτήτων φτάνει περίπου τα 2200 Hz.



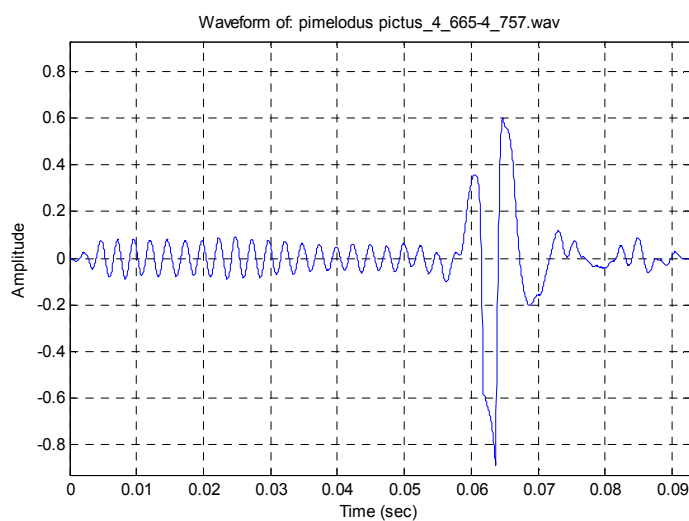
Σχήμα 8.3.2.4: Κυματομορφή από καταγεγραμμένο συριστικό ήχο του είδους *Pimelodus pictus* (ήχος “suristikos 18_09_2012.wav” στο Παράρτημα Δ).

Στο Σχήμα 8.3.2.5, διακρίνεται αρχικά ένας συριστικός ήχος που προέρχεται από τα ακτινοπερύγια και ακολουθείται από έναν κρουστικό ήχο που παράγεται από τη νηκτική κύστη. Ο συγκεκριμένος ήχος ηχογραφήθηκε από τα *Pimelodus pictus*, όταν ένιωσαν απειλή, μετά την εισαγωγή δύο *Pterophyllum scalare* στο ενυδρείο, επιβεβαιώνοντας, έτσι τις μελέτες που αναφέρουν ότι το συγκεκριμένο είδος παράγει ήχους όταν αισθάνεται απειλή από την παρουσία κάποιου άλλου είδους (Tellechea Javier S. et all, 2011). Η βασική συχνότητα του συριστικού ήχου είναι 400 Hz και διαρκεί 1.9 sec, ενώ ο κρουστικός ήχος έχει βασική συχνότητα 161 Hz και διαρκεί 13 msec.



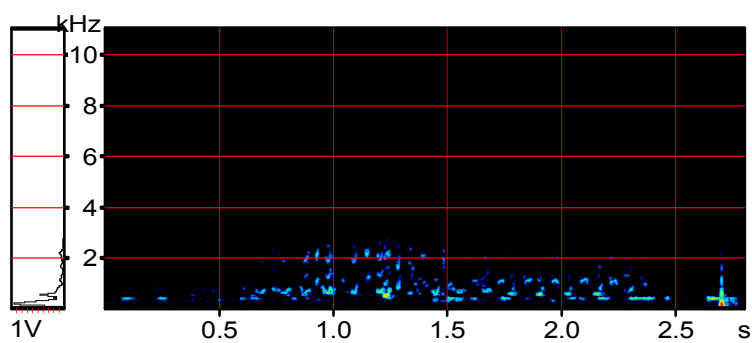
Σχήμα 8.3.2.5: Κυματομορφή από καταγεγραμμένο (αποθορυβοποιημένο) συριστικό με κρουστικό ήχο του είδους *Pimelodus pictus* (ήχος “p p reduction.wav” στο Παράρτημα Δ).

Η ύπαρξη θορύβου κατά τη διάρκεια των ηχογραφήσεων ήταν κάτι το αναπόφευκτο, είτε αυτός προερχόταν από το περιβάλλον είτε μέσα από το ενυδρείο. Γι’ αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν διάφορα προγράμματα επεξεργασίας και ανάλυσης ήχου για την αποθορυβοποίηση των ήχων που καταγράφηκαν (με συνέπεια την αλλοίωση και του ήχου του ψαριού). Με ακριβέστερη ανάλυση μέσω του προγράμματος Matlab, διαπιστώσαμε ότι οι συριστικοί ήχοι από τα γατόψαρα μπορούν να ξεπεράσουν τα 2000 Hz. Στο Σχήμα 8.3.2.6, διακρίνεται ο συριστικός ήχος ο οποίος συνοδεύεται από ένα κρουστικό.



Σχήμα 8.3.2.6: Χαρακτηριστική κυματομορφή απόσυριστικό και κρουστικό ήχο του είδους *Pimelodus pictus*.

Ο συριστικός ήχος μοιάζει να έχει ένα τονικό ύψος (γύρω στα 2000 Hz). Στο Σχήμα 8.3.2.7, διακρίνεται το φασματογράφημα του αποθρομβωποιημένου συριστικού μαζί με τον κρουστικό ήχο (ανάλυση μέσω του SASLab Pro).



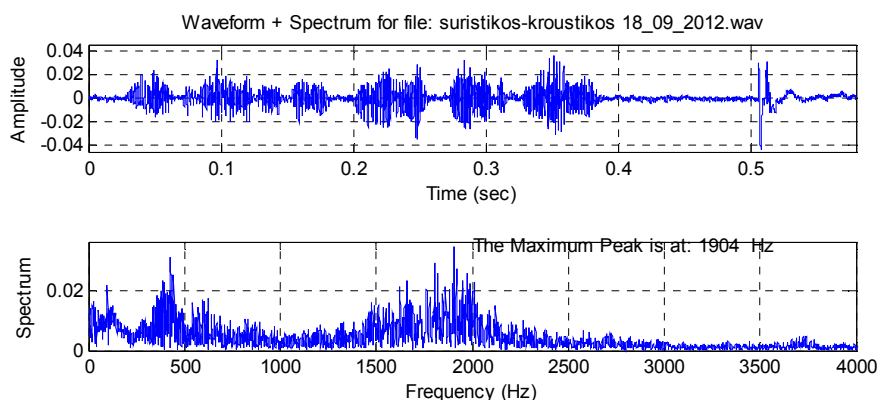
Σχήμα 8.3.2.7: Φασματογράφημα του συριστικού με τον κρουστικό ήχο των *Pimelodus Pictus*, από το πρόγραμμα SASLab.

Επίσης, κατά την ηχογράφηση των *Pimelodus pictus*, χρησιμοποιήθηκε απόχη, ώστε να παγιδευτούν τα ψάρια μέσα σε αυτήν και να νιώσουν ότι απειλούνται (Εικ. 8.3.2.5), προκειμένου να προκληθεί παραγωγή ήχου από αυτά.



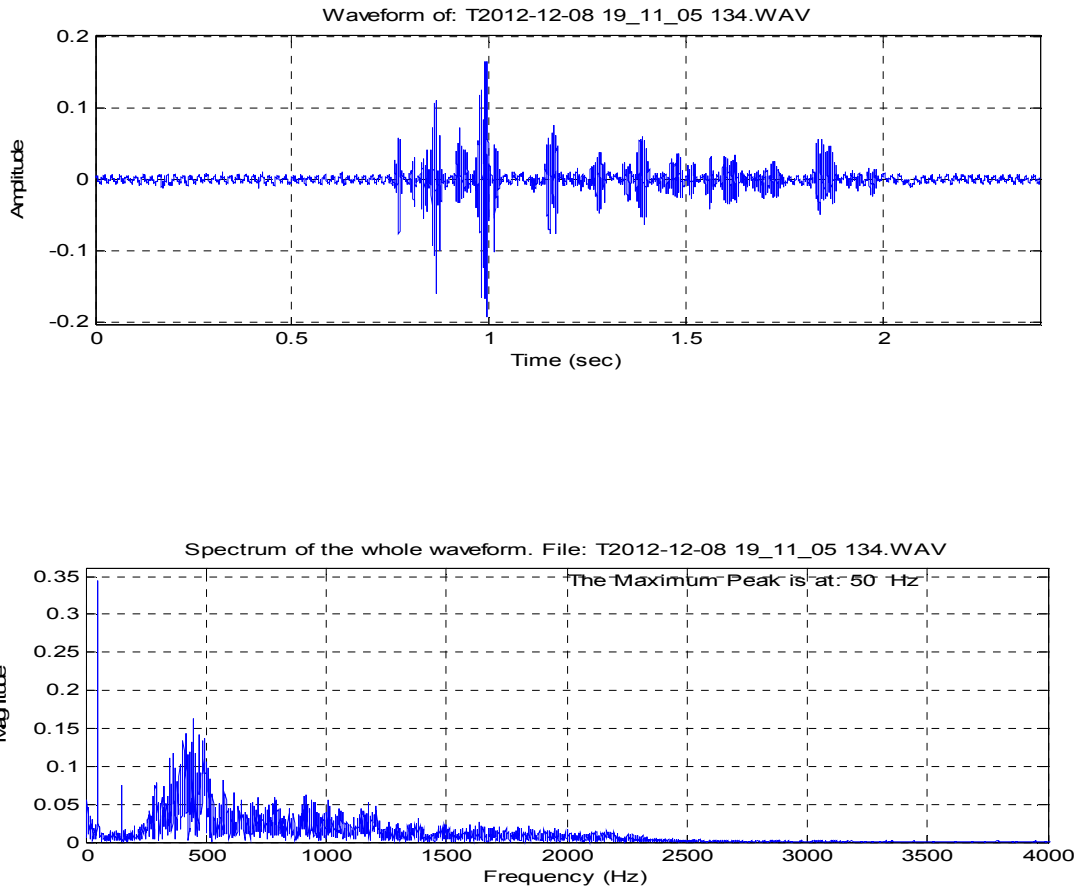
Εικόνα 8.3.2.5: *Pimelodus pictus* παγιδευμένο σε απόχη.

Στο Σχήμα 8.3.2.8 διακρίνεται η κυματομορφή καταγεγραμμένου συριστικού με κρουστικό ήχο (μη αποθρομβωποιημένος). Ο συγκεκριμένος ήχος καταγράφηκε όταν τα γατόψαρα αισθάνθηκαν ξανά απειλή κατά την προσπάθεια εγκλωβισμού τους στην απόχη. Η διάρκεια του ήχου είναι 5.5ms, το εύρος συχνοτήτων του είναι από 50-2500 Hz και η βασική του συχνότητα αντιστοιχεί στα 1904 Hz.



Σχήμα 8.3.2.8: Κυματομορφή από καταγεγραμμένο (μη αποθρομβωποιημένο) συριστικό με κρουστικό ήχο του είδους *Pimelodus pictus* (ήχος “suristikos-kroustikos 18_09_2012.wav” στο Παράρτημα Δ).

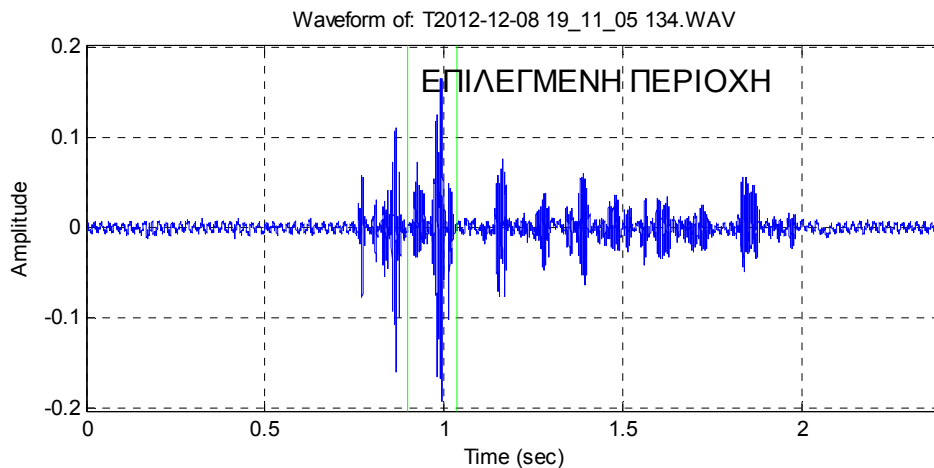
Στο παρακάτω Σχήμα (8.3.2.9), διακρίνεται ο ήχος που ηχογραφήθηκε μετά την απελευθέρωση του *Pimelodus pictus* από την απόχη. Η διάρκειά του είναι περίπου 1.29 δευτερόλεπτα και το εύρος συχνοτήτων του περίπου από 50-2200 Hz.



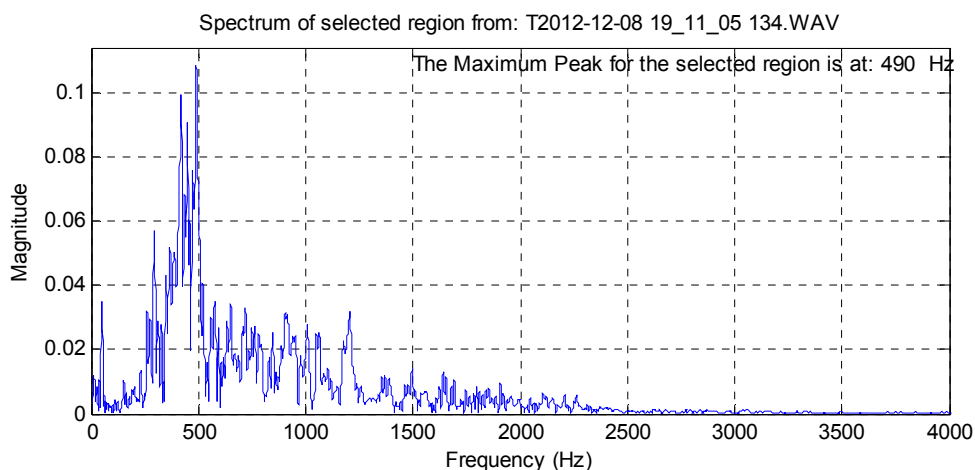
Σχήμα 8.3.2.9: Κυματομορφή παραγόμενου ήχου, μετά από απελευθέρωση του *Pimelodus pictus* (ήχος “T2012-12-08 19_11_05 134.WAV” στο Παράρτημα Δ).

Αναλύοντας με μεγαλύτερη ακρίβεια τον παραπάνω ήχο μέσω του λογισμικού Matlab διαπιστώσαμε ότι οι συχνότητες που κυριαρχούν, αντιστοιχούν στα 450-500 Hz (Σχ. 8.3.2.10).

α)



β)



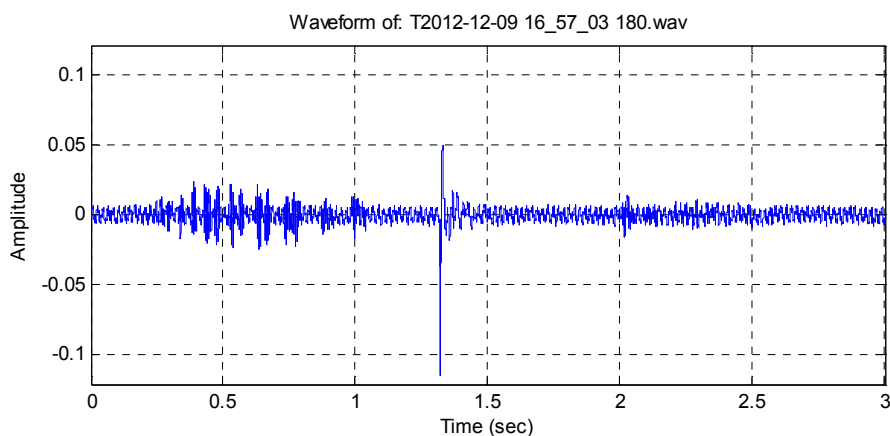
Σχήμα 8.3.2.10: α) Επιλεγμένη περιοχή ανάλυσης κυματομορφής και β) φάσμα επιλεγμένης περιοχής του ήχου των *Pimelodus pictus*.

Ακόμη, κατά τη διάρκεια των πειραμάτων στα *Pimelodus pictus*, προκλήθηκε απειλή, βγάζοντάς τα έξω από το νερό για κάποια δευτερόλεπτα (Εικ. 8.3.2.6). Μελέτες, οι οποίες έχουν ασχοληθεί με την παραγωγή ήχου και την κοινωνική συμπεριφορά του συγκεκριμένου είδους, αναφέρουν την παραγωγή ήχου από τα ψάρια όταν αισθάνονται απειλή για τη ζωή τους.



Εικόνα 8.3.2.6: Εξαγωγή των ψαριών από το ενυδρείο για λίγα δευτερόλεπτα.

Μετά την εξαγωγή του *Pimelodus pictus* από το ενυδρείο και την εισαγωγή του μέσα σ' αυτό, καταγράφηκε ο ήχος που διακρίνεται στο σχήμα 8.3.2.11. Ο συγκεκριμένος ήχος παρουσιάζει αρκετά κοινά χαρακτηριστικά με εκείνον που ηχογραφήθηκε από αυτά, όταν στο ενυδρείο τοποθετήθηκαν τα δύο Αγγελόψαρα. Η κύρια διαφορά τους είναι ότι ο συγκεκριμένος ήχος έχει μικρότερη ένταση από τον προηγούμενο επειδή το ψάρι ήταν μακριά από το υδρόφωνο (βλ. Σχήμα 8.3.2.5).



Σχήμα 8.3.2.11: Κυματομορφή από καταγεγραμμένο συριστικό με κρουστικό ήχο του είδους *Pimelodus pictus*, μετά την εξαγωγή τους για λίγα δευτερόλεπτα από το νερό (ήχος “T2012-12-09 16_57_03 180.wav” στο Παράρτημα Δ).

Οφείλουμε να αναφέρουμε ότι οι συριστικοί-κρουστικοί ήχοι καταγράφηκαν σε χειμερινή περίοδο, γεγονός που δεν γνωρίζουμε αν είναι τυχαίο. Η ίδια πειραματική διαδικασία είχε πραγματοποιηθεί κατά την καλοκαιρινή περίοδο χωρίς όμως την καταγραφή κάποιου ήχου.

8.4 ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ ΠΟΥ ΗΧΟΓΡΑΦΗΘΗΚΑΝ

Ο όρος κοινωνική συμπεριφορά περιλαμβάνει όλες εκείνες τις αντιδράσεις που απευθύνονται άμεσα στους ενεργούς ή δυνητικά ενεργούς συμμετέχοντες σε αναμετρήσεις μεταξύ των ειδών. Στα πρώιμα οντογενετικά στάδια, οι αγελαίες και οι ανταγωνιστικές συμπεριφορές μπορεί να συνοδεύονται και από επιθετικότητα, ειδικά κατά τη δημιουργία ιεραρχικών σχέσεων στην ομάδα και το σχηματισμό κοπαδιών (Χριστοδουλοπούλου, 2009).

Ο όρος ανταγωνιστική συμπεριφορά περιλαμβάνει ένα σύνολο προτύπων με σκοπό τη ρύθμιση των διαειδικών διαμαχών. Οι διαμάχες μπορεί να περικλείουν πρότυπα όπως οι απειλές, το κυνήγι, κ.α. Ο ανταγωνισμός, λοιπόν, αναφέρεται στην ανάγκη για πρόσβαση δύο ή περισσότερων οργανισμών για κάποιον περιορισμένο πόρο και μπορεί να εκφράζεται μέσω της χωροκράτειας (territoria competition), της κυριαρχίας (dominance competition), του φύλου (sexual competition), της γονικής φροντίδας (parental competition) και της θήρευσης (predatory competition).

Για τους συμπεριφοριστές η επιθετικότητα μεταφράζεται ως μέσο με το οποίο τα άτομα παίρνουν μέρος στον ανταγωνισμό για τους πόρους, δηλαδή όταν το ζώο θέλει να αποκλείσει τον αντίπαλό του από την πρόσβαση σε τροφή, καταφύγιο ή ερωτικό σύντροφο. Η επίθεση δεν συνεπάγεται αναπόφευκτα και αγώνα. Αντίθετα, πολύ συχνά καταλήγει στο επιζητούμενο αποτέλεσμα χωρίς βίαιη έκβαση. Επίσης, η τροφική αρπαγή δεν υποδηλώνει οπωσδήποτε αγωνιστική άποψη. Συνεπώς, η επιθετικότητα εκδηλώνεται στην πραγματικότητα μεταξύ ατόμων του ίδιου είδους, και μάλιστα μεταξύ μελών της ίδιας κοινωνίας ή του τοπικού πληθυσμού. Αυτά επιτίθενται αμοιβαία κάτω από ορισμένες συνθήκες. Το κίνητρο τους δεν είναι τροφικό (τότε θα επρόκειτο για κανιβαλισμό), αλλά σκοπό έχει να τραυματίσει ή να τρέψει σε φυγή τον αντίπαλο. Οι επιθέσεις αυξάνονται όταν δεν υπάρχει άφθονη

τροφή, αν και είναι λιγότερο συχνές μεταξύ ατόμων του ίδιου είδους (Ryer & Olla 1991).

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, υπήρξε οπτική παρατήρηση των ψαριών και, όπως προαναφέρθηκε, σε κάποιες από τις ηχογραφήσεις στις οποίες απουσιάζαμε από τον χώρο του εργαστηρίου, είχε εγκατασταθεί βιντεοκάμερα.

Στο ενυδρείο υπήρχαν αρχικά τα δύο γατόψαρα (*Pimelodus pictus*) και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν και τα δύο αγγελόψαρα (*Pterophyllum scalare*). Τα 2 είδη ψαριών συμβίωσαν αρμονικά για όσο διάστημα γινόταν οι ηχογραφήσεις και τα διάφορα πειράματα. Υπήρξαν, βέβαια, κάποιες συγκρούσεις μεταξύ τους, όπως ήταν αναμενόμενο. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκαν, επιθετικότητα και ανταγωνισμός, ειδικά κατά τη διάρκεια του ταΐσματος, όπου σε πολλές περιπτώσεις είχαμε το ένα αγγελόψαρο να τρώει την τροφή των γατόψαρων.

Η επιθετική συμπεριφορά στα ψάρια που ηχογραφήθηκαν εκδηλώθηκε ως εξής:

- στιγμιαία κατευθυνόμενη κίνηση ενός ψαριού εναντίον κάποιου άλλου με στόχο τον εκφοβισμό του και με κατάληξη την υπεράσπιση του περιβάλλοντος χώρου (απειλή) (βλέπε σχετικό βίντεο «08_07_2012 Pr.avi», «10_07_2012 Pr 5.avi», «10_07_2012 Pr 6.avi» & «10_07_2012 Pr.avi» στο Παράρτημα Δ),
- κινήγι μεταξύ των δύο ψαριών του ίδιου είδους, σε όλο το χώρο του ενυδρείου, χωρίς σταθερή διαβάθμιση κυριαρχίας, συνεχόμενο άγγιγμα των ρυγχών (κινήγι) (βλέπε σχετικό βίντεο «10_07_2012 Ps 2.avi» στο Παράρτημα Δ),
- στιγμιαίο άγγιγμα των ρυγχών -πιθανώς συνοδευόμενο από δάγκωμα- δύο ψαριών (φίλημα) (βλέπε κυματομορφή Σχήμα Π6 & Σχήμα Π7 στο Παράρτημα Β, σχετικό βίντεο «10_07_2012 Ps 1.avi» και ήχο «T2012-07-10 19_55_21 002 kroustikos.wav» στο Παράρτημα Δ),
- στιγμιαία απάντηση στην απειλή του άλλου ψαριού (ανταπόδοση) (βλέπε σχετικό βίντεο «10_07_2012 Pr 4.avi» και «08_07_2012 Pr 4.avi» στο Παράρτημα Δ),
- κυκλική αντιπαράλληλη κίνηση δύο ψαριών, με ταυτόχρονη επίδειξη των πτερυγίων τους (χορός) (βλέπε σχετικό βίντεο «10_07_2012 Pr_Ps.avi» και «10_07_2012 Pr_Ps 1.avi» στο Παράρτημα Δ).

Για όσο διάστημα υπήρχαν τα δύο γατόψαρα μόνα τους στο ενυδρείο δεν καταγράφηκε κανένας ήχος. Στην ηχογράφιση που πραγματοποιήθηκε την στιγμή της εισαγωγής των αγγελόψαρων στο ενυδρείο, υπήρξε έντονη κινητικότητα και ένταση από τα δύο γατόψαρα και τότε καταγράφηκε ο συνδυασμός του συριστικού με τον κρουστικό ήχο (βλέπε Σχήμα 8.3.2.5). Προφανώς, τα γατόψαρα αισθάνθηκαν απειλή όταν αντιλήφθηκαν την ύπαρξη των αγγελόψαρων στο ενυδρείο. Ο συγκεκριμένος ήχος καταγράφηκε κι όταν με τη βοήθεια απόχης εγκλωβίζονταν και έβγαιναν για κάποια δευτερόλεπτα έξω από το νερό. Αμέσως μετά την εισαγωγή τους στο νερό τα γατόψαρα κολυμπούσαν προς διάφορες κατευθύνσεις και παρήγαγαν τον παραπάνω ήχο. Με βάση, λοιπόν όλα τα παραπάνω, συμπεράναμε ότι υπό συνθήκες απειλής τα γατόψαρα παράγουν έναν συριστικό-κρουστικό ήχο, ο οποίος προέρχεται από τα ακτινοπτερύγια και την σύσπαση της νηκτικής κύστης.

Στη συμπεριφορά βόσκησης (grazing), η θέση του σώματος των *Pterophyllum scalare* ήταν κάθετη στον πυθμένα του ενυδρείου για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 5 sec. Συνήθως τα *Pimelodus pictus*, όταν έτρωγαν επιδίδονταν σε συμπεριφορά προσπάθειας εύρεσης τροφής ανάμεσα στα χαλίκια και σπανίως συμμετείχαν σε επιθέσεις.

Κατά την επιθετικότητα, τα γατόψαρα παρήγαγαν συριστικούς ήχους, ενώ τα αγγελόψαρα όταν ήταν σε ανταγωνιστικότητα παρήγαγαν τους λεγόμενους “pop” ήχους (βλέπε κυματομορφή Σχήμα Π8 στο Παράρτημα Β, και ήχο «pop sounds.wav» στο Παράρτημα Δ). Επίσης, παρήχθησαν ήχοι από τον μηχανισμό σπηλαίωσης όταν έτρωγαν (βλέπε Παράρτημα Β, Σχήμα Π9 και ήχο «trofi_masima_pop.wav» στο Παράρτημα Δ).

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε ξεκάθαρα οι ήχοι που ακούμε στα βίντεο δεν προέρχονται από κάποιο μηχανισμό παραγωγής ήχου των ψαριών, παρά μόνο από τον υδροδυναμικό μηχανισμό (ήχος που παράγεται κατά την κίνηση των ψαριών) (βλέπε σχετικό βίντεο «10_07_2012 Pr 1.avi» & «10_07_2012 Pr 2.avi», στο Παράρτημα Δ), αλλά είναι ήχοι από πρόσκρουση με τα βότσαλα, τα τοιχώματα του ενυδρείου, των ψαριών μεταξύ τους, κλπ. Δεν καταγράφηκε κανένας ήχος από τον κρουστικό ή τον συριστικό μηχανισμό κατά τη διάρκεια των βιντεοσκοπήσεων.

Δεν γνωρίζαμε το φύλο των ψαριών με αποτέλεσμα να μη μπορούμε να διακρίνουμε αν κάποιοι από αυτούς τους ήχους αφορούσαν ερωτοτροπία ή κάτι άλλο.

Παρατηρήσαμε ότι οι περισσότεροι ήχοι από τα γατόψαρα καταγράφηκαν κατά τη χειμερινή περίοδο, οπότε σίγουρα κάποιο ρόλο παίζει η εποχή, η θερμοκρασία του νερού κλπ., στην παραγωγή ήχου.

Επίσης είναι συνήθειες οι αδιαφοροποίητοι ήχοι, από το σκάψιμο στο βότσαλο στα ψάρια γλυκού νερού (βλέπε Σχήμα Π10 στο Παράρτημα Β και ήχο «T2012-06-19 02_18_01 255.wav» στο Παράρτημα Δ), καθώς και άλλοι παρόμοιοι ήχοι (βλέπε Σχήμα Π11, στο Παράρτημα Β και ήχοι «T2012-06-18 19_24_00 097.wav», «T2012-06-18 19_45_02 105.wav», «T2012-06-18 23_42_04 190.wav», «T2012-06-19 09_15_34 336.wav» & «T2012-06-19 12_39_21 391.wav» στο Παράρτημα Δ), οι οποίοι παράγονται από τα ψάρια κατά τη διαβίωση τους μέσα στο ενυδρείο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑ

Τα ψάρια παράγουν ήχους, τους οποίους χρησιμοποιούν για να επικοινωνήσουν. Η παραγωγή ήχου στα ψάρια είναι γνωστή εδώ και εκατοντάδες χρόνια αλλά οι πρώτες επιστημονικές μελέτες, είδαν το φως της δημοσιότητας τη δεκαετία του 1960. Τα τελευταία χρόνια οι ερευνητές διαθέτουν τεχνολογία που τους επιτρέπει να ακούν και να καταγράφουν τους ήχους των ψαριών καλύτερα από ποτέ.

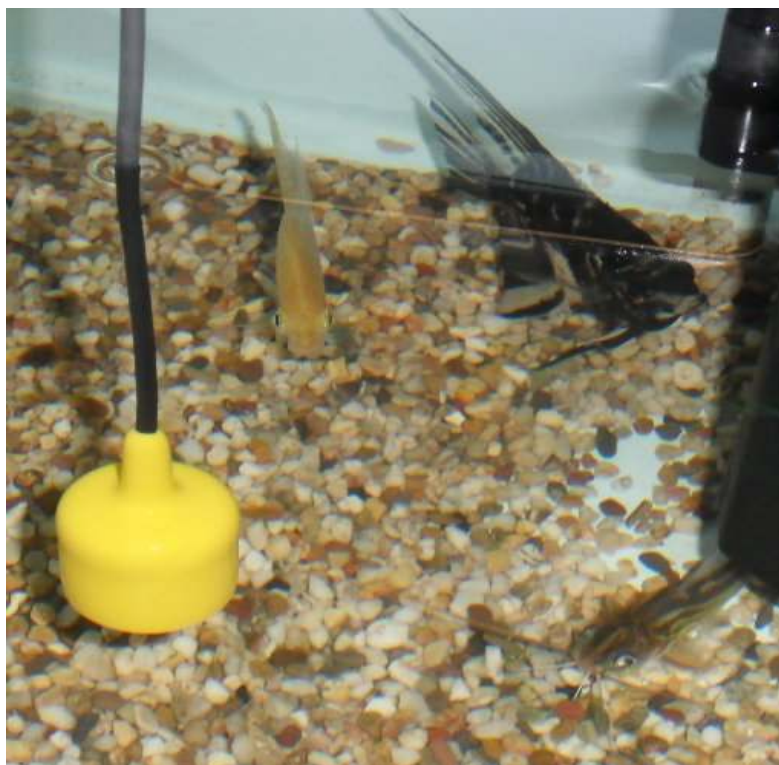
Ωστόσο, η ηχογράφηση των ψαριών δεν είναι μια εύκολη υπόθεση. Η δυσκολία έγκειται στο ότι η παραγωγή του ήχου στα ψάρια, εμφανίζεται μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις, που συνδέονται κυρίως με την αναπαραγωγή ή με πολύπλοκες ενδογενείς συμπεριφορές. Μεγάλο ρόλο παίζει η εποχή του χρόνου αλλά και η θερμοκρασία του νερού. Ακόμα, ένα σοβαρό πρόβλημα που διαπιστώνεται κατά την καταγραφή των υδρόβιων ζώων, είναι ότι ο ακροατής συχνά εργάζεται στα τυφλά και επομένως, ο εντοπισμός του παραγωγού του ήχου γίνεται συχνά αδύνατος. Μια σημαντική προσέγγιση για την επίλυση αυτού του προβλήματος είναι να συνοδεύονται οι ηχητικές παρατηρήσεις με οπτικές παρατηρήσεις μέσω υποβρύχιας ή μη, βιντεοκάμερας.

Βάσει των όσων αναφέρθηκαν παραπάνω, θα προσπαθήσουμε εδώ να επισημάνουμε κάποια στοιχεία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, όταν θέλουμε να ηχογραφήσουμε διάφορα είδη ψαριών σε μικρά ενυδρεία και να μελετήσουμε τους ήχους που εκπέμπουν. Αν δεν γνωρίζουμε τίποτε για το επικείμενο «φώνημα», δηλαδή δεν γνωρίζουμε καθόλου την περιοχή συχνοτήτων, από την οποία αποτελείται ο εκπεμπόμενος ήχος του ψαριού, τότε το σήμα το οποίο θα λάβουμε (με ένα υδρόφωνο σε μία θέση μέσα στο ενυδρείο), μπορεί να είναι αρκετά διαφορετικό από το πραγματικό.

Η πρώτη δυσκολία σχετίζεται με το θόρυβο που επικρατεί μέσα σε μικρά ενυδρεία αλλά και σε μεγάλες δεξαμενές, ο οποίος προέρχεται κυρίως από τα συστήματα κυκλοφορίας, οξυγόνωσης και φιλτραρίσματος του νερού. Τα επίπεδα του θορύβου είναι συνήθως υψηλά και επικαλύπτουν τους τυχόν παραγόμενους ήχους ψαριών οι οποίοι είναι γενικά ασθενείς. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη να διακόπτεται η λειτουργία των μηχανισμών/συσκευών αυτών, όσο διάστημα διαρκούν οι

ηχογραφήσεις, γεγονός που θέτει όρια στη διάρκεια των διαστημάτων κατά τα οποία μπορούμε να έχουμε συνεχείς ηχογραφήσεις.

Μία άλλη δυσκολία σχετίζεται την απόσταση του ψαριού κατά τη στιγμή της φώνησης. Η απόσταση αυτή (Εικ. 9.2) πρέπει να είναι μικρότερη από την «απόσταση εξασθένησης» (Κεφ. 7), διαφορετικά θα αλλοιώνεται η κυματομορφή του ήχου.



Εικόνα 9.2: Η απόσταση ψαριού υδροφώνου πρέπει να είναι μικρότερη από την απόσταση εξασθένησης.

Μία λύση για το πρόβλημα αυτό, θα ήταν να χρησιμοποιηθούν για την ηχογράφηση αρκετά υδρόφωνα, έτσι ώστε η πηγή να βρίσκεται πάντα κοντά σε κάποιο από αυτά. Επειδή όμως, στη συγκεκριμένη εργασία δεν υπήρξε η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ένα δεύτερο υδρόφωνο, χρειάστηκε να πραγματοποιηθούν αρκετές ώρες ηχογραφήσεων (πάνω από 550), για να καταλήξουμε σε 22 δείγματα ήχων ψαριών. Προτείνεται, λοιπόν, η ηχογράφηση σε ενυδρεία να γίνεται με αρκετά υδρόφωνα, ο αριθμός των οποίων πρέπει να μεγαλώνει όσο αυξάνεται το μέγεθος του ενυδρείου.

Άλλο πρόβλημα που μπορεί να προκύψει είναι όταν, για παράδειγμα, κάποιες συχνότητες του ήχου του ψαριού συμπέσουν με τις ιδιοσυχνότητες του ενυδρείου. Αυτές τότε θα ενισχύονται και έτσι θα έχουμε παραμόρφωση της πραγματικής κυματομορφής του ήχου του ψαριού. Εφόσον, όμως έχουμε κάποια συχνοτική πληροφορία για την ηχητική υπογραφή του ψαριού, το οποίο θέλουμε να μελετήσουμε, τότε μπορούμε εκ των προτέρων να επιλέξουμε κατάλληλα τις διαστάσεις του ενυδρείου και το βάθος του νερού. Εάν το βασικό συχνοτικό περιεχόμενο του ήχου του ψαριού, είναι κάτω από την χαμηλότερη ιδιοσυχνότητα του ενυδρείου, τότε μπορεί να έχουμε μία ακριβή καταγραφή του ήχου του ψαριού.

Θα πρέπει, επίσης, να λαμβάνουμε υπόψη μας την τεχνική πολυπλοκότητα της ανάλυσης των ήχων σε εργαστηριακές συνθήκες (μικρά ενυδρεία και δεξαμενές). Ο συνδυασμός του θορύβου και της παραμόρφωσης των ήχων, που παρατηρήθηκαν σε τέτοιες συνθήκες, αποτελούσαν σοβαρά προβλήματα για τη μελέτη των ήχων και των λειτουργικών χαρακτηριστικών των ηχητικών ικανοτήτων στα ψάρια.

Για την μελλοντική εξέλιξη της παρούσης εργασίας, προτείνεται η μελέτη του είδους *Pimelodus pictus*, σε συνθήκες που να ευνοούν την αναπαραγωγική διαδικασία του, προκειμένου να ηχογραφηθούν οι ήχοι που παράγονται και να αναλυθούν τα χαρακτηριστικά τους. Γενικότερα, οφέλιμη κρίνεται η μελέτη και καταγραφή του ήχου των ψαριών στο φυσικό τους περιβάλλον, εάν διατίθεται βέβαια ο κατάλληλος εξοπλισμός. Η χώρα μας, ειδικά, ενδείκνυται για αυτόν τον σκοπό, μιας και διαθέτει πλούσιο υδάτινο περιβάλλον. Η απλή καταγραφή των ήχων των ψαριών (παθητική ακουστική), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση της οικολογίας των ειδών.

Καθώς η παραγωγή του ήχου συχνά συνδέεται με την αναπαραγωγική δραστηριότητα, η παθητική ακουστική παρέχει έναν έμμεσο τρόπο για να καθοριστούν οι εποχές της ωοτοκίας των ψαριών και να εντοπιστούν οι περιοχές, όπου τα ψάρια μπορούν να μεταναστεύσουν, με σκοπό την αναπαραγωγή. Θα ήταν, λοιπόν, χρήσιμη μία μελλοντική έρευνα στον τομέα της Υδροβιοακουστικής, που θα περιελάμβανε τη συνεργασία επιστημόνων του τομέα της Βιολογίας και της Ακουστικής, με σκοπό τη μελέτη της βιοπικιοιλότητας των ειδών και των συνθηκών ανάπτυξης και εξέλιξής τους.

Παρά λοιπόν, το γεγονός ότι σε όλες σχεδόν τις γλώσσες υπάρχουν εκφράσεις του τύπου «τηρεί σιγήν ιχθύος», θα μπορούσε να πει κάποιος με σιγουριά πλέον, ότι η

παραπάνω έκφραση δεν ισχύει και ότι απλά αποτελεί έναν ακόμη μύθο, αποτέλεσμα της άγνοιας των ανθρώπων. Είναι, πράγματι εντυπωσιακό να ακούει και να εντοπίζει κάποιος ένα ήχο ψαριού ενώ ενδεχομένως υπάρχουν και άλλα είδη (πέραν αυτών για τα οποία γνωρίζουμε ότι παράγουν ήχους), τα οποία περιμένουν να ακουστούν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

Τριπολιτάκη Ζ., Δασκαλάκη Ν., Κουζούπης Σ. και Παπαδάκης Παναγιώτης, “Καταγραφή του ήχου ψαριών σε μικρά ενυδρεία και τα χαρακτηριστικά του ήχου σε σχέση με τον μηχανισμό παραγωγής του”, Πρακτικά Συνεδρίου, 6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Ακουστική 2012» ΕΛ.ΙΝ.Α. (Ελληνικό Ινστιτούτο Ακουστικής), Ιόνιο Πανεπιστήμιο, Κέρκυρα, 8-10 Οκτωβρίου 2012.

Χριστοδουλοπούλου Σταυρούλα. “Επίδραση του περιβάλλοντος στην επιθετική συμπεριφορά των ιχθυδίων μυτακίου *Diplodus puntazzo* (CETTI, 1777)”, 2009.

Akamatsu Tomonari, Okumura Tsuyoshi, Novarini Nicola and Yan Y. Hong. “Empirical refinements applicable to the recording of fish sound in small tanks”. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 112, No. 6, pp. 3073-3082, 2002.

Almada V.C., Amorim M. Clara P., Pereira E., Almada F., Matos R. and Godinho R. “Agonistic behaviour and sound production in *Gaidropsarus mediterraneus* (Gadidae)”. *Journal of Fish Biology*, Vol. 49, pp. 363–366, 1996.

Amorim P. Clara M. and Hawkins D. A. “Ontogeny of Acoustic and Feeding Behaviour in the Grey Gurnard, *Eutrigla gurnardus*”. *Journal of Ethology*, Vol. 111, pp. 255–269, 2005.

Amorim P. Clara M. and Hawkins D. A. “Growling for food acoustic emissions during competitive feeding of the streaked gurnard”. *Journal of Fish Biology*, Vol. 57, pp. 895–907, 2000.

Amorim P. Clara M. “Diversity of Sound Production in Fish”, στο “*Communication in fishes*”, (εκδ. Friedrich Ladich, Shaun P. Collin, Peter Moller, B. G. Kapoor). Science Publishers, Μπρισμπέν, 2006.

Amorim P. Clara M., Fonseca P.J. and Almada V.C. “Sound production during courtship and spawning of *Oreochromis mossambicus*: male-female and male-male interactions”. *Journal of Fish Biology*, Vol. 62, pp. 658–672, 2003.

Amorim P. Clara M., Knight M. E., Stratoudakis Y. and Turner G. F. “Differences in sounds made by courting males of three closely related Lake Malawi cichlid species”. *Journal of Fish Biology*, Vol. 65, pp. 1358–1371, 2004a.

Amorim P. Clara M., Stratoudakis Y. and Hawkins A.D. “Sound production during competitive feeding in the grey gurnard, *Eutrigla gurnardus* (Triglidae)”. *Journal of Fish Biology*, Vol. 65, pp. 182–194, 2004b.

Bass H. Andrew and Clark W. Christopher. “The Physical Acoustics of Underwater Sound Communication” στο “*Acoustic communication*”, (εκδ. Simmons Megela Andrea, Popper N. Arthur and Fay R. Richard), Springer Science & Business Media, Νέα Υόρκη, 2003.

Bass H. Andrew and Ladich Friedrich. “Vocal Acoustic Communication from Neurons to Behavior”, στο “*Fish Bioacoustics*”, (εκδ. Webb F. Jacqueline, Popper N. Arthur and Fay R. Richard), Springer Science & Business Media, Νέα Υόρκη, 2008.

Briggs C. John. “The biogeography of otophysan fishes (Ostariophysi: Otophysi): a new appraisal”. *Journal of Biogeography*, Vol. 32, pp. 287–294, 2005.

Connaughton A. M., Taylor H. M. and Fine L. M. “Effects of Fish Size and Temperature on Weakfish Disturbance Calls: Implications for the Mechanism of Sound Generation”. *Journal of Experimental Biology*, Vol. 203, pp. 1503–1512, 2000.

Connaughton, A. Martin. “Sound generation in the searobin (*Prionotus carolinus*), a fish with alternate sonic muscle contraction”. *Journal of Experimental Biology*, Vol. 207, pp. 1643–1654, 2004.

Coombs Sheryl and Popper N. Arthur. “Hearing differences among Hawaiian squirrelfish (family Holocentridae) related to differences in the peripheral auditory system”. *Journal of comparative physiology*, Vol. 132, pp. 203–207, 1979.

Crawford D. John, Cook P. Aaron and Heberlein S. Andrea. “Bioacoustic behavior of African fishes (Mormyridae): potential cues for species and individual recognition in *Pollimyrus*”. *Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 102. pp. 1200–1212, 1997a.

Crawford D. John and Huang Xiaofeng. “Communication Signals and Sound Production Mechanisms of Mormyrid Electric Fish”. *Journal Experimental Biology*, Vol. 202, pp. 1417–1426, 1999.

Crawford D. John. "Hearing and acoustic communication in mormyrid electric fishes". *Journal of Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* Vol. 29, pp. 65–86, 1997b.

Fine L. Michael, Malloy L. Karl, King Brian Charles, Mitchell L. Steve and Cameron M. Timothy. "Movement and Sound Generation by the Toadfish Swimbladder". *Journal of Comparative Physiology A*, Vol. 187, pp. 371–379, 2001.

Fletcher Lindsay and Crawford D. John. "Acoustic detection by sound-producing fishes (Mormyridae): The Role of gas-filled tympanic bladders". *The Journal of Experimental Biology*, Vol. 204, pp. 175–183, 2001.

Hawkins A.D. and Amorim P. Clara M. "Spawning sounds of the male haddock, *Melanogrammus aeglefinus*". *Journal of Environmental Biology of Fishes*, Vol. 59, pp. 29–41, 2000.

Horch Kenneth and Salmon Michael. "Adaptations to the acoustic environment by the squirrelfishes *Myripristis violaceus* and *M. pralinius*". *Journal of Marine Behavior & Physiology*, Vol. 2, pp. 121–139, 1973.

Kaatz I.M. and Lobel P.S. "Acoustic behavior and reproduction in five species of *Corydoras* catfishes (Callichthyidae)". *Journal of Biological Bulletin*, Vol. 197, pp. 241–242, 1999.

Kasumyan A. O. "Acoustic Signaling in Fish". *Journal of Ichthyology*, Vol. 49, No. 11, pp. 963 – 1020, 2009.

Kasumyan A. O. "Sounds and Sound Production in Fishes". *Journal of Ichthyology*, Vol. 48, No. 11, pp. 981 – 1030, 2008.

Kouzoupis S. and Papadakis P. "Comparison of three swimbladder sound production mechanism models", in proceedings of the 11th *European Conference on Underwater Acoustics ECUA*, pp. 510-517, 2012.

Ladich Friedrich and Yan Y. Hong. "Correlation between auditory sensitivity and vocalization in anabantoid fishes". *Journal of Comparative Physiology A*, Vol. 182, pp. 737–746, 1998.

Ladich Friedrich and Popper N. Arthur. “Parallel evolution in fish hearing organs” στο “*Evolution of the Vertebrate Auditory System*”, (εκδ. G. Manley, A.N. Popper, R.R. Fay), Springer Verlag, New York. pp. 95 – 127, 2004.

Ladich Friedrich, Collin P. Shaun, Moller Peter and Kapoor G. B. “*Communication in Fishes*”, Science Publishers, Μπρισμαπέιν, 2006.

Ladich Friedrich. “Comparative Analysis of Swim bladder (Drumming) and Pectoral (Stridulation) Sounds in Three Families of Catfishes”. *Journal of Bioacoustics*, Vol. 8, pp. 85–208, 1997.

Ladich Friedrich. “Sound Generating and Detecting Motor System in Catfish: Design of Swim bladder Muscles in Doradids and Pimelodids”. *Journal of the Anatomical Record*, Vol. 263, pp. 297–306, 2001.

Lobel S. Phillip. “Possible species specific courtship sounds by two sympatric cichlid fishes in Lake Malawi, Africa”. *Journal of Environmental Biology of Fishes*, Vol. 52, pp. 443–452, 1998.

Mann A. David and Lobel S. Phillip. “Acoustic behaviour of the damselfish *Dascyllus albisella*: behavioural and geographic variation”. *Journal of Environmental Biology of Fishes*, Vol. 51, pp. 421–428, 1998.

Mann A. David, Hawkins D. Anthony and Jech J. Michael. “Active and Passive Acoustics to Locate and Study Fish”, στο “*Fish Bioacoustics*”, (εκδ. Webb F. Jacqueline, Popper N. Arthur and Fay R. Richard). Springer Science & Business Media, Νέα Υόρκη, 2008.

Mann A. David. “Remote sensing of fish using passive acoustic monitoring”. *Journal of Acoustics Today*, Vol. 8, pp. 8-15, (2012)

Moulton J. M. “Swimming Sounds and the Schooling of Fishes”, *Journal of the Biological Bulletin*, Vol. 119, pp. 210–223, 1960.

Okumura Tsuyoshi, Akamatsu Tomonari and Yan Y. Hong. “Analyses of small tank acoustics: Empirical and theoretical approaches”. *Journal of Bioacoustics*, Vol. 12, pp. 330-332, 2002.

Parvulescu A. “The acoustics of small tanks”, στο “*Marine Bio-Acoustics II*”, (εκδ. Tavolga W.N.), Pergamon Press, pp. 7–13, Οξφόρδη, 1967.

Popper N. Arthur and Schilt R. Carl. “Hearing and Acoustic Behavior: Basic and Applied Considerations”, στο “*Fish Bioacoustics*”, (εκδ. Webb F. Jacqueline, Popper N. Arthur and Fay R. Richard), Springer Science & Business Media, Νέα Υόρκη, 2008.

Pruzsinszky I. and Ladich F., “Sound Production and Reproductive Behaviour of the Armoured Catfish *Corydoras paleatus* (Callichthyidae)”. *Journal of Environmental Biology of Fishes*, Vol. 53, pp. 183–191, 1998.

Ramcharitar John, Gannon P. Damon and Popper N. Arthur. “Bioacoustics of Fishes of the Family Sciaenidae (Croakers and Drums)”. *Journal of Transactions of the American Fisheries Society*, Vol. 135 (5), pp. 1409–1431, 2006.

Rice N. A. and Lobel S. P., “Enzyme Activities of Pharyngeal Jaw Musculature in the Cichlid *Tramitichromis intermedius*: Implications for Sound Production in Cichlid Fishes”. *Journal of Experimental Biology*, Vol. 205, pp. 3519–3523, 2002.

Ryer C. H., Olla, B. L.. “Agonistic behavior in a schooling fish: form, function and ontogeny”. *Journal of Environmental Biology of Fishes*, Vol. 31, pp. 355-363, 1991.

Simmons Megela Andrea, Popper N. Arthur and Fay R. Richard. “*Acoustic communication*”, Springer Science & Business Media, Νέα Υόρκη, 2003.

Skoglund C.R. “Functional analysis of swim bladder muscles engaged in sound production of the toadfish”. *Journal of Biophysical and Biochemical Cytology*, Vol. 10, pp. 187–200, 1961.

Spanier Ehud. “Aspects of species recognition by sounds in four species of damselfishes, genus *Eupomacentrus* (Pisces: Pomacentridae)”. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, Vol. 51, pp. 301–316, 1979.

Tavolga N. William. “Listening Backward: Early Days of Marine Bioacoustics”, στο “*The Effects of Noise on Aquatic Life*”, (εκδ. A.N. Popper, A. Hawkins), Springer Science and Business Media, 2012.

Tavolga N. William. “Sound Production and Detection”, στο “*Fish Physiology Vol. V*”, (εκδ. W. S. Hoar, D. J. Randall): “Sensory Systems and Electric Organs”, Academic Press, Νέα Υόρκη, 1971.

Tellechea Javier S., Teixeira-de Mello Franco, Gonzalez-Bergonzoni Iván and Vidal Nicolás. “Sound production and pectoral spine locking in a Neotropical catfish (*Iheringichthys labrosus*, Pimelodidae)”. *Neotropical Ichthyology*, Vol. 9(4), pp. 889-894, 2011.

Webb F. Jacqueline, Popper N. Arthur and Fay R. Richard. “*Fish Bioacoustics*”, Springer Science & Business Media, Νέα Υόρκη, 2008.

Whitlow W. L. Au and Hastings C. Mardi. “*Principles of Marine Bioacoustics*”, Springer Science & Business Media, Νέα Υόρκη, 2008.

Wysocki Eva Lidia and Ladich Friedrich. “The Ontogenetic Development of Auditory Sensitivity, Vocalization and Acoustic Communication in the Labyrinth Fish *Trichopsis vittata*”. *Journal of Comparative Physiology A*, Vol. 187, pp. 177–187, 2001.

Wysocki Eva Lidia and Ladich Friedrich. “The representation of conspecific sounds in the auditory brainstem of teleost fishes”. *The Journal of Experimental Biology*, Vol. 206, pp. 2229-2240, 2003.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

http://el.wikipedia.org/wiki/Συστηματική_ταξινόμηση

<http://el.wikipedia.org/wiki/Υδροακουστική>

<http://el.wikipedia.org/wiki/Ψάρι>

[http://el.wikipedia.org/wiki/Είδος_\(βιολογία\)](http://el.wikipedia.org/wiki/Είδος_(βιολογία))

<http://en.wikipedia.org/wiki/Pterophyllum>

<http://macaulaylibrary.org>

<http://oalib.hlsresearch.com>

<http://www.acvariu.ro>

<http://www.avisoft.com>

<http://www.bioacoustics.info>

<http://www.dosits.org>

<http://www.fishbase.org>

<http://www.glaucus.org.uk>

<http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/1758/1/master%20Christodoulopoulou%20S..pdf>

<http://www.pelagosinstitute.gr>

<http://www.planetcatfish.com>

<http://www.tsamisaquarium.gr/Selides/Themata/morph.htm>

<http://www.wikipedia.org>

http://5dim-pyrgou.ilei.sch.gr/sea_web/htm/fish.html

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΗΧΟΓΡΑΦΗΣΕΙΣ



Εικόνα Π1: Τα γατόψαρα.



Εικόνα Π2: Στιγμιότυπο από ηχογράφιση.



Εικόνα Π3: Γατόψαρο.



Εικόνα Π4: Στιγμιότυπο από ηχογράφιση.

α)



β)



γ)



δ)



Εικόνα Π5 (α,β,γ,δ): Στιγμιότυπα από ηχογράφηση.

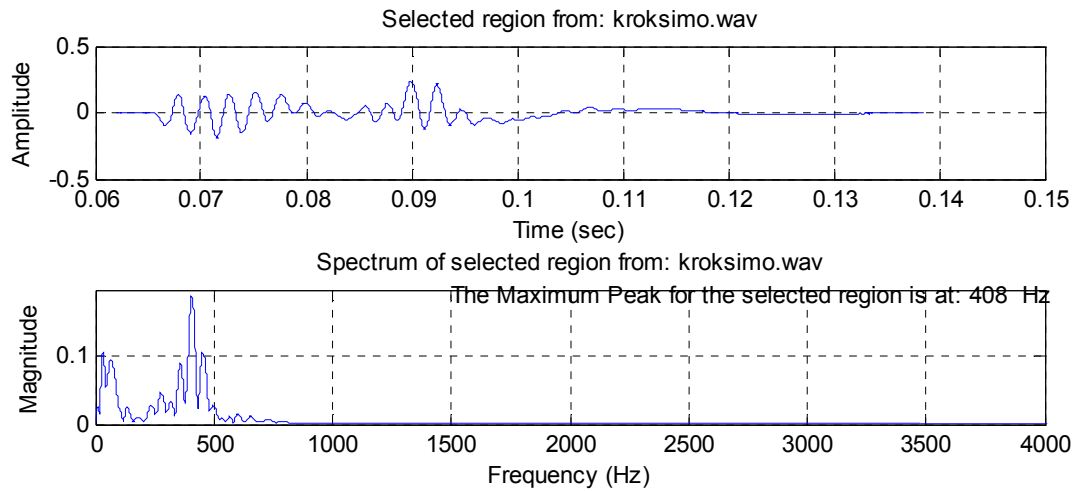


Εικόνα Π6: Έξοδος γατόψαρου από νερό.

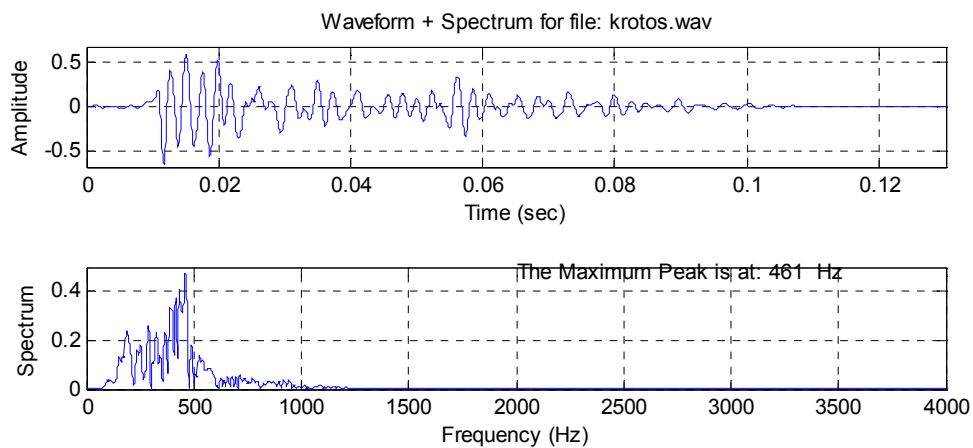


Εικόνα Π7: Στιγμιότυπο από την έξοδο του γατόψαρου από το νερό.

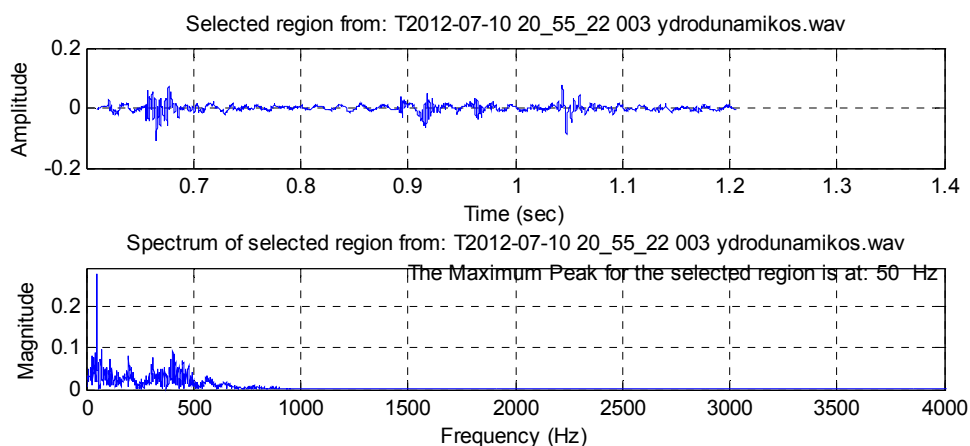
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΕΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΑ ΗΧΩΝ



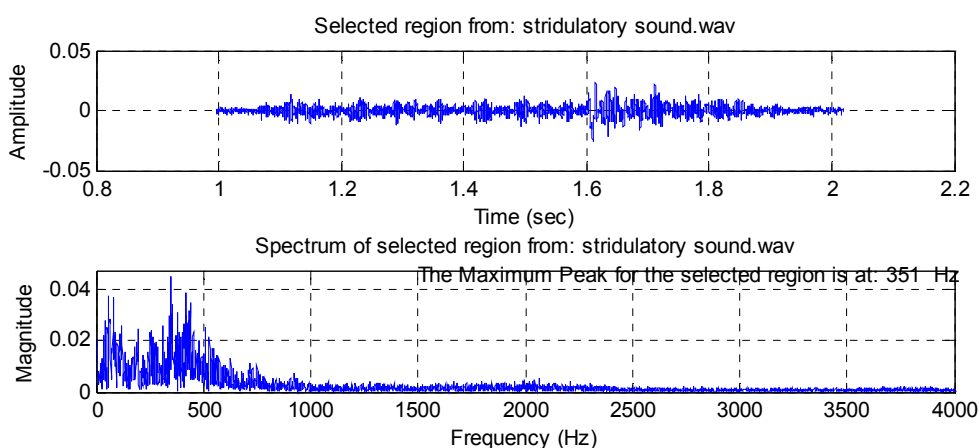
Σχήμα Π1: Κυματομορφή και φασματογράφημα από καταγεγραμμένο ήχο των *Pimelodus pictus* (συχνότητα δειγματοληψίας 22050 Hz, μέγιστη συχνότητα 408 Hz) (ήχος "kroksimo.wav" στο Παράρτημα Δ).



Σχήμα Π2: Κυματομορφή και φασματογράφημα από καταγεγραμμένο ήχο των *Pimelodus pictus* (συχνότητα δειγματοληψίας 22050 Hz, μέγιστη συχνότητα 461 Hz) (ήχος "krotos.wav" στο Παράρτημα Δ).

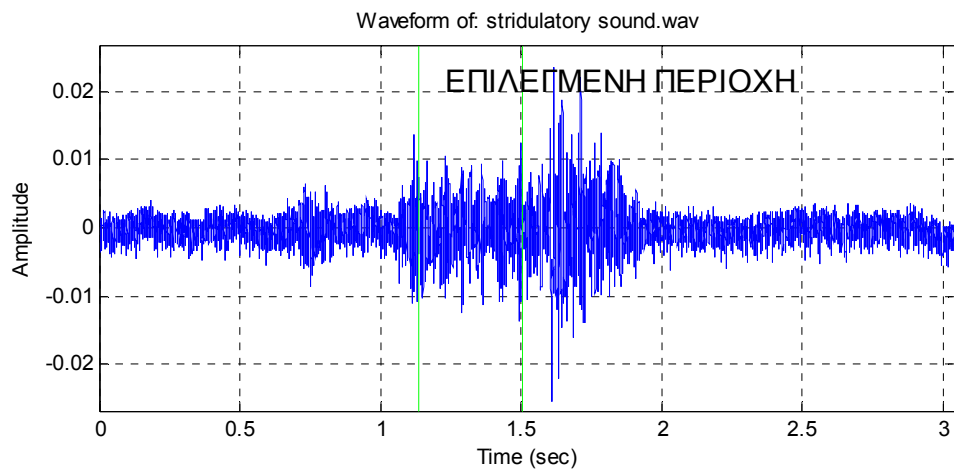


Σχήμα Π3: Κυματομορφή και φασματογράφημα από καταγεγραμμένο υδροδυναμικό ήχο των *Pimelodus pictus* (συχνότητα δειγματοληψίας 22050 Hz, μέγιστη συχνότητα 50 Hz, ψάρι μακριά από υδρόφωνο) (ήχος “T2012-07-10 20_55_22 003 ydrodunamikos.wav” στο Παράρτημα Δ).

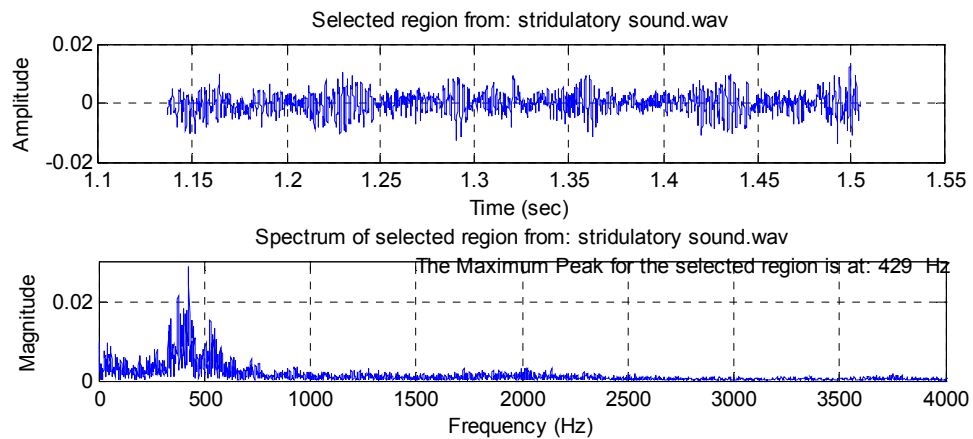


Σχήμα Π4: Κυματομορφή και φασματογράφημα από καταγεγραμμένο συριστικό ήχο των *Pimelodus pictus* (συχνότητα δειγματοληψίας 22050 Hz, μέγιστη συχνότητα 351 Hz, ψάρι μακριά από υδρόφωνο) (ήχος “stridulatory sound.wav” στο Παράρτημα Δ).

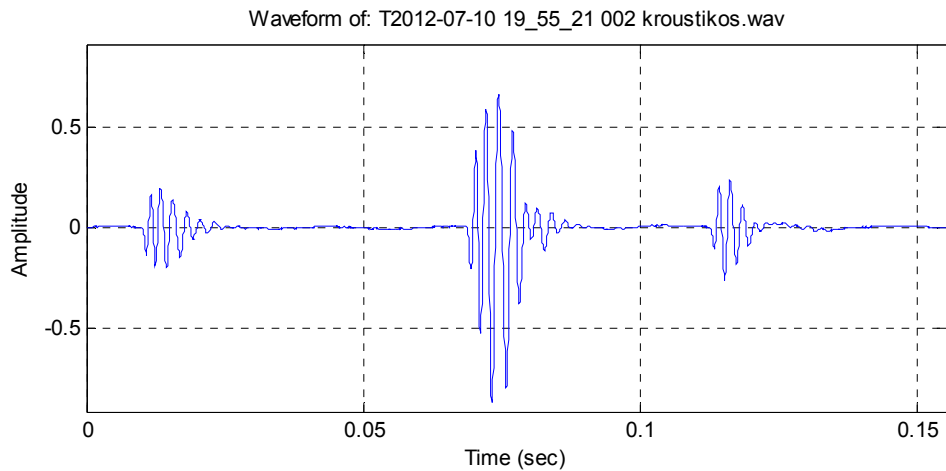
α)



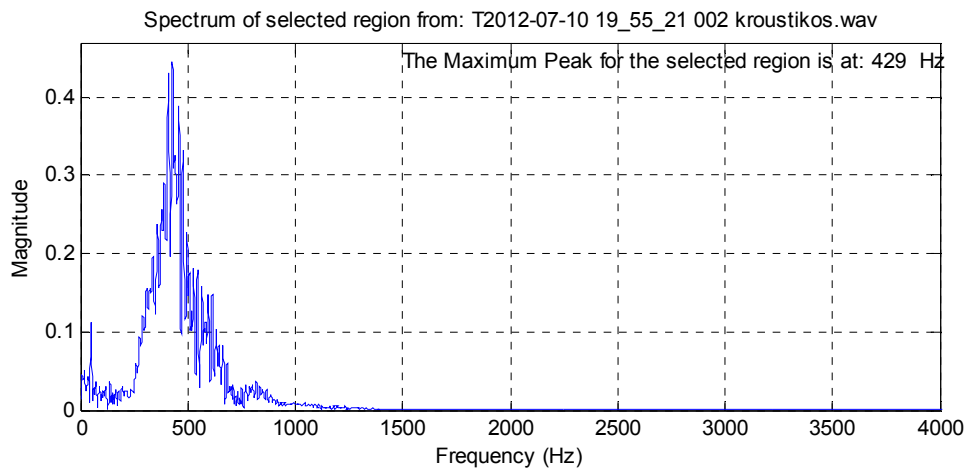
β)



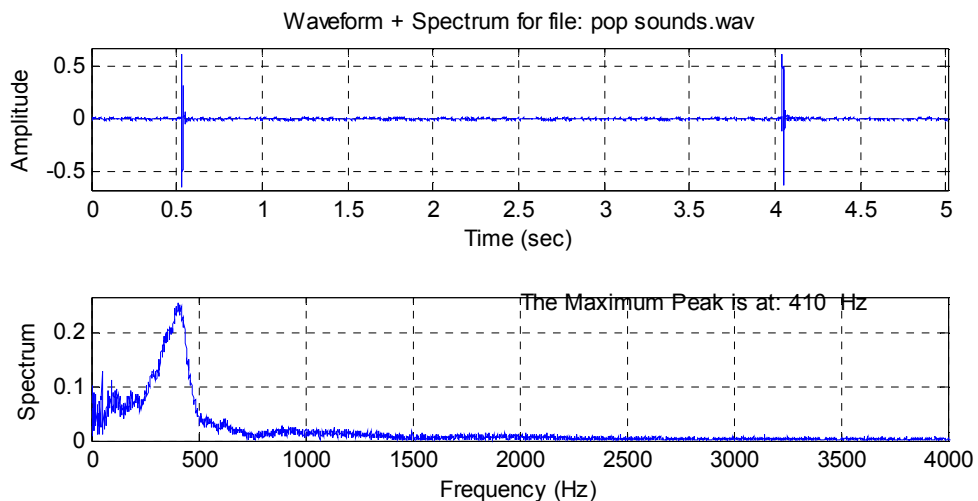
Σχήμα Π5: α) επιλεγμένη περιοχή και β) κυματομορφή και φασματογράφημα από επιλεγμένη περιοχή του παραπάνω καταγεγραμμένου συριστικού ήχου των *Pimelodus pictus* (συχνότητα δειγματοληψίας 22050 Hz, μέγιστη συχνότητα 429 Hz, ψάρι μακριά από υδρόφωνο).



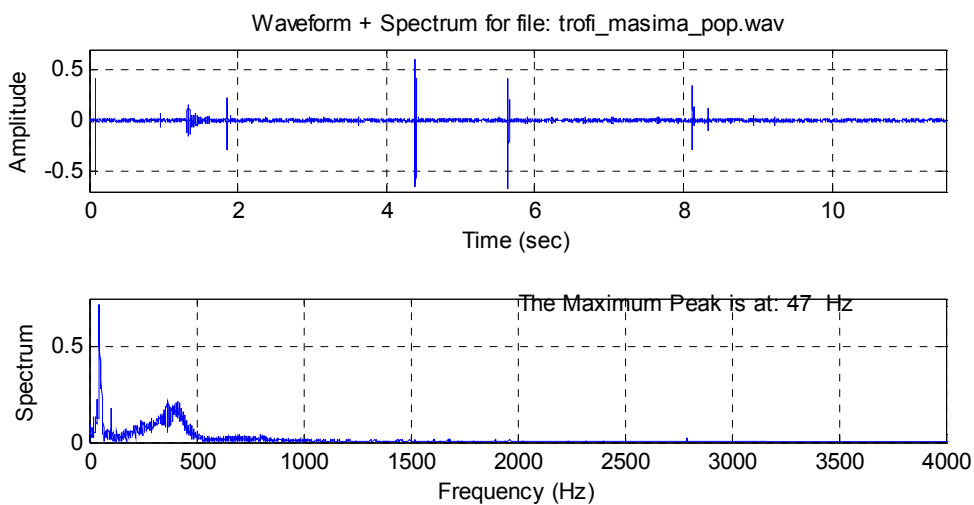
Σχήμα Π6: Κυματομορφή από καταγεγραμμένο ήχο των *Pterophyllum scalare*, κατά τη διάρκεια ανταγωνισμού (ήχος “T2012-07-10 19_55_21 002 kroustikos.wav” στο Παράρτημα Δ).



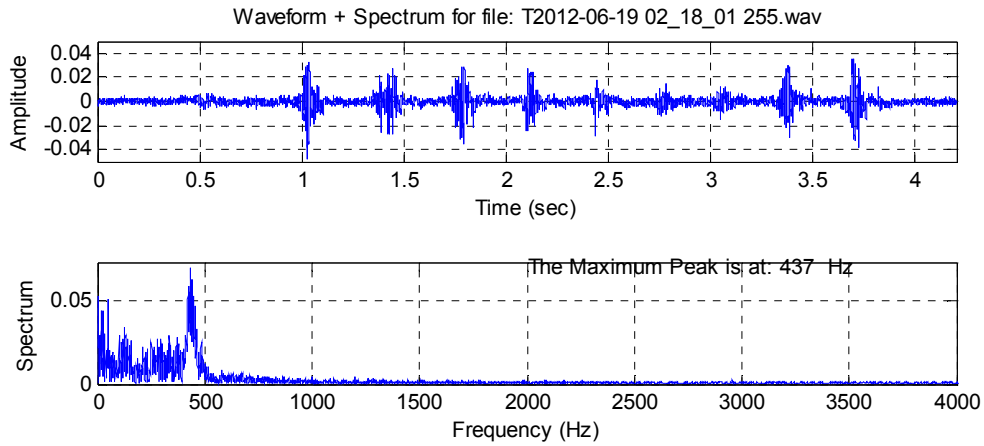
Σχήμα Π7: Φάσμα του παραπάνω καταγεγραμμένου ήχου των *Pterophyllum scalare* (συχνότητα δειγματοληψίας 22050 Hz, μέγιστη συχνότητα 429 Hz).



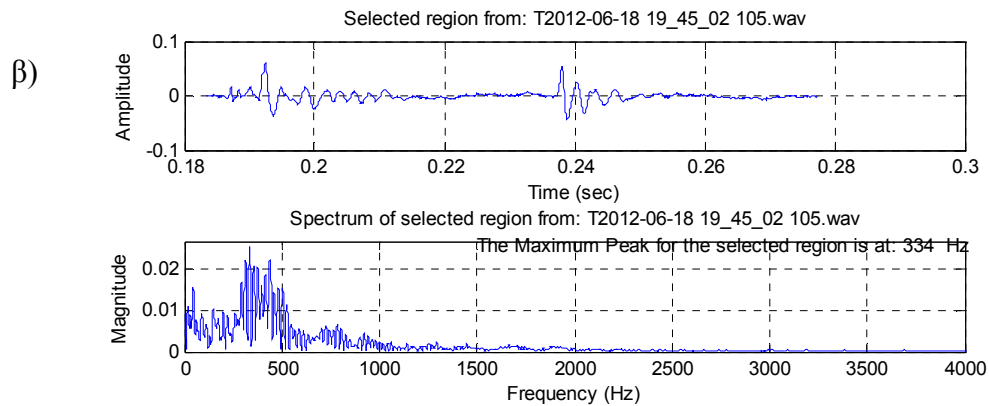
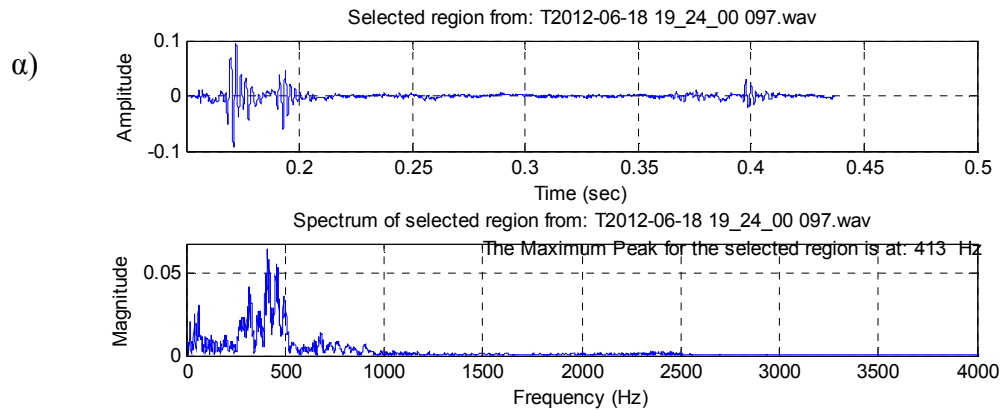
Σχήμα Π8: Κυματομορφή και φάσμα από καταγεγραμμένο ήχο των *Pterophyllum scalare* (συχνότητα δειγματοληψίας 22050 Hz, μέγιστη συχνότητα 410 Hz).



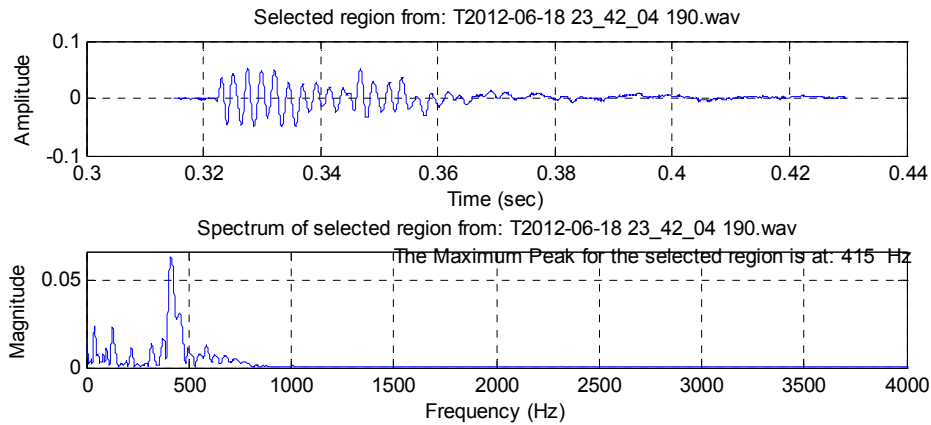
Σχήμα Π9: Κυματομορφή και φάσμα από καταγεγραμμένο ήχο των *Pterophyllum scalare* κατά τη διάρκεια σίτισης (συχνότητα δειγματοληψίας 22050 Hz, μέγιστη συχνότητα 47 Hz, ψάρι μακριά από υδρόφωνο) (ήχος “trofi_masima_pop.wav” στο Παράρτημα Δ).



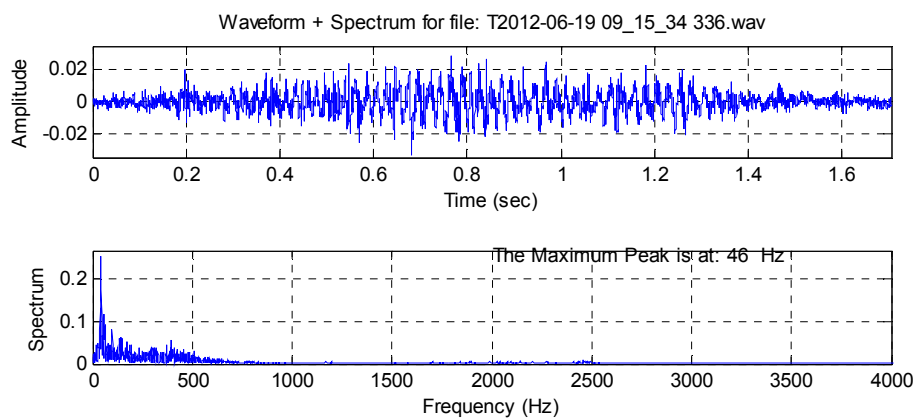
Σχήμα Π10: Κυματομορφή και φάσμα από καταγεγραμμένο ήχο των *Ancistrus cirrhosus* (ψάρια γλυκού νερού) κατά τη διάρκεια σκαψίματος στο βότσαλο-χόμα (συχνότητα δειγματοληψίας 22050 Hz, μέγιστη συχνότητα 437 Hz) (ήχος “T2012-06-19 02_18_01 255.wav” στο Παράρτημα Δ).



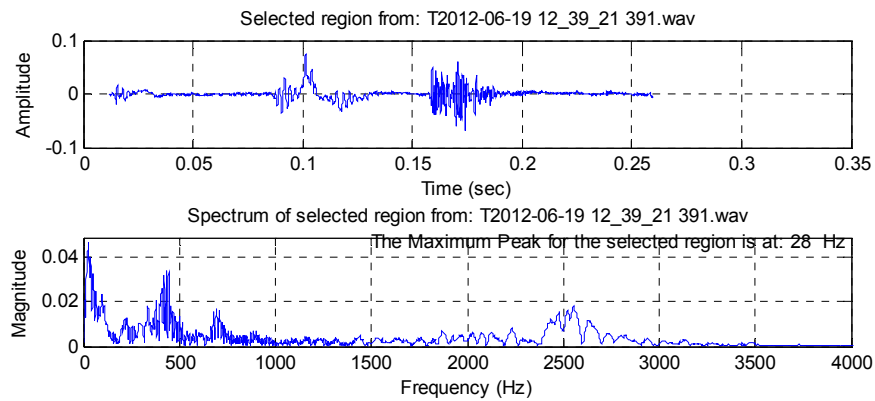
γ)



δ)

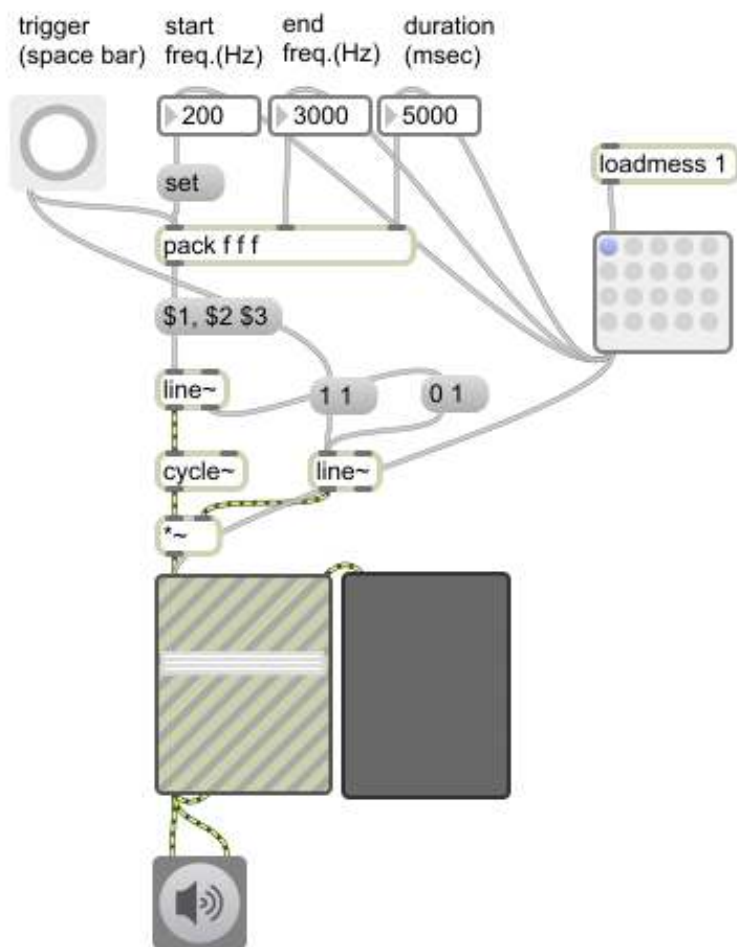


ε)



Σχήμα ΠΙΙ (α,β,γ,δ,ε): Κυματομορφές και φάσματα από καταγεγραμμένους ήχους των φαριών γλυκού νερού (συχνότητα δειγματοληψίας 22050 Hz) (ήχος “T2012-06-18 19_24_00 097.wav”, “T2012-06-18 19_45_02 105.wav”, “T2012-06-18 23_42_04 190.wav”, “T2012-06-19 09_15_34 336.wav” και “T2012-06-19 12_39_21 391.wav” στο Παράρτημα Δ).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΣΑΡΩΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ



Εικόνα Π7: Το πρόγραμμα (patch) της Max MSP που χρησιμοποιήθηκε ώστε να φτιαχτεί μία γεννήτρια συχνοτήτων που σαρώνει τις συχνότητες. Έγινε χρήση της στο πείραμα της Ενότητας 7.3.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: ΉΧΟΙ ΚΑΙ ΒΙΝΤΕΟ ΗΧΟΓΡΑΦΗΣΕΩΝ

Αποτελείται από τον φάκελο «Παράρτημα Δ» στο CD που περιέχει 2 υποφακέλους. Ο φάκελος «ήχοι», περιέχει τους ήχους από τα ψάρια που ηχογραφήθηκαν και ο φάκελος «video», περιέχει τα βίντεο που έχουν συγχρονιστεί με τον ήχο, για τη μελέτη της κοινωνικής συμπεριφοράς των ψαριών.