



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

« ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΑΝΤΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΑ
ΨΑΡΙΑ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ *GAMBUSIA HOLBROOKI* »

ΔΑΣΚΑΛΟΠΟΥΛΟΥ ΕΥΑΝΘΙΑ

ΒΟΛΟΣ 2012

« Ενεργειακές αναπαραγωγικές ανταλλαγές στα ψάρια: Η περίπτωση του *Gambusia holbrooki* »

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

- 1) **Αθανάσιος Τσίκληρας**, Λέκτορας, Θαλάσσια βιολογία – Αλιευτικά αποθέματα, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**.
- 2) **Χρήστος Νεοφύτου**, Καθηγητής, Ιχθυολογία – Υδροβιολογία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.
- 3) **Έλενα Μεντέ**, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Φυσιολογία Θρέψης Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής κ. Τσίκληρα Αθανάσιο για τη πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή των δειγματοληψιών όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τον Καθηγητή, κ. Νεοφύτου Χρήστο και την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, κα Μεντέ Έλενα, για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια της διεκπεραίωσης της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το κουνουπόψαρο *Gambusia holbrooki* (Girard, 1859) είναι ένα ψάρι που έχει εισαχθεί στα ελληνικά λιμνοποτάμια οικοσυστήματα με σκοπό να ελεγχθούν οι πληθυσμοί των κουνουπιών. Η αναπαραγωγική βιολογία του παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς πρόκειται για ένα από τα δύο ζωοτόκα ψάρια των ελληνικών λιμνών και ποταμών, αλλά το μοναδικό με ευρεία διασπορά.

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε το ολικό μήκος σώματος (TL, cm), το ολικό και καθαρό βάρος σώματος (TW και NW, g) η γονιμότητα (Fec), το μέγεθος (μήκος εμβρύου, EL, mm και διάμετρος λεκιθικού σάκου, YD, mm) και το στάδιο ανάπτυξης των εμβρύων του κουνουποφάγου. Από τα 2172 άτομα που συνολικά συλλέχθηκαν από τη Λίμνη Παμβώτιδα κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγικής περιόδου του είδους (Μάιος 2006), μελετήθηκαν μόνο τα θηλυκά ($n = 1192$). Τα εμβρυακά στάδια ανάπτυξης προσδιορίστηκαν σύμφωνα με την κλίμακα των 12 σταδίων.

Το ολικό μήκος των ατόμων που συλλέχθηκαν κυμάνθηκε από 2,1 έως 4,9 cm (μέσο $TL \pm SD = 3,05 \pm 0,612$ cm) και αυτό των θηλυκών που μελετήθηκαν επίσης από 2,1 έως 4,9 cm (μέσο $TL \pm SD = 3,47 \pm 0,514$ cm). Ο αριθμός ωοκυττάρων σε κάθε θηλυκό κυμάνθηκε από 4 έως 70 ωοκύτταρα (μέση $Fec \pm SD = 28,81 \pm 10,45$), ενώ ο αριθμός εμβρύων κυμάνθηκε από 5 έως 69 έμβρυα (μέση $Fec \pm SD = 33,89 \pm 8,48$).

Στα περισσότερα θηλυκά, τα έμβρυα βρέθηκαν στο 7ο, το 8ο ή το 9ο στάδιο ανάπτυξης, ενώ σε αρκετά θηλυκά βρέθηκαν έμβρυα σε δύο ή περισσότερα στάδια. Η ταυτόχρονη παρουσία στη λίμνη θηλυκών που κατατάσσονται σε όλα τα στάδια ωρίμανσης υποδεικνύει ότι, πιθανώς, το κουνουπόψαρο είναι πολλαπλός αποθέτης.

Το μήκος εμβρύου (αναφέρεται στα στάδια ανάπτυξης 8-11) κυμάνθηκε από 2,72 έως 10,54 mm (μέσο $EL \pm SD = 6,95 \pm 1,425$ mm), και η διάμετρος του λεκιθικού σάκου (αναφέρεται στα στάδια 2-10) από 0,89 έως 8,04 mm (μέση $YD \pm SD = 2,36 \pm 0,426$ mm). Τέλος, η γονιμότητα παρουσίασε εκθετική σχέση με το μήκος ψαριού ($Fec = 2,232 * L^{2,05}$, $r^2 = 0,39$).

Λέξεις – κλειδιά: Κουνουπόψαρο, αναπαραγωγή, γονιμότητα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. Αναπαραγωγικές στρατηγικές ψαριών.....	1
1.2. Βιολογία του είδους.....	2
1.2.1. Συστηματική κατάταξη.....	2
1.2.2. Διαφορές <i>Gambusia holbrooki</i> – <i>Gambusia affinis</i>	2
1.2.3. Γεωγραφική εξάπλωση.....	3
1.2.4. Περιγραφή.....	3
1.2.5. Βιότοπος.....	4
1.2.6. Διατροφή.....	5
1.2.7. Οικολογική σημασία.....	5
1.2.8. Αναπαραγωγή.....	6
1.3. Ενεργειακές ανταλλαγές.....	7
1.4. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας.....	8
1.5. Σκοπός της εργασίας.....	10
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	11
2.1. Περιοχή μελέτης.....	11
2.2. Δειγματοληψία.....	12
2.3. Κλίμακα σταδίων.....	13
2.4. Σχέση γονιμότητας – μήκους και βάρους.....	14
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	15
3.1. Μήκος και βάρος.....	15
3.2. Κατά μήκος συνθέσεις.....	16
3.3. Αναλογία φύλων.....	18
3.4. Στάδια εμβρυακής ανάπτυξης.....	18
3.5. Σχέση γονιμότητας – μήκους και βάρους.....	26
3.6. Σχέση διαμέτρου λεκίθου και μήκους εμβρύου με το μήκος των θηλυκών 30	
3.7. Σχέση γονιμότητας με τη διάμετρο λεκίθου και το μήκος εμβρύου.....	33
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	35

4.1.	Μήκος και βάρος.....	35
4.2.	Αναλογία φύλων.....	37
4.3.	Κατά μήκος συνθέσεις.....	38
4.4.	Στάδια εμβρυακής ανάπτυξης.....	39
4.5.	Σχέση γονιμότητας – μήκους και γονιμότητας - βάρους.....	41
4.6.	Σχέση ολικού μήκους – διαμέτρου λεκίθου και ολικού μήκους - μήκους εμβρύου.....	42
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	43
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	44
7.	ABSTRACT.....	53

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Αναπαραγωγικές στρατηγικές ψαριών

Τα ψάρια παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλομορφία στις αναπαραγωγικές στρατηγικές τους, ανάλογα με το σύστημα αναπαραγωγής, το ρόλο των δυο φύλων, τη γονιμότητα καθώς και την περιοχή και την περίοδο αναπαραγωγής (Wootton 1990). Τα περισσότερα είδη έχουν αναπτύξει διάφορες στρατηγικές για την προστασία των αυγών τους από τους περιβαλλοντικούς κινδύνους και τους θηρευτές τους (Balon 1984). Ο κύριος στόχος της αναπαραγωγικής στρατηγικής είναι να μεγιστοποιήσει αναπαραγωγικά τους ενεργούς απογόνους σε σχέση με την διαθέσιμη ενέργεια και να επεκτείνει τη διάρκεια ζωής τους (Pianca 2000).

Πολλά είδη αφήνουν το κανονικό τους περιβάλλον και μεταναστεύουν σε πιο προστατευμένες περιοχές προκειμένου να αποθέσουν τα αυγά τους. Η μετανάστευση αυτή, πραγματοποιείται σε κοπάδια ή ζευγάρια, είτε ατομικά (Johannes 1978). Τα μικρότερα είδη, συνήθως, παραμένουν κοντά στο καταφύγιο της μόνιμης κατοικίας τους, κυρίως επειδή είναι πιο ευάλωτα στη θήρευση από μεγαλύτερα είδη (Hobson 1972). Επίσης, κάποια τροπικά είδη ψαριών είναι ζωοτόκα ή ωοζωοτόκα, συμπεριλαμβανομένου και του κουνουπόψαρου *Gambusia holbrooki*. Αυτή η αναπαραγωγική συνήθεια είναι πιο διαδεδομένη στα τροπικά ψάρια του γλυκού νερού (Murua & Saborido-Rey 2003). Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στην εύκρατη ζώνη, οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι οι αναπαραγωγικές στρατηγικές έχουν προσαρμοστεί ανάλογα με τη θερμοκρασία (Quasim 1955), την παρουσία φυτοπλαγκτού και ζωοπλαγκτού (Nikolsky 1963), τη βροχόπτωση (Lowe-McConnell 1975) και την ταχύτητα των ρευμάτων και των ανέμων (Bishai 1960). Τέλος, η πλειονότητα των

ειδών τείνει να αποθέτει τα αυγά κυρίως τη νύχτα, έτσι ώστε να μειωθεί η θήρευση των αυγών (Barat 1955). Τα περισσότερα είδη ψαριών, εμπορικής σημασίας, αναπαράγονται πάνω από μια φορά κατά τη διάρκεια της ζωής τους, παρ' όλα αυτά υπάρχουν σημαντικές εξαιρέσεις σε αυτόν τον γενικό κανόνα, που αναπαράγονται μια μόνο φορά στη ζωή τους και στη συνέχεια πεθαίνουν (Johannes 1978).

1.2. Βιολογία του κουνουπόψαρου *Gambusia holbrooki*

1.2.1. Συστηματική κατάταξη

Η συστηματική κατάταξη του κουνουπόψαρου έχει αλλάξει πολλές φορές κατά τη διάρκεια των χρόνων. Το είδος *Gambusia holbrooki* περιγράφηκε από τον Girard το 1859.

Ανήκει στο φύλο Chordata, στην κλάση Actinopterygii, στην τάξη Cyprinodontiformes, στην οικογένεια Poeciliidae, στο γένος *Gambusia* και στο είδος *Gambusia holbrooki* (Girard 1859).

1.2.2. Διαφορές *Gambusia holbrooki* – *Gambusia affinis*

Τα δυο είδη του γένους *Gambusia* αναφέρονται ως κουνουπόψαρα και αντιπροσωπεύουν τα πιο διαδεδομένα ψάρια, γλυκού νερού, παγκοσμίως. Η μορφολογική ομοιότητα των ειδών προκάλεσε ιστορικές αλλαγές στην ταξινομική τους κατάσταση με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί σύγχυση σε δημοσιευμένα επιστημονικά ευρήματα. Και τα δυο είδη θεωρούνταν υποείδη του *Gambusia affinis* για μεγάλη χρονική περίοδο (Moyle 2002). Μετά το 1990, τα είδη διαφοροποιήθηκαν λόγω των μορφολογικών τους διαφορών, των γενετικών μελετών και της γεωγραφικής τους

εξάπλωσης (Wooten *et al.* 1988). Τα ενήλικα άτομα των δυο ειδών μπορούν να διακριθούν από τον αριθμό των ακτινών του ραχιαίου και εδρικού πτερυγίου, και τη μορφολογία του εδρικού πτερυγίου του αρσενικού, του γονοπόδιου. Το *Gambusia holbrooki* συνήθως έχει 7 ραχιαίες ακτίνες, 10 εδρικές και μια σειρά από προεξέχοντα δόντια στο γονοπόδιο, ενώ το *Gambusia affinis* έχει 6 ραχιαίες και 9 εδρικές ακτίνες, ενώ απουσιάζουν οι προεξοχές στο γονοπόδιο (Vidal *et al.* 2010).

1.2.3. Γεωγραφική εξάπλωση

Το κουνουπόψαρο *Gambusia holbrooki* προέρχεται από την Βόρεια και Κεντρική Αμερική και συγκεκριμένα από τις Ηνωμένες Πολιτείες και το Μεξικό. Έχει εισαχθεί σε περισσότερες από 50 χώρες με σκοπό τον έλεγχο των προνυμφών των κουνουπιών τα οποία προκαλούσαν την ελονοσία στον άνθρωπο (Pyke 2008). Ωστόσο, η παγκόσμια κατανομή του είδους είναι ακόμη σε μεγάλο βαθμό ασαφής λόγω της ταξινομικής του σύγχυσης. Το κουνουπόψαρο εισήχθη στην Ευρώπη τη δεκαετία του 1920 και στη συνέχεια για πρώτη φορά στην Ιβηρική χερσόνησο το 1921 και μεταφέρθηκε στην Ιταλία το 1922. Σήμερα είναι ιδιαίτερα πλούσιο στις περισσότερες χώρες της Μεσογείου. Το κουνουπόψαρο έφτασε στην Ιταλία απευθείας από τις Ηνωμένες Πολιτείες τον Δεκέμβριο του 1927 (Krumholz 1948).

1.2.4. Περιγραφή

Το κουνουπόψαρο είναι μικρόσωμο είδος, με λεπτή ουρά, και στενό ουραίο μίσχο. Τα μάτια του είναι μεγάλα σε σχέση με το σώμα του και περικλείονται από ένα σκούρο δακτύλιο. Το σώμα του είναι συνήθως πρασινωπό-καφέ, οι πλευρές γκρι-μπλε,

η κοιλιακή χώρα ασημί-λευκό και τα πτερύγια κιτρινωπά (Pyke 2005). Παρουσιάζονται μικρές μαύρες κηλίδες τόσο στο ραχιαίο, όσο και στο ουραίο πτερύγιο. Και τα δυο φύλα εμφανίζουν κύρτωση αμέσως πριν από το ραχιαίο πτερύγιο, ενώ το θηλυκό έχει πεπλατυσμένη κοιλιακή χώρα (Lewis, 1970). Το αρσενικό (σύνηθες ολικό μήκος 3,5 cm) είναι κατά πολύ μικρότερο του θηλυκού (σύνηθες ολικό μήκος 6 cm), είναι πιο αδύνατο και διαθέτει γονοπόδιο, ένα επίμηκες εδρικό πτερύγιο που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του σπέρματος κατά τη διάρκεια του ζευγαρώματος (Constantz 1989) (Εικ. 1). Ο αριθμός των ακτινών των πτερυγίων του είναι D 7-8, A 10, P 13-14, V6 και επί της πλευρικής γραμμής υπάρχουν 30-32 λέπια (Horth 2003).



Εικόνα 1: Στο πάνω μέρος της εικόνας παρατηρείται ένα θηλυκό άτομο κουνουπόψαρου, ενώ στο κάτω ένα αρσενικό άτομο με το χαρακτηριστικό γονοπόδιο.

1.2.5. Βιότοπος

Είναι βενθοπελαγικό είδος που μπορεί να επιβιώσει σε όλους τους τύπους των στάσιμων και τρεχούμενων νερών (λίμνες, έλη, υδατοφράχτες, ποταμούς κ.λ.π) (Meffe & Snelson 1989). Παρουσιάζει υψηλή ανθεκτικότητα στις περιβαλλοντικές μεταβολές,

σε θερμοκρασία νερού από 0 - 30 °C και pH από 6.5 έως και 8.0. Τα νερά που ζει συνήθως, έχουν γενική σκληρότητα (GH) μετρημένη από 4 έως και 20. Οι ιδανικές όμως γι' αυτό συνθήκες είναι σε νερό με καθαρά αλκαλικό περιβάλλον και σχετικά υψηλή σκληρότητα. Επίσης μπορεί να επιβιώσει και σε υφάλμυρα νερά. Ζει και κινείται κυρίως στην επιφάνεια του νερού (Pyke 2005). Οι απαιτήσεις του σε οξυγόνο είναι ελάχιστες και όταν η θερμοκρασία του νερού κατέλθει κάτω των 10 °C, το κουνουπόψαρο εισέρχεται μέσα στη λάσπη ανοίγοντας τρύπες, όπου διέρχεται ένα είδος ημιχειμέριας νάρκης (Alcaraz & García - Berthou 2007).

1.2.6. Διατροφή

Είναι σαρκοφάγο είδος και το διαιτολόγιό του περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών λειών (Blanco *et al.* 2004). Η διατροφή του αποτελείται κυρίως από ιχθυονύμφες, προνύμφες κουνουπιών, καρκινοειδή, γαστερόποδα, ζωοπλαγκτόν, φύκη και μικρά έντομα. Επίσης τρέφεται με λεκιθοφόρα ιχθύδια διαφόρων ειδών της οικογένειας Cyprinidae. Η πιο διαδεδομένη κατηγορία λείας είναι τα κωπήποδα, με τα οποία τρέφεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Gkenas *et al.* 2012).

1.2.7. Οικολογική σημασία

Το κουνουπόψαρο είναι ένας εξαιρετος κυνηγός και λόγω αυτής κυρίως της δεινής κυνηγητικής του ικανότητας χρησιμοποιείται συστηματικά σε φράγματα, στάσιμα νερά, λίμνες, έλη και ποτάμια ανά τον κόσμο, για να ελέγξει τους πληθυσμούς των κουνουπιών (Cabral & Marques 1999). Τίποτε δεν μπορεί να του ξεφύγει όταν το

εντοπίσει, ούτε ακόμα και τα μικρά του είδους του, αφού τα κουνουπόψαρα εμφανίζουν το φαινόμενο του κανιβαλισμού (Gisbert *et al.* 1996). Θεωρήθηκε επιστημονικά σαν ένας φυσικός βιολογικός τρόπος για την τεχνητή αντιμετώπιση της εξάπλωσης της ελονοσίας (αφού καταπολεμά αποτελεσματικά τον κύριο φορέα της, τα κουνούπια) και χρησιμοποιήθηκε σε διάφορα επιστημονικά προγράμματα, με θεαματικά αποτελέσματα. Δεν πρέπει όμως ποτέ τέτοιου είδους ψάρια να αφήνονται ελεύθερα στη φύση ανεξέλεγκτα, γιατί είναι πιθανό να αυξήσουν πολύ τους πληθυσμούς τους, φέρνοντας δυσάρεστα αποτελέσματα στα οικοσυστήματα που θα βρεθούν όπως έλλειψη τροφής για τα ενδημικά ψάρια, κατάληψη ζωτικού χώρου λόγω υπερπληθυσμού και εξόντωση του γόνου των άλλων ειδών (Kottelat & Whitten 1996).

1.2.8. Αναπαραγωγή

Το κουνουπόψαρο εμφανίζει υψηλή αναπαραγωγική ικανότητα. Είναι ωοζωοτόκο είδος, δηλαδή γεννά έμβρυα τα οποία σχηματίζονται πλήρως στην κοιλιά του θηλυκού και είναι έτοιμα να κολυμπήσουν μόλις γεννηθούν. Το ζευγάρι μπορεί να διαρκέσει δύο και τρεις μέρες. Σε αυτό το διάστημα το αρσενικό κυνηγά ασταμάτητα το θηλυκό. Αφού τελειώσει το κυνηγητό, το αρσενικό θα έχει γονιμοποιήσει με το γονοπόδιό του, το θηλυκό, ώστε να μπορεί αυτό να γεννά αυτόνομα για πάνω από 3 μήνες (Marsh-Matthews *et al.* 2005).

Η περίοδος κύησης είναι συνήθως 22 - 25 ημέρες (Krumholz 1948) αλλά μπορεί να επεκταθεί από 15 έως 50 ημέρες ανάλογα με τη θερμοκρασία του νερού, την εποχή και την τοποθεσία (Gall *et al.* 1980). Για τα αρσενικά άτομα, η ανώριμη φάση μπορεί

να διαρκέσει από 18 ημέρες ως 8 εβδομάδες (Meffe 1992). Στα θηλυκά άτομα μπορεί να διαρκέσει περίπου από 18 ημέρες έως 10 εβδομάδες (Vondracek *et al.* 1988).

Η διάμετρος των αυγών κυμαίνεται από 0,2 έως 1 mm στην ανώριμη φάση, και μπορεί να φτάσει από 1,4 έως 1,8 mm στην ώριμη φάση. Η διάμετρος των εμβρύων είναι περίπου 2,2 mm (Vargas & de Sostoa 1996). Κατά τη διάρκεια της κύησης, το βάρος του εμβρύου παραμένει σχετικά σταθερό (Wourms 1981). Η αναπαραγωγική ωριμότητα τόσο των θηλυκών όσο και των αρσενικών επιτυγχάνεται στα 17 – 20 mm (Hildebrand 1927).

Καθ' όλη αυτή τη διάρκεια, το θηλυκό θα κάνει αρκετές γέννες χωρίς την ανάγκη του αρσενικού πλέον (αποθηκεύει το σπέρμα εσωτερικά) και θα γεννήσει πολλά ζωντανά μικρά. Η ωοτοκία γίνεται μέσα στην υπογάστρια κοιλιακή χώρα και διαρκεί περίπου 30 ημέρες. Μόλις τα μικρά σχηματισθούν πλήρως, γεννιούνται σχεδόν έτοιμα για τον αγώνα της επιβίωσης (Fernández-Delgado & Rossomanno 1997). Γεννά 4 - 5 φορές το χρόνο με αναπαραγωγική δύναμη κάθε φορά 70 - 80 νεαρά. Η κανονική αναπαραγωγική του περίοδος είναι από Απρίλιο μέχρι Οκτώβριο (Batty & Lim 1999).

1.3. Ενεργειακές ανταλλαγές

Οι ενεργειακές ανταλλαγές είναι οι δεσμοί μεταξύ των βιολογικών χαρακτηριστικών των οργανισμών που περιορίζουν την ταυτόχρονη εξέλιξη δυο ή περισσότερων τέτοιων χαρακτηριστικών (Roff 1992). Τουλάχιστον 45 ενεργειακές ανταλλαγές ορίζονται μεταξύ των χαρακτηριστικών της στρατηγικής ζωής. Στους οργανισμούς, οι πιο μελετημένες είναι η αναπαραγωγή με την επιβίωση, η παρούσα με

την μελλοντική αναπαραγωγή, η αναπαραγωγή με την φυσική κατάσταση καθώς και ο αριθμός με το μέγεθος των αβγών (Stearns 1992).

Η μέτρηση των ενεργειακών ανταλλαγών έχει προσελκύσει την κριτική και την αντιπαράθεση, παρ' όλα αυτά δύο μέθοδοι έχουν αποδειχθεί αξιόπιστες, και κατατοπιστικές. Πρώτον, μπορεί κανείς να επιλέξει ένα χαρακτηριστικό και να βρει σχετικές απαντήσεις σε άλλα χαρακτηριστικά. Η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιείται συνήθως σε πειράματα τεχνητής επιλογής. Δεύτερον, μπορεί κανείς να χειριστεί το φαινότυπο και να μελετήσει τις συνέπειες στα ίδια άτομα. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε πειράματα που σχετίζονται με το μέγεθος των αυγών (Tuomi *et al.* 1983), και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

1.4. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

Η βιολογία, η αύξηση και η αναπαραγωγή του κουνουπόψαρου (*Gambusia holbrooki*) έχουν μελετηθεί σε διάφορες περιοχές της εξάπλωσής του, τόσο στην Ευρώπη (Zulian *et al.* 1995, Pilastro *et al.* 1997, Dreze *et al.* 1998, Cabral & Marques 1999, Blanco *et al.* 2004, Ozturk & Izik 2004, Perez - Bote & Lopez 2005, Beaudouin *et al.* 2008, Benejam *et al.* 2009), όσο και παγκοσμίως (Milton 1983, Vondracek *et al.* 1988, Peterson & Peterson 1990, Downhower *et al.* 2002, Keane & Neira 2004, Specziar 2004, Edwards *et al.* 2010). Στην Ελλάδα το κουνουπόψαρο δεν έχει μελετηθεί επαρκώς (Gkenas *et al.* 2012) (Πιν. 1).

Πίνακας 1: Ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας για το κουνουπόγαρο.

Έρευνα	Περιοχή	Βιβλιογραφική αναφορά
Αύξηση, αναπαραγωγή, θνησιμότητα	Δ. Πορτογαλία	Cabral <i>et al.</i> 1999
Αύξηση, αναπαραγωγή, ηλικία	Ισπανία	Vargas & Sostoa 1996
Αναπαραγωγή	Μεσόγειος	Benejam <i>et al.</i> 2009
Αναπαραγωγή	-	Haynes 1995
Αύξηση, αναπαραγωγή	Μπαχάμες	Downhower <i>et al.</i> 2002
Ανάπτυξη	Γαλλία	Dreze <i>et al.</i> 1998
Αύξηση, αναπαραγωγή	Florida	Edwards <i>et al.</i> 2010
Αύξηση	Γαλλία	Beaudouin <i>et al.</i> 2008
Αναπαραγωγή	Αυστραλία	Milton 1983
Ηλικία, αύξηση, αναπαραγωγή	Τουρκία	Ozturk & Izik 2004
Αύξηση, αναπαραγωγή	Μεσόγειος	Perez-Bote & Lopez 2005
Αναπαραγωγή, αύξηση	Μισσισιπής	Peterson & Peterson 1990
Αύξηση, αναπαραγωγή, διατροφή	-	Pyke 2005
Αύξηση, ηλικία, αναπαραγωγή, διατροφή	Λ. Heviz	Specziar 2004
Αύξηση, αναπαραγωγή, διατροφή	Λ. Παμβώτιδα	Gkenas <i>et al.</i> 2012
Αναπαραγωγή	Ιταλία	Pilastro <i>et al.</i> 1997
Αύξηση	Ιταλία	Zulian <i>et al.</i> 1995
Αναπαραγωγή	Αυστραλία	Keane & Neira 2004

1.5. Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι να μελετηθεί η αναπαραγωγική βιολογία του κουνουπόψαρου *Gambusia holbrooki* στη λίμνη Παμβώτιδα και να εξεταστούν πιθανές ενεργειακές ανταλλαγές ανάμεσα σε αναπαραγωγικά του χαρακτηριστικά. Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας μελετήθηκαν γενικά χαρακτηριστικά του είδους, όπως το ολικό μήκος σώματος, το ολικό και καθαρό βάρος σώματος. Επιπλέον, μελετήθηκαν τα στάδια γεννητικής ωρίμασης και υπολογίστηκε η σχέση γονιμότητας – σωματικού μήκους και γονιμότητας – σωματικού βάρους, η σχέση γονιμότητας – διαμέτρου λεκίθου και γονιμότητας – μήκους εμβρύου και τέλος η σχέση μήκους εμβρύου – ολικού μήκους σώματος και η σχέση διαμέτρου λεκίθου – ολικού μήκους σώματος. Τέλος, τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με προηγούμενες μελέτες στην υπάρχουσα βιβλιογραφία.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1. Περιοχή μελέτης

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στη λίμνη Παμβώτιδα, μια ρηχή λίμνη της Μεσογείου (39^ο 40' Ν, 20^ο 53' Ε) που βρίσκεται στη δυτική πλευρά της οροσειράς της Πίνδου (Tzedakis *et al.* 2002). Η επιφάνειά της είναι 22,8 km², το μέσο βάθος είναι 4,5 m και το μέγιστο βάθος είναι 7,5 m.

Η λίμνη Παμβώτιδα έχει πρόσφατα αναγνωριστεί, σε παγκόσμιο επίπεδο, σημαντική για τη βιοποικιλότητά της λόγω ποικιλίας τόσο της χλωρίδας όσο και της πανίδας (Krystufek & Reed 2004).

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων τριών δεκαετιών, λόγω της ανθρωπογενούς δραστηριότητας τόσο από την άρδευση όσο και από τα βιομηχανικά και αστικά απόβλητα, άλλαξε η τροφική κατάσταση της λίμνης, με αποτέλεσμα να προκληθούν σοβαρά προβλήματα ευτροφισμού, ενώ συχνά εμφανίζονται κυανοβακτήρια κατά τη διάρκεια των θερμών μηνών. Ο βυθός καλύπτεται κυρίως από βότσαλα και χοντρή άμμο και χαρακτηρίζεται από πυκνή υδρόβια βλάστηση. Χαρακτηριστικά φυτά στην λίμνη αποτελούν το κοινό καλάμι (*Phragmites australis*) καθώς και το μυριόφυλλο (*Myriophyllum spicatum*) (Kagalou *et al.* 2001).

Στην παράκτια ζώνη, εκτός από το κουνουπόψαρο, συνυπάρχουν δυο είδη γαρίδας (*Atyaephyra desmarestii*, *Palaemonetes antennarius*), καθώς και κάποια είδη ψαριών, η τσίμα (*Phoxinellus epiroticus*), η δρομίτσα (*Rutilus ramosi*) ο λουρογωβιός (*Economidichthys pygmaeus*) και ο ποντογωβιός (*Knipowitschia caucasica*) (Gkenas *et al.* 2012).

2.2. Δειγματοληψία

Η παρούσα πτυχιακή εργασία στηρίχθηκε σε δείγματα που συλλέχθηκαν από παρόχθια περιοχή της Λίμνης Παμβώτιδας κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγικής περιόδου του κουνουπόψαρου (Μάιος 2006). Πραγματοποιήθηκαν 4 δειγματοληψίες σε εβδομαδιαία βάση με γρίπο (μήκος 10 m, ύψος 1,5 m, άνοιγμα ματιού από κόμπο σε κόμπο 3 mm) στη νοτιοανατολική όχθη της λίμνης.

Τα δείγματα του κουνουπόψαρου αμέσως μετά τη διαλογή συντηρήθηκαν σε διάλυμα φορμόλης 8%. Στο εργαστήριο μετρήθηκε το ολικό μήκος σώματος (TL, cm) (Εικ. 2), το ολικό και το καθαρό βάρος σώματος (TW και NW, g), η γονιμότητα (Fec), το μέγεθος και το στάδιο ανάπτυξης των εμβρύων του κουνουπόψαρου. Συγκεκριμένα μετρήθηκε το μήκος εμβρύου (EL, mm) και η διάμετρος του λεκιθικού σάκου (YD, mm) Από τα 2172 άτομα κουνουπόψαρου που συλλέχθηκαν, οι παραπάνω μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μόνο στα θηλυκά (n=1192).



Εικόνα 2: Τρόπος μέτρησης του ολικού μήκους του κουνουποψάγου

2.3. Κλίμακα σταδίων

Τα εμβρυακά στάδια ανάπτυξης προσδιορίστηκαν, μικροσκοπικά, σύμφωνα με την κλίμακα των 12 σταδίων (Πιν. 2) (Edwards et al. 2010).

Πίνακας 2: Στάδια εμβρυακής ανάπτυξης του κουνουποφάγου *Gambusia holbrooki*.

ΣΤΑΔΙΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
0	Αποτελείται από μικρά, λευκά ωοκύτταρα υποδεικνύοντας μια ώριμη, αλλά και αναπαραγωγικά ανενεργή ωοθήκη.
1,2	Σταδιακή αύξηση της λεκίθου των ωαρίων.
3	Αποτελεί το πρώτο στάδιο κατά το οποίο όλα τα λεκιθικά ωοκύτταρα είναι παρόμοια σε μέγεθος και δεν παρουσιάζονται προχωρημένα προνυμφικά στάδια.
4	Διακρίνεται από το στάδιο 3 με την παρουσία του βλαστοπόρου.
5	Τα έμβρυα έχουν επιμηκυνθεί και οι οπτικοί δίσκοι είναι ορατοί αλλά χωρίς χρωματισμό.
6	Τα έμβρυα εμφανίζουν χρωματισμό οπτικών δίσκων.
7	Τα έμβρυα είναι μεγενθυμένα, έχουν κάποιο χρωματισμό στο δέρμα, αλλά και ανεπαρκή ανάπτυξη ματιού.
8	Τα έμβρυα εμφανίζουν πλήρως σχηματισμένα, χρωματισμένα μάτια και δέρμα, η ουρά δεν επικαλύπτει το κεφάλι.
9	Τα έμβρυα διατηρούν ένα μεγάλο λεκιθικό σάκο και η ουρά επικαλύπτει το κεφάλι.
10	Τα έμβρυα έχουν απορροφήσει το μεγαλύτερο μέρος του λεκιθικού σάκου και συχνά επιβιώνουν αν αφαιρεθούν από την ωοθήκη.
11	Έχουν απορροφήσει εντελώς το λεκιθικό σάκο και είναι έτοιμα για γέννηση.

2.4. Σχέση γονιμότητας – μήκους και βάρους

Σε κάθε άτομο κουνουπόψαρου μετρήθηκε ο αριθμός των παραγόμενων αυγών καθώς και το ολικό μήκος και βάρος του είδους και η μεταξύ τους σχέση υπολογίστηκε από τις εξισώσεις:

$$Fec = a \times L^b$$

όπου Fec η γονιμότητα, L το ολικό μήκος σώματος σε cm, a η τομή στον άξονα y και b η κλίση της γραμμής τάσης στη γραμμική μορφή της εξίσωσης.

$$Fec = a \times W^b$$

όπου Fec η γονιμότητα, W το ολικό βάρος σώματος σε g, a η τομή στον άξονα y και b η κλίση της γραμμής τάσης στη γραμμική μορφή της εξίσωσης.

Σε πολλές περιπτώσεις η εξίσωση μπορεί να είναι γραμμική μετά από λογαριθμικό μετασχηματισμό της εκθετικής (Bagenal 1969):

$$\log(Fec) = \log(a) + b \times \log(L) \text{ και}$$

$$\ln(Fec) = \ln(a) + b \times \ln(L)$$

Σε περιπτώσεις που το εύρος των μηκών είναι μικρό, η γραμμή τάσης της εξίσωσης μπορεί να εμφανίζεται γραμμικής μορφής, στην πραγματικότητα όμως είναι τμήμα της εκθετικής (Bagenal & Braum 1978). Η παράμετρος b (η κλίση της γραμμής τάσης στη γραμμική μορφή της εξίσωσης) ισούται περίπου με 3 στη σχέση γονιμότητας - μήκους. Συνήθως, η παράμετρος b κυμαίνεται από 1 έως 5, ενώ τείνει να είναι μεγαλύτερη στα θαλασσινά και μικρότερη στα ψάρια του γλυκού νερού. Στη σχέση γονιμότητας βάρους, η παράμετρος b ισούται περίπου με τη μονάδα (Wootton 1998).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Μήκος και βάρος

Στη συγκεκριμένη εργασία, συλλέχθηκαν και μελετήθηκαν 2172 άτομα από τα οποία τα 1192 άτομα ήταν θηλυκά, τα 976 άτομα ήταν αρσενικά ενώ υπήρχαν και 4 ανώριμα άτομα στα οποία δεν έγινε προσδιορισμός του φύλου τους. Το ολικό μήκος σώματος (TL) των θηλυκών ατόμων κυμάνθηκε από 2,1 cm έως 4,9 cm. Το ολικό μήκος σώματος των αρσενικών ατόμων κυμάνθηκε από 2,1 cm έως 3,7 cm. Το μέσο ολικό μήκος του συνόλου των ατόμων ήταν 3,05 cm, ενώ το μέσο ολικό μήκος των θηλυκών υπολογίστηκε στα 3,47 cm και των αρσενικών στα 2,53 cm. Το μέσο ολικό βάρος (TW) του συνόλου των ατόμων ήταν 1,08 g, ενώ το μέσο ολικό βάρος των θηλυκών υπολογίστηκε στα 1,53 g και των αρσενικών στα 0,53 g (Πίν. 3).

Πίνακας 3: Μέγιστη τιμή, ελάχιστη τιμή, μέση τιμή και τυπική απόκλιση του ολικού μήκους και βάρους του δείγματος.

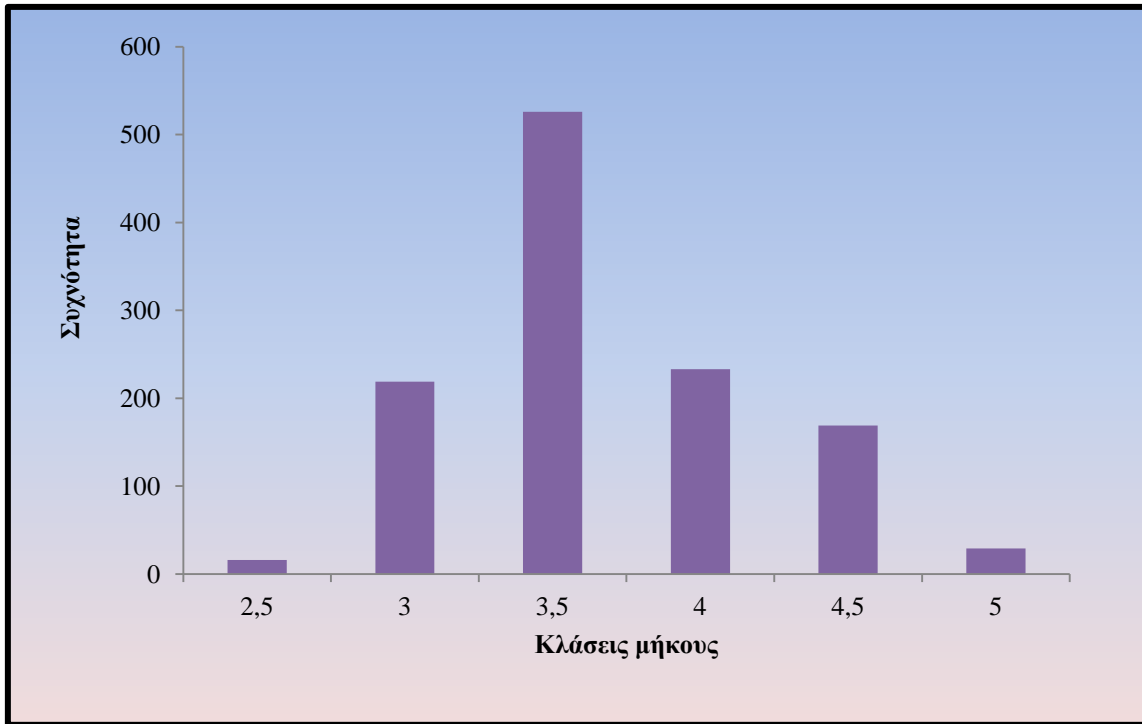
	TL (cm)			TW (g)		
	ΣΥΝΟΛΟ	ΑΡΣΕΝΙΚΑ	ΘΗΛΥΚΑ	ΣΥΝΟΛΟ	ΑΡΣΕΝΙΚΑ	ΘΗΛΥΚΑ
Ελάχιστη τιμή	2,1	2,1	2,1	0,2	0,2	0,3
Μέγιστη τιμή	4,9	3,7	4,9	3	1,8	3
Μέση τιμή	3,05	2,53	3,47	1,08	0,53	1,53
Τυπική απόκλιση	0,61	0,15	0,51	0,65	0,19	0,53

3.2. Κατά μήκος συνθέσεις

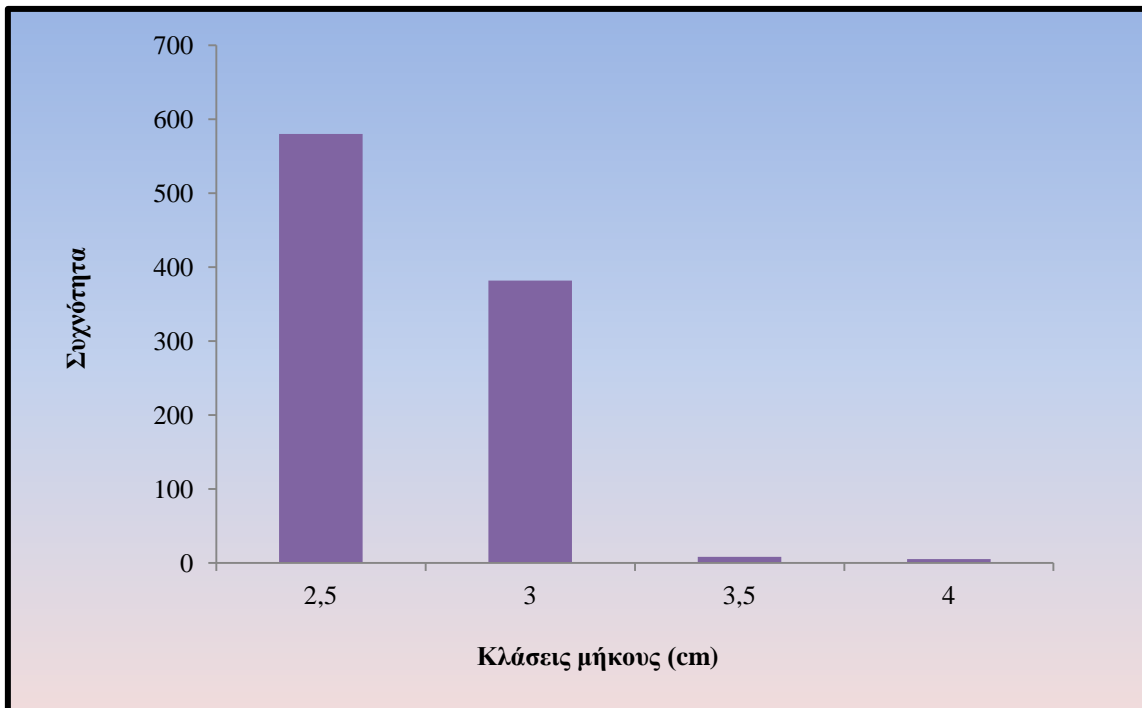
Συνολικά για τη μελέτη της κατά μήκος σύνθεσης του κουνουπόψαρου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μήκους από 1192 θηλυκά και από 976 αρσενικά άτομα.

Το βήμα για τη δημιουργία της κατά μήκος σύνθεσης του κουνουπόψαρου ορίστηκε ως 0,5 cm για τα θηλυκά και τα αρσενικά άτομα του δείγματος. Η συνολική κατά μήκος σύνθεση του είδους παρουσιάζεται στα Σχήματα 1 και 2.

Από το Σχήμα 1 παρατηρείται ότι τα περισσότερα θηλυκά άτομα ανήκουν στην κλάση μήκους 3,5 cm, ενώ ο μικρότερος αριθμός θηλυκών, μόλις 16 άτομα, φαίνεται στην πρώτη κλάση μήκους 2,5 cm. Αντίθετα, στο Σχήμα 2 παρατηρείται ότι τα περισσότερα αρσενικά άτομα βρίσκονται στην κλάση 2,5 cm, ενώ τα λιγότερα στις δυο τελευταίες κλάσεις. Στην κλάση μήκους 3,5 cm φαίνονται μόνο 8 άτομα και στην κλάση μήκους 4 cm μόλις 5 άτομα.



Σχήμα 1: Συνολική κατά μήκος σύνθεση για τα θηλυκά άτομα του κουνουπόψαρου στη Λίμνη Παμβώτιδα (n = 1192).



Σχήμα 2: Συνολική κατά μήκος σύνθεση για τα αρσενικά άτομα του κουνουπόψαρου στη Λίμνη Παμβώτιδα (n = 976).

3.3. Αναλογία φύλων

Η σύνθεση του δείγματος (2172 άτομα) ήταν 44,9 % αρσενικά και 54,9 % θηλυκά, ενώ το 0,2 % ήταν αδιευκρίνιστο. Η αναλογία φύλων (F/M) βρέθηκε 1,22: 1. Τα αποτελέσματα ανά κλάση μήκους φαίνονται στον πίνακα 5.

Πίνακας 5: Ποσοστά και αναλογία αρσενικών και θηλυκών ατόμων ανά κλάση μήκους.

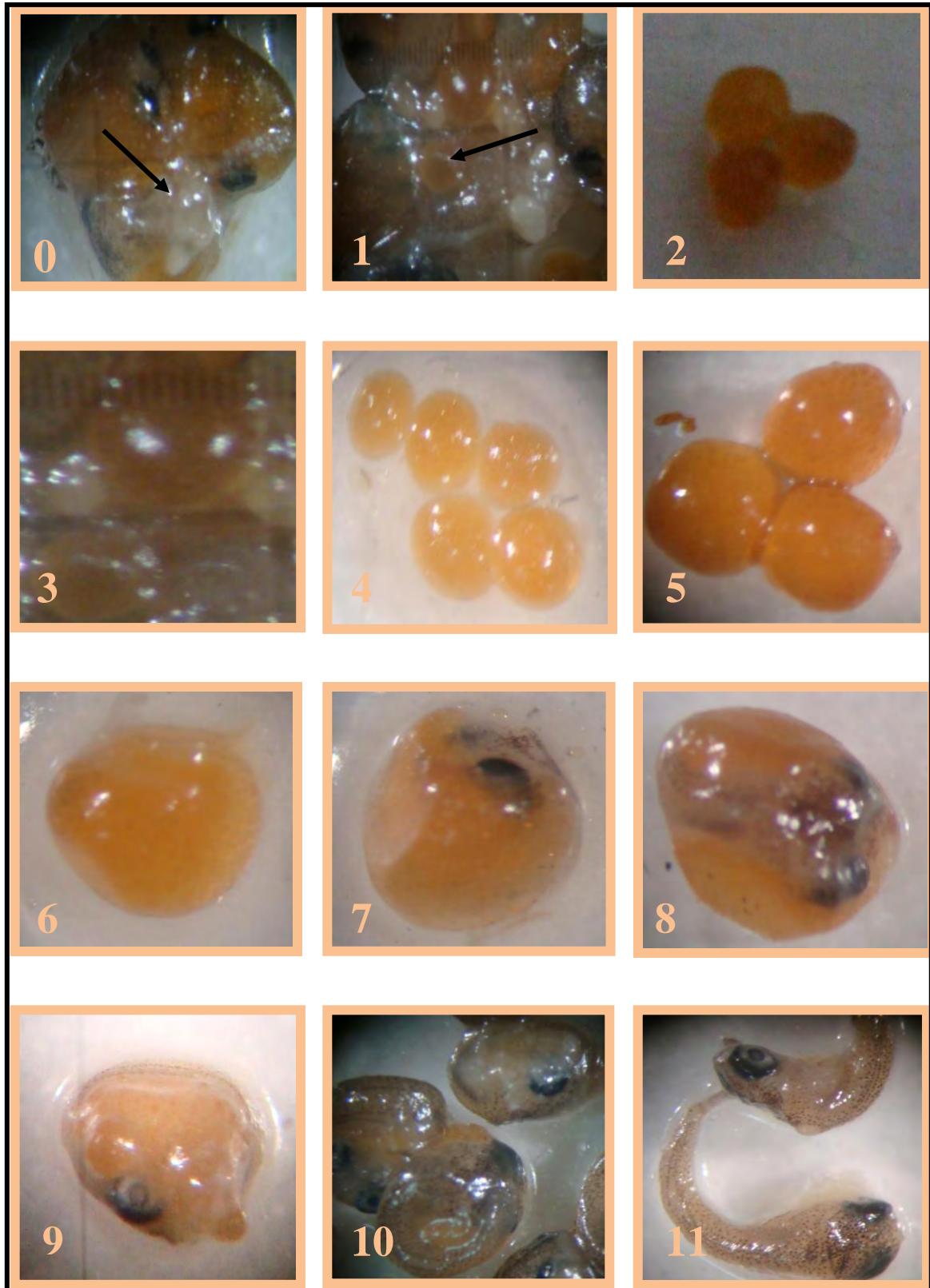
Κλάσεις μήκους	Αρσενικά		Θηλυκά		Αναλογία
	N	%	N	%	F/M
2,5	584	97,3	16	2,7	1:36,5
3,0	387	63,9	219	36,1	1:1,8
3,5	4	0,8	526	99,2	131,5:1
4,0	1	0,4	233	99,6	233:1
4,5	-	0	169	100	-
5,0	-	0	29	100	-
Σύνολο	976	44,9	1192	54,9	1,22:1

3.4. Στάδια εμβρυακής ανάπτυξης

Σύμφωνα με την κλίμακα των 12 σταδίων (Edwards *et al.* 2010) τα ώριμα θηλυκά άτομα του δείγματος τα οποία βρίσκονταν στη διαδικασία της ωοτοκίας, κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με την ανάπτυξη των εμβρύων τους.

Τα παρακάτω αναπαραγωγικά στάδια χρησιμοποιήθηκαν για την κατηγοριοποίηση της εμβρυακής ανάπτυξης του κουνουπόψαρου. Η Εικόνα 3 απεικονίζει τα χαρακτηριστικά του κάθε σταδίου μέχρι τη δημιουργία ενός ώριμου εμβρύου.

- **Στάδιο 0:** Τα ωοκύτταρα είναι μικρά, με λευκό χρώμα. Η ωοθήκη είναι ακόμη ανώριμη.
- **Στάδιο 1:** Τα ωοκύτταρα αποκτούν ένα κιτρινωπό – πορτοκαλί χρώμα
- **Στάδιο 2:** Σταδιακή αύξηση της λεκίθου.
- **Στάδιο 3:** Ανεπτυγμένα πλέον ωοκύτταρα, παρόμοια σε μέγεθος.
- **Στάδιο 4:** Το ωάριο πλέον έχει γονιμοποιηθεί. Χαρακτηριστικό του σταδίου είναι η ύπαρξη βλαστοπόρου.
- **Στάδιο 5:** Παρατηρείται μια λεπτή λευκή γραμμή στο κέντρο του ωοκυττάρου.
- **Στάδιο 6:** Οι οπτικοί δίσκοι είναι ορατοί αλλά χωρίς χρωματισμό.
- **Στάδιο 7:** Το έμβρυο έχει επιμηκυνθεί, οι οπτικοί δίσκοι έχουν χρωματισμό χωρίς όμως να έχουν ολοκληρωθεί.
- **Στάδιο 8:** Οι οπτικοί δίσκοι έχουν σχηματιστεί, η ουρά δεν επικαλύπτει το κεφάλι
- **Στάδιο 9:** Η ουρά επικαλύπτει το κεφάλι
- **Στάδιο 10:** Έχει απορροφηθεί μεγάλο μέρος του λεκιθικού σάκου
- **Στάδιο 11:** Το έμβρυο είναι πλέον ώριμο, έχει απορροφήσει εντελώς το λεκιθικό σάκο και είναι έτοιμο να γεννηθεί.



Εικόνα 3: Στάδια εμβρυακής ανάπτυξης του κουνουποφάγου *Gambusia holbrooki*.

Σύμφωνα με τον Haynes (1995), στο στάδιο 4 τα ωάρια είναι πλέον γονιμοποιημένα. Στη συγκεκριμένη μελέτη παρατηρήθηκαν μόνο 4 ψάρια με αγονιμοποίητα ωάρια, ενώ τα υπόλοιπα είχαν ήδη γονιμοποιηθεί.

Στα στάδια 0 και 1 δεν βρέθηκε κανένα άτομο. Στο στάδιο 2 βρέθηκε 1 μόνο άτομο με ολικό μήκος 2,5 cm και ολικό βάρος 0,6 g ενώ στο στάδιο 3 παρατηρήθηκαν 3 άτομα με μέσο ολικό μήκος 2,67 cm και μέσο ολικό βάρος 0,67 g. Στο στάδιο 4 βρέθηκαν 20 άτομα με μέσο μήκος 2,68 cm και μέσο βάρος 0,71g. Στο στάδιο 5 παρατηρήθηκαν 95 άτομα με μέσο ολικό μήκος 2,96 cm και μέσο ολικό βάρος 1,02 g. Στα στάδια 6, 7 και 8 παρατηρήθηκαν τα περισσότερα άτομα, σχεδόν τα 2/3 του συνολικού πληθυσμού των θηλυκών ατόμων. Στα στάδια 9 και 10 βρέθηκαν 92 και 78 άτομα αντίστοιχα με μέσο ολικό μήκος 3,74 cm και 4,1 cm και μέσο ολικό βάρος 1,75 g και 2,12 g αντίστοιχα. Τέλος στο στάδιο 11, στο οποίο τα έμβρυα ήταν έτοιμα να γεννηθούν αφού ήταν πλήρως σχηματισμένα και είχαν απορροφήσει όλο το λεκιθικό σάκο, παρατηρήθηκαν 118 άτομα με μέσο ολικό μήκος 4,35 cm και μέσο ολικό βάρος 2,45 g (Πίν. 6).

Σε αρκετά θηλυκά βρέθηκαν έμβρυα σε δύο ή περισσότερα στάδια. Σε 6 άτομα παρατηρήθηκαν ωοκύτταρα σε πρωταρχικά στάδια καθώς και έμβρυα που ήταν έτοιμα να γεννηθούν. Τέλος σε 1 άτομο παρατηρήθηκαν τρία διαφορετικά στάδια εμβρυακής ανάπτυξης. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι, πιθανώς, το κουνουπόψαρο είναι πολλαπλός αποθέτης (Πίν. 7).

Πίνακας 6: Μέσο ολικό μήκος TL και μέσο ολικό βάρος TW του δείγματος των θηλυκών ατόμων ανάλογα με το στάδιο εμβρυακής τους ανάπτυξης .

ΣΤΑΔΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΟΜΩΝ	TL (cm)	TW (g)
0	-	-	-
1	-	-	-
2	1	2,5	0,6
3	3	2,67	0,67
4	20	2,68	0,71
5	95	2,96	1,02
6	193	3,1	1,17
7	401	3,33	1,4
8	182	3,51	1,57
9	92	3,74	1,75
10	78	4,1	2,12
11	118	4,35	2,45

Πίνακας 7: Μέσο ολικό μήκος TL και βάρος TW σε άτομα με δυο ή περισσότερα στάδια.

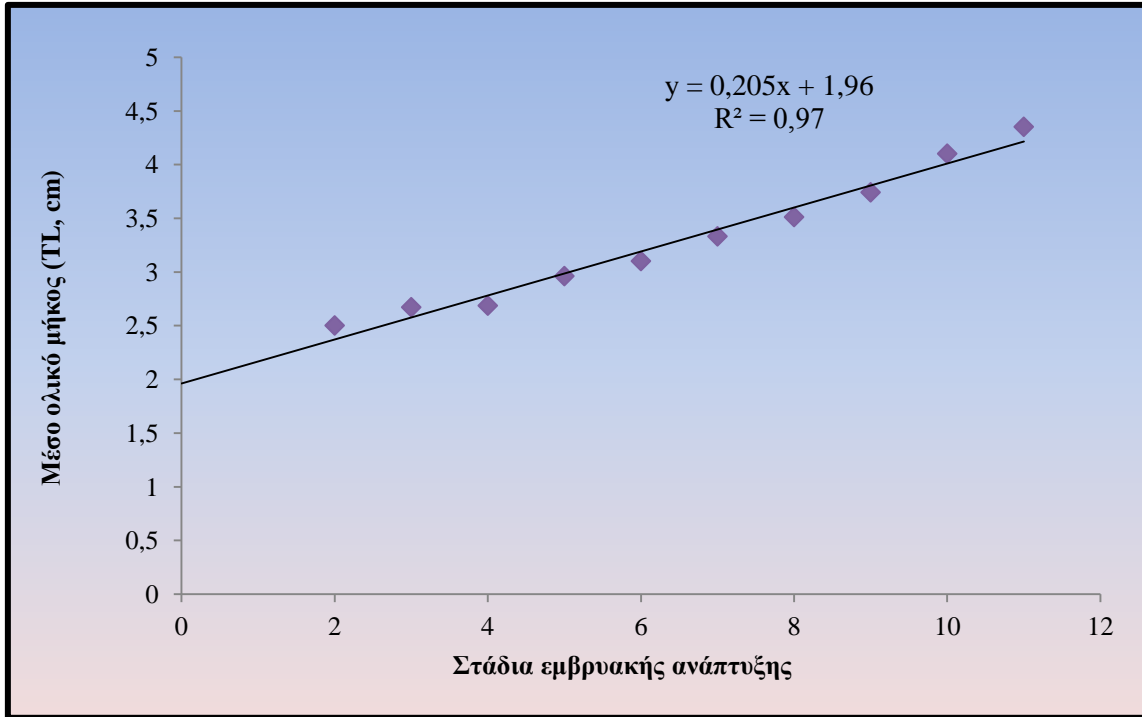
ΣΤΑΔΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΟΜΩΝ	TL (cm)	TW (g)
5,10	1	4,1	2,8
6,8,10	1	4,8	2
6,11	1	4,5	2
7,9	1	3,8	1,4
5,11	4	4,1	2,1
6,7	1	3,2	1,1

Στο Σχήμα 3 παρατηρείται η γραμμική εξίσωση των σταδίων εμβρυακής ανάπτυξης σε σχέση με το μέσο ολικό μήκος των θηλυκών ατόμων του κουνουπόψαρου ($y = 0,205x + 1,96, r^2 = 0,97$). Στο στάδιο 2 τα θηλυκά άτομα του είδους παρουσιάζουν το μικρότερο μέσο μήκος, ενώ στο στάδιο 11 παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες τιμές. Επομένως, υπάρχει θετική γραμμική συσχέτιση του σταδίου εμβρυακής ανάπτυξης με το μέσο ολικό μήκος των θηλυκών ατόμων.

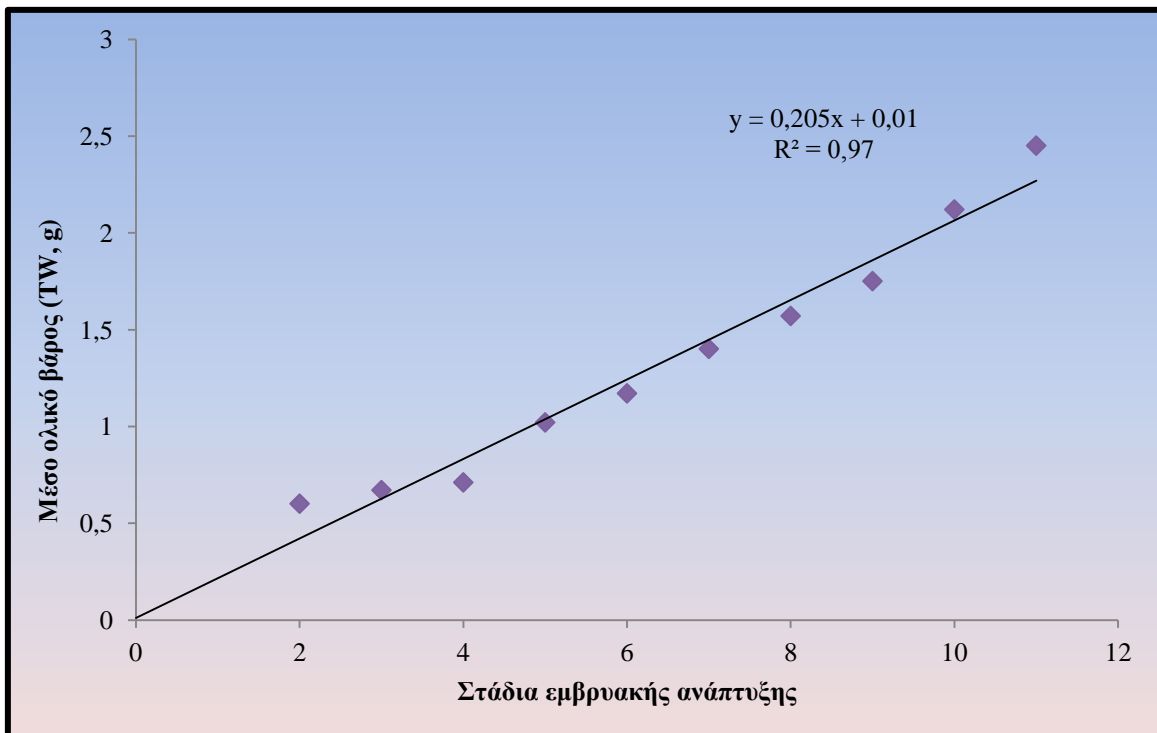
Στο Σχήμα 4 παρατηρείται η γραμμική εξίσωση των σταδίων εμβρυακής ανάπτυξης σε σχέση με το μέσο ολικό βάρος των θηλυκών ατόμων του κουνουπόψαρου ($y = 0,205x + 0,01, r^2 = 0,97$). Στο στάδιο 2 τα θηλυκά άτομα του είδους παρουσιάζουν το μικρότερο μέσο βάρος, ενώ στο στάδιο 11 το μέσο βάρος τους έχει αυξηθεί αισθητά. Επομένως, υπάρχει θετική γραμμική συσχέτιση του σταδίου εμβρυακής ανάπτυξης με το μέσο ολικό βάρος των θηλυκών ατόμων.

Στο Σχήμα 5 παρατηρείται σταδιακή μείωση της διαμέτρου του λεκιθικού σάκου των θηλυκών ατόμων καθώς αυξάνεται το στάδιο εμβρυακής τους ανάπτυξης, με ρυθμό 0,157 mm. Το γεγονός αυτό συμβαίνει διότι το έμβρυο τρέφεται από το λεκιθικό σάκο με αποτέλεσμα αυτός να μειώνεται καθώς το έμβρυο αναπτύσσεται.

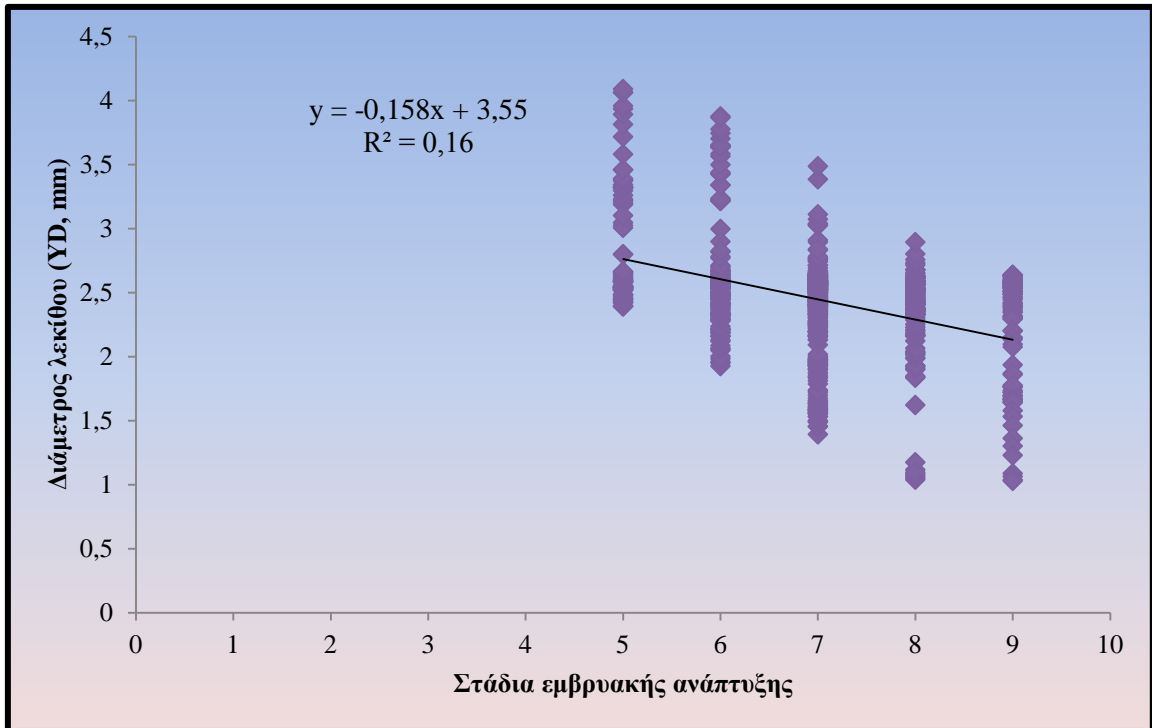
Αντίθετα το μήκος του εμβρύου αυξάνεται σταδιακά με ρυθμό 1,103 mm καθώς αυξάνονται τα στάδια εμβρυακής ανάπτυξης των θηλυκών ατόμων. Το μέγιστο μήκος τους παρατηρείται στο στάδιο 11, δηλαδή όταν έχει απορροφηθεί πλήρως ο λεκιθικός σάκος και λίγο πριν το θηλυκό εναποθέσει τα έμβρυά του (Σχ. 6).



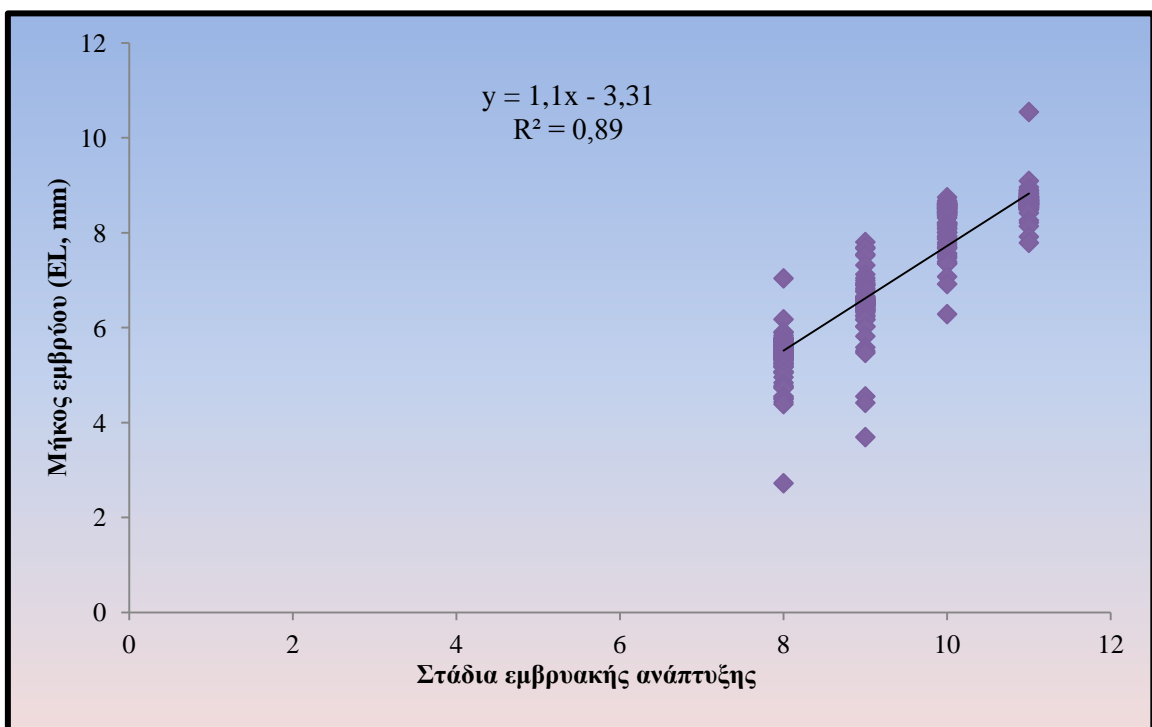
Σχήμα 3: Σχέση σταδίων εμβρυακής ανάπτυξης με το μέσο ολικό μήκος (TL, cm) των θηλυκών.



Σχήμα 4: Σχέση σταδίων εμβρυακής ανάπτυξης με το μέσο ολικό βάρος (TW, g) των θηλυκών.



Σχήμα 5: Σχέση σταδίων εμβρυακής ανάπτυξης με τη διάμετρο λεκιθικού σάκου (YD, mm) των θηλυκών.



Σχήμα 6: Σχέση σταδίων εμβρυακής ανάπτυξης με το μήκος εμβρύου (EL, mm) των θηλυκών

3.5. Σχέση γονιμότητας – μήκους και βάρους

Στα θηλυκά άτομα που μελετήθηκαν, μετρήθηκε η γονιμότητα για τον αριθμό των ωοκυττάρων καθώς και για τον αριθμό των εμβρύων που βρέθηκαν σε κάθε άτομο ξεχωριστά. Ο μικρότερος αριθμός ωοκυττάρων που παρατηρήθηκε ήταν 4 ωοκύτταρα σε θηλυκά άτομα μέσου μήκους 2,47 cm και μέσου βάρους 0,6 g, ενώ ο μεγαλύτερος αριθμός ωοκυττάρων ήταν 70 ωοκύτταρα σε θηλυκό μήκους 4,8 cm και βάρους 2 g. Η μέση γονιμότητα ήταν $28,81 \pm 10,44$ ωοκύτταρα (Πιν. 8). Ο μικρότερος αριθμός εμβρύων που παρατηρήθηκε ήταν 5 έμβρυα σε θηλυκό άτομο μήκους 4,3 cm και βάρους 2,1 g, ενώ ο μεγαλύτερος αριθμός εμβρύων ήταν 69 έμβρυα σε θηλυκό άτομο μήκους 4,5 cm και βάρους 2,6 g. Η μέση γονιμότητα ήταν $33,89 \pm 8,48$ έμβρυα (Πιν. 9).

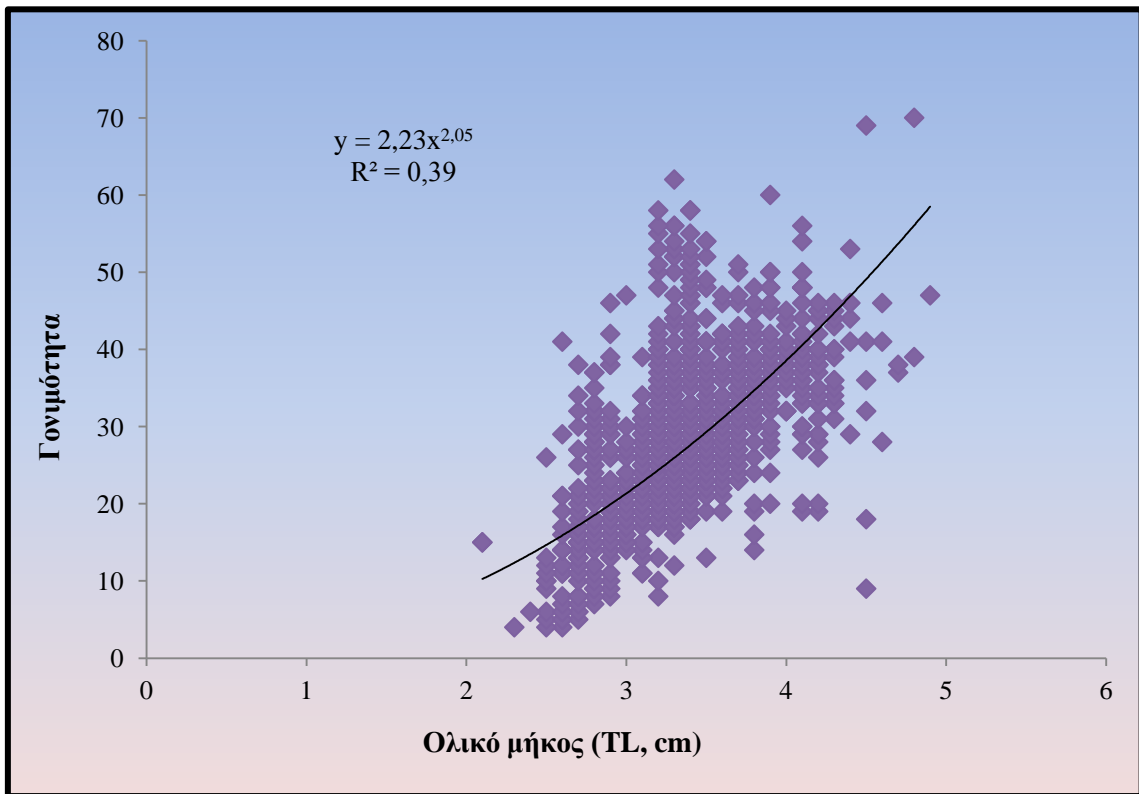
Πίνακας 8: Μέγιστη, ελάχιστη και μέση τιμή της γονιμότητας (αριθμός ωοκυττάρων).

	Γονιμότητα	TL (cm)	TW (g)
Μέγιστη τιμή	70	4,80	2
Ελάχιστη τιμή	4	2,47	0,6
Μέση τιμή	$28,81 \pm 10,44$	-	-

Πίνακας 9: Μέγιστη, ελάχιστη και μέση τιμή της γονιμότητας (αριθμός εμβρύων).

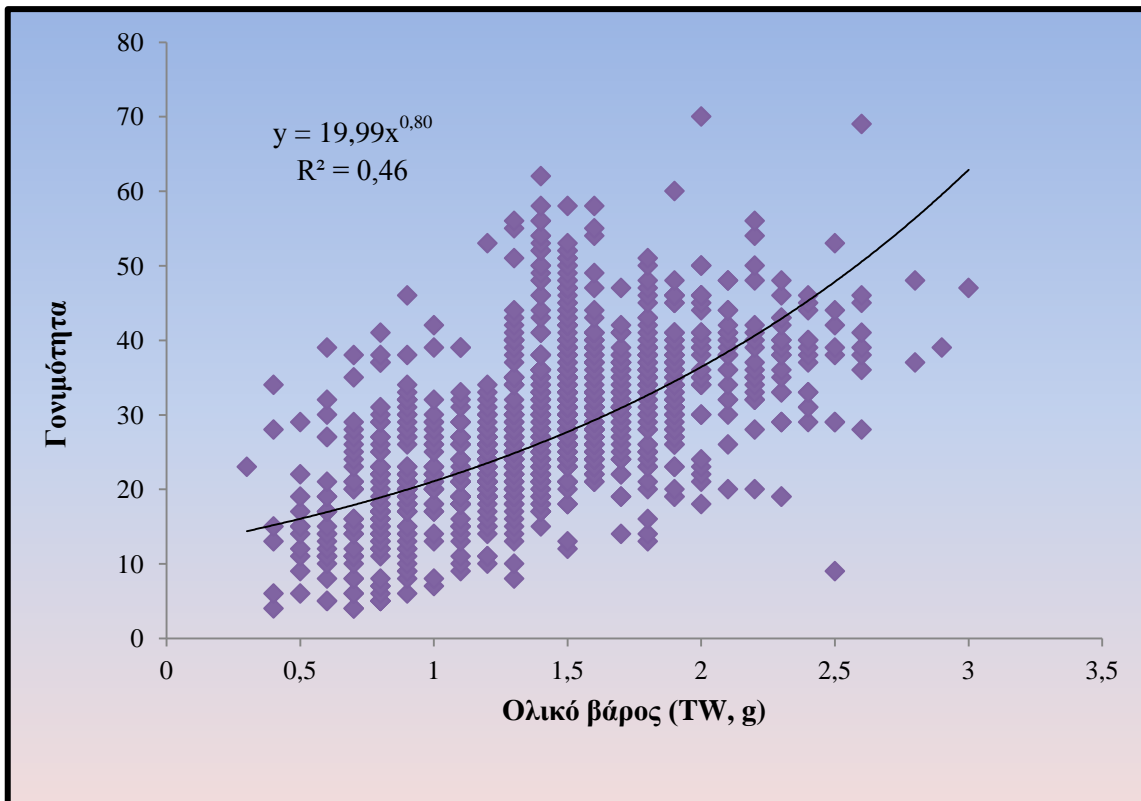
	Γονιμότητα	TL (cm)	TW (g)
Μέγιστη τιμή	69	4,5	2,6
Ελάχιστη τιμή	5	4,3	2,1
Μέση τιμή	$33,89 \pm 8,48$	-	-

Στο Σχήμα 7 παρατηρείται η σχέση του αριθμού των ωοκυττάρων με το ολικό μήκος των θηλυκών ατόμων, η οποία παρουσιάζει εκθετική μορφή με εξίσωση $y = 2,232x^{2,05}$ ($r^2 = 0,39$). Η τομή της γραμμής τάσης στον άξονα y (συντελεστής a) ήταν 2,23 ενώ η κλίση της καμπύλης (συντελεστής b) ήταν 2,05.



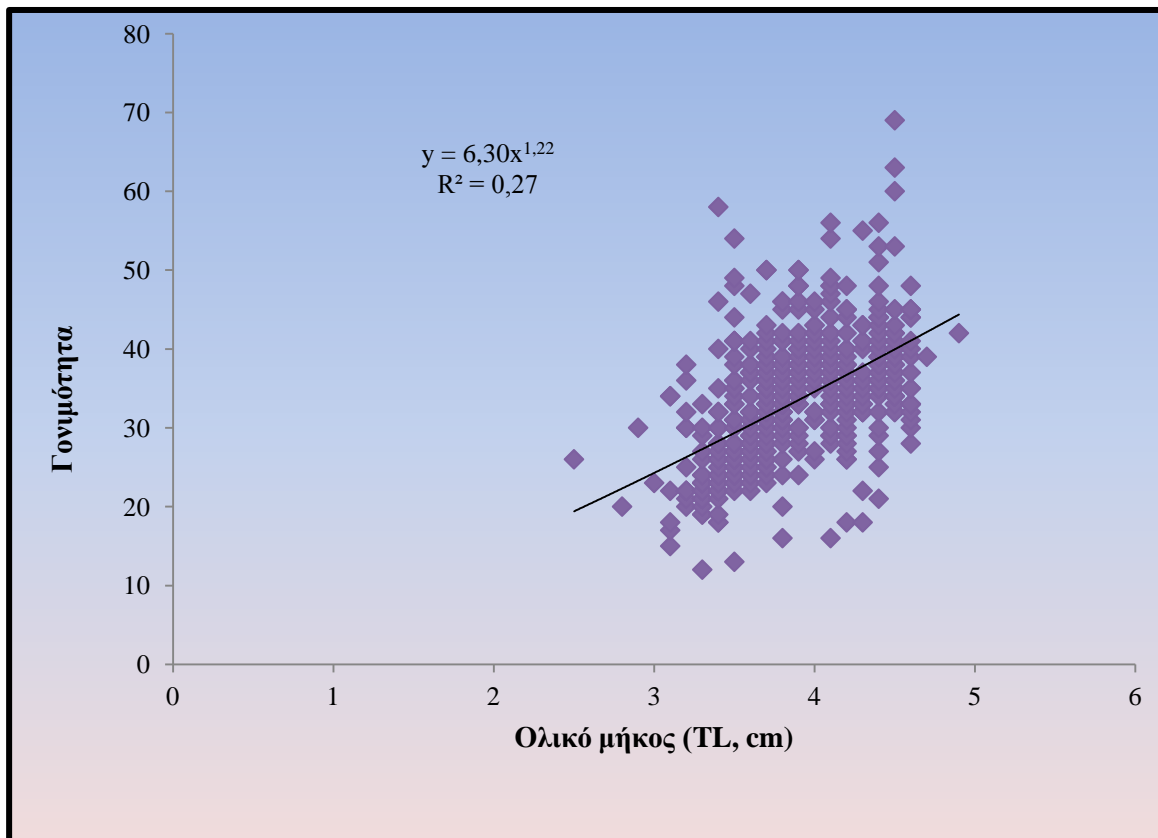
Σχήμα 7: Σχέση γονιμότητας (αριθμός ωοκυττάρων) με το ολικό μήκος (TL, cm) των θηλυκών.

Στο Σχήμα 8 παρατηρείται η σχέση του αριθμού των ωοκυττάρων με το ολικό βάρος των θηλυκών ατόμων, η οποία παρουσιάζει εκθετική μορφή με εξίσωση $y = 19,99x^{0,80}$ ($r^2 = 0,46$). Η τομή της γραμμής τάσης στον άξονα y (συντελεστής a) ήταν 19,99 ενώ η κλίση της καμπύλης (συντελεστής b) ήταν 0,80.



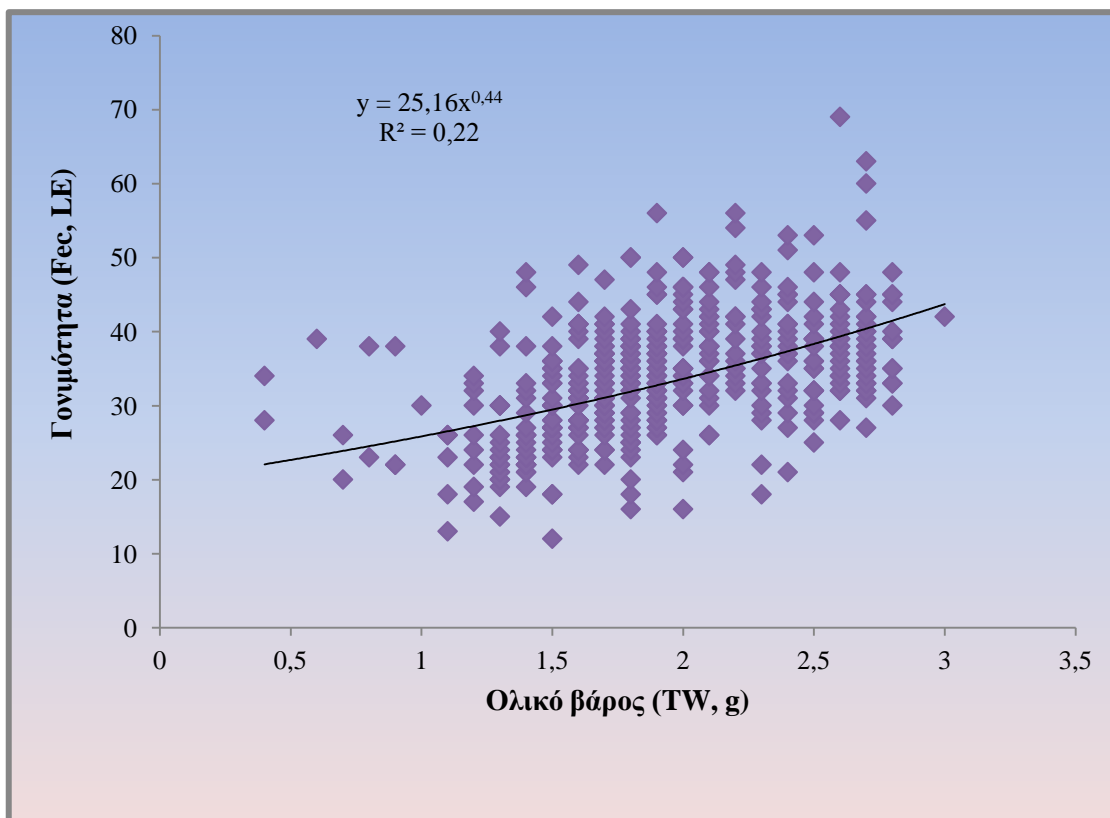
Σχήμα 8: Σχέση γονιμότητας (αριθμός ωοκυττάρων) με το ολικό βάρος (TW, g) των θηλυκών.

Στο Σχήμα 9 παρατηρείται η σχέση του αριθμού των εμβρύων με το ολικό μήκος των θηλυκών ατόμων, η οποία παρουσιάζει εκθετική μορφή με εξίσωση $y = 6,30x^{1,22}$ ($r^2 = 0,27$). Η τομή της γραμμής τάσης στον άξονα y (συντελεστής a) ήταν 6,30 ενώ η κλίση της καμπύλης (συντελεστής b) ήταν 1,22.



Σχήμα 9: Σχέση γονιμότητας (αριθμός εμβρύων) με το ολικό μήκος (TL, cm) των θηλυκών.

Στο Σχήμα 10 παρατηρείται η σχέση του αριθμού των εμβρύων με το ολικό βάρος των θηλυκών ατόμων, η οποία παρουσιάζει εκθετική μορφή με εξίσωση $y = 25,16x^{0,44}$ ($r^2 = 0,22$). Η τομή της γραμμής τάσης στον άξονα y (συντελεστής a) ήταν 25,16 ενώ η κλίση της καμπύλης (συντελεστής b) ήταν 0,22.



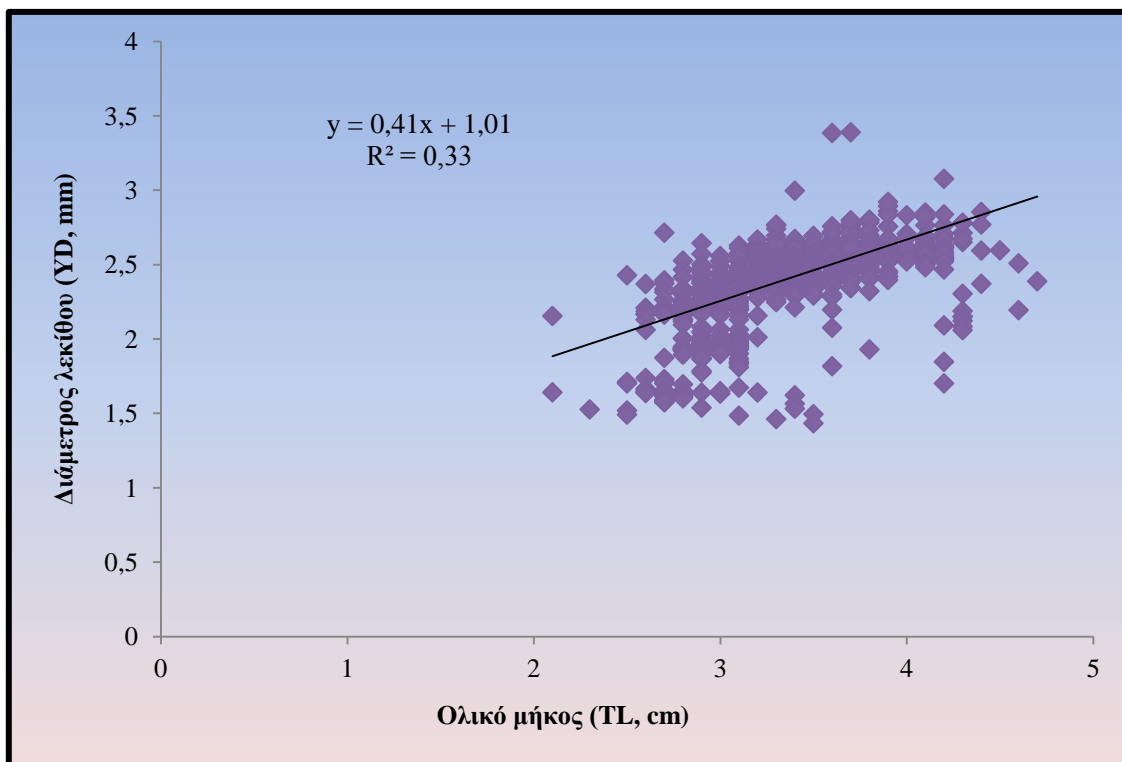
Σχήμα 10: Σχέση γονιμότητας (αριθμός εμβρύων) με το ολικό βάρος (TW, g) των θηλυκών.

3.6. Σχέση διαμέτρου λεκίθου και μήκους εμβρύου με το μήκος των θηλυκών

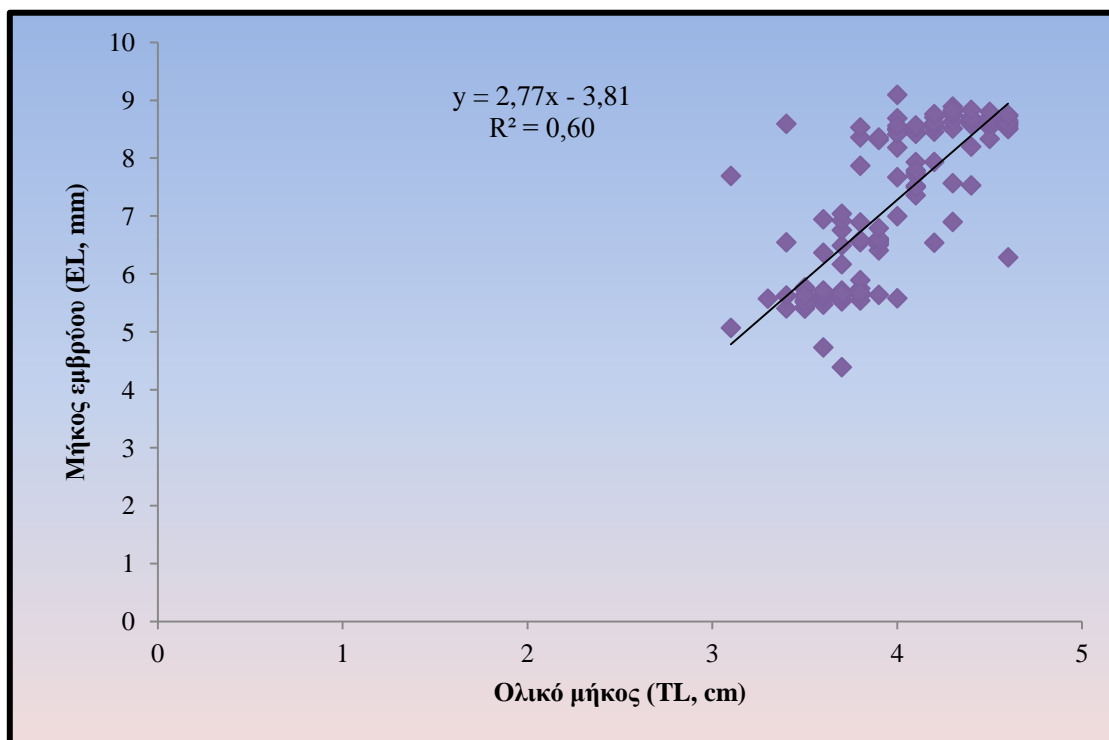
Η διάμετρος λεκίθου μετρήθηκε στα θηλυκά άτομα του κουνουπόψαρου που βρίσκονταν στα στάδια από 0 – 10 και όχι στο στάδιο 11, αφού στο τελευταίο έχει απορροφηθεί ολοκληρωτικά ο λεκιθικός σάκος. Η μέση διάμετρος λεκίθου

υπολογίστηκε στα $2,36 \pm 0,425$ mm, η μικρότερη τιμή, 0,89 mm, μετρήθηκε σε άτομο ολικού μήκους 2,5 cm και ολικού βάρους 0,6 g, ενώ η μεγαλύτερη τιμή μετρήθηκε σε άτομο ολικού μήκους 4,5 cm και ολικού βάρους 2,5 g. Στο Σχήμα 11 παρατηρείται η γραμμική σχέση μεταξύ της διαμέτρου λεκίθου και του μέσου ολικού μήκους του δείγματος με εξίσωση $y = 0,41x + 1,02$ και $r^2 = 0,33$. Η τομή της γραμμής τάσης στον άξονα y (συντελεστής a) ήταν 1,02 ενώ η κλίση της καμπύλης (συντελεστής b) ήταν 0,41.

Το μήκος εμβρύου μετρήθηκε στα θηλυκά άτομα του κουνουπόψαρου που βρίσκονταν στα στάδια από 8 – 11. Στα στάδια 0 – 3 το ωάριο δεν έχει καν γονιμοποιηθεί, ενώ στα στάδια 4 – 7 το έμβρυο δεν ήταν δυνατό να μετρηθεί. Το μέσο μήκος εμβρύου υπολογίστηκε στα $6,952 \pm 1,425$ mm, η μικρότερη τιμή, 2,718 mm, μετρήθηκε σε άτομο ολικού μήκους 3,4 cm και ολικού βάρους 0,9 g, ενώ η μεγαλύτερη τιμή μετρήθηκε σε άτομο ολικού μήκους 4,4 cm και ολικού βάρους 2,5 g. Στο Σχήμα 12 παρατηρείται η γραμμική σχέση μεταξύ του μήκους εμβρύου και του μέσου ολικού μήκους του δείγματος με εξίσωση $y = 2,77x - 3,81$ και $r^2 = 0,60$. Η τομή της γραμμής τάσης στον άξονα y (συντελεστής a) ήταν 3,81 ενώ η κλίση της καμπύλης (συντελεστής b) ήταν 2,77.



Σχήμα 11: Σχέση διαμέτρου λεκίθου (YD, mm) με το ολικό μήκος (TL, cm) των θηλυκών.

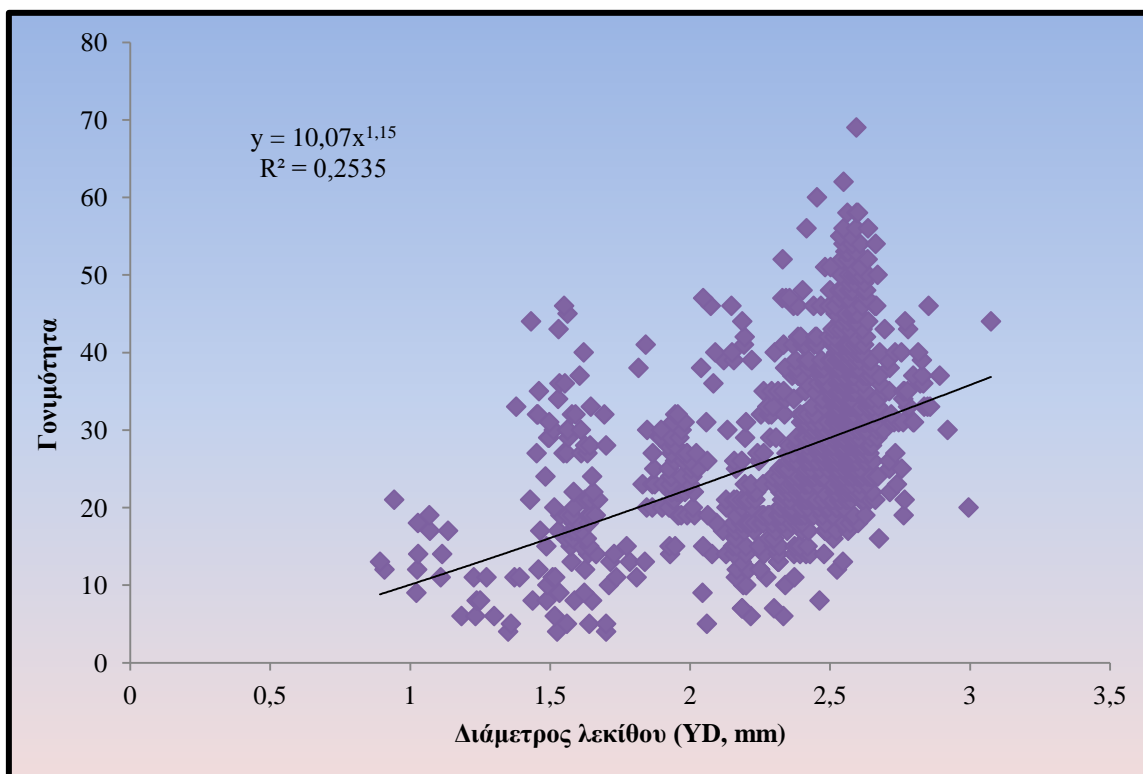


Σχήμα 12: Σχέση μήκους εμβρύου (EL, mm) με το ολικό μήκος (TL, cm) των θηλυκών.

3.7. Σχέση γονιμότητας με τη διάμετρο λεκίθου και το μήκος εμβρύου

Στο Σχήμα 13 φαίνεται η σχέση γονιμότητας με τη διάμετρο του λεκιθικού σάκου, η οποία παρουσιάζει εκθετική μορφή, με εξίσωση $y = 10,07x^{1,15}$ και $r^2 = 0,25$. Η τομή της γραμμής τάσης στον άξονα y (συντελεστής a) ήταν 10,07 ενώ η κλίση της καμπύλης (συντελεστής b) ήταν 1,15.

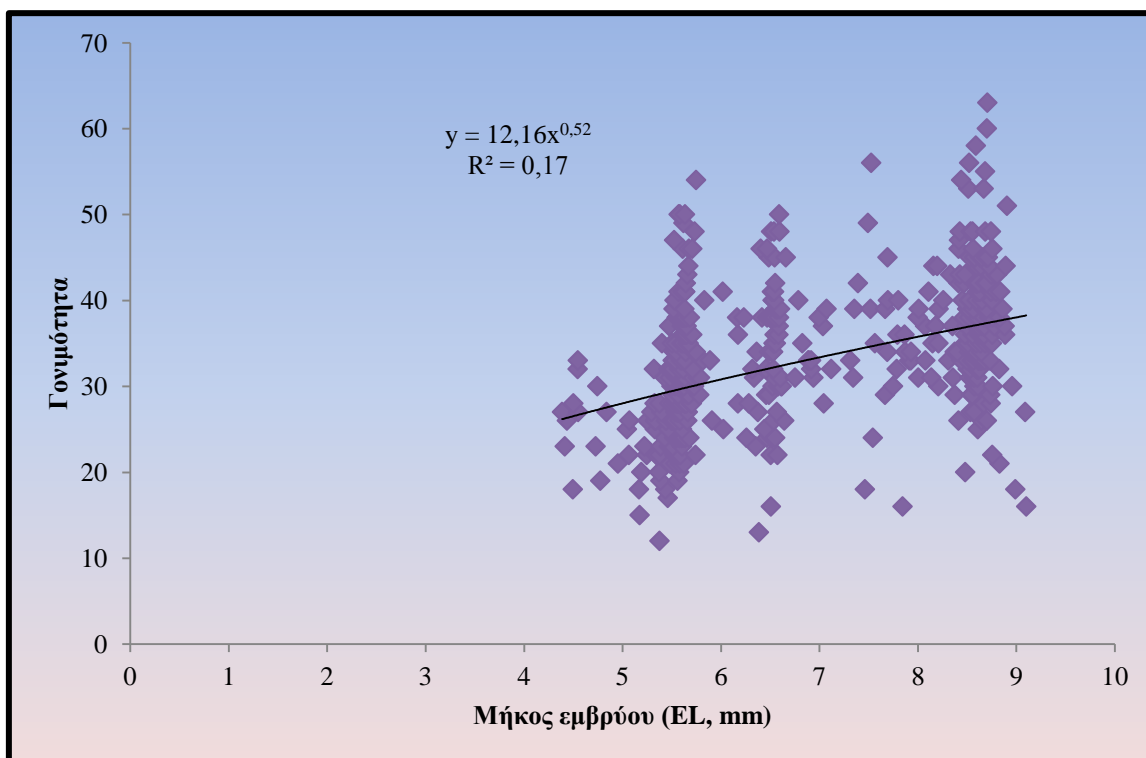
Παρατηρείται ότι με την αύξηση της διαμέτρου του λεκιθικού σάκου αυξάνεται και η γονιμότητα, δηλαδή, ο αριθμός των ωοκυττάρων στα θηλυκά άτομα του δείγματος. Η μεγαλύτερη τιμή της γονιμότητας φαίνεται σε διάμετρο λεκίθου 2,6 mm, ενώ η χαμηλότερη σε διάμετρο 1,3 mm.



Σχήμα 13: Σχέση γονιμότητας (αριθμός ωοκυττάρων) με τη διάμετρο λεκίθου (YD, mm) των θηλυκών.

Στο Σχήμα 14 παρατηρείται η γραμμική σχέση γονιμότητας με το μήκος εμβρύου με εξίσωση $y = 12,16x^{0,52}$ και $r^2 = 0,17$. Η τομή της γραμμής τάσης στον άξονα y (συντελεστής a) υπολογίστηκε στα 17,449 ενώ η κλίση της καμπύλης (συντελεστής b) στα 2,3717.

Παρατηρείται μεγάλος αριθμός των θηλυκών να έχει το μικρότερο (8,5 – 9 mm) καθώς και το μεγαλύτερο μήκος εμβρύων (5 – 6 mm). Στις ενδιάμεσες τιμές παρατηρείται πολύ μικρός αριθμός θηλυκών ατόμων. Στο μεγαλύτερο μήκος εμβρύου παρουσιάζεται και η μεγαλύτερη τιμή της γονιμότητας. Η μικρότερη τιμή φαίνεται σε μήκος εμβρύου 5,5 mm.



Σχήμα 14: Σχέση γονιμότητας (αριθμός εμβρύων) με το μήκος εμβρύου (EL, mm) των θηλυκών.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1. Μήκος και βάρος

Στην Ισπανία πραγματοποιήθηκαν δυο εργασίες για τα βιολογικά χαρακτηριστικά του κουνουπόψαρου. Στην πρώτη, μετρήθηκε το μέγιστο ολικό μήκος του σώματος των θηλυκών στα 65 mm καθώς και το μέγιστο ολικό μήκος του σώματος των αρσενικών στα 36 mm (Fernandez-Delgado 1989). Στην δεύτερη εργασία μετρήθηκε το μέγιστο ολικό μήκος του σώματος των θηλυκών στα 63 mm, ενώ των αρσενικών στα 32 mm (Vargas & Sostoa 1996). Στην Πορτογαλία μελετήθηκε η βιολογία του είδους και βρέθηκε ότι το μέγιστο ολικό μήκος των θηλυκών ήταν 70 mm και των αρσενικών 40 mm (Paes da Franca & Da Franca 1953). Στην Αυστραλία, όπου μελετήθηκαν τα αναπαραγωγικά χαρακτηριστικά του κουνουπόψαρου, μετρήθηκε το μέγιστο ολικό μήκος θηλυκών και βρέθηκε στα 39 mm και μέγιστο ολικό μήκος αρσενικών στα 28 mm (Milton & Arthington 1983). Σε εργασία που πραγματοποιήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής το μέγιστο μήκος των θηλυκών μετρήθηκε στα 60 mm ενώ των αρσενικών στα 40 mm (Meffe *et al.* 1995). Τέλος, στην εργασία των Keane & Neira (2004) στην οποία μελετήθηκε η αναπαραγωγή του είδους, εκτός από το μέγιστο ολικό μήκος θηλυκών και αρσενικών που μετρήθηκε στα 39 mm και 28 mm αντίστοιχα, υπολογίστηκε και μέγιστο ολικό βάρος θηλυκών και αρσενικών (2,46 g και 0,19 g αντίστοιχα) (Πιν.10).

Πίνακας 10: Μέγιστο αναφερόμενο μήκος του κουνουπόψαρου.

Περιοχή	Μέγιστο μήκος θηλυκών (cm)	Μέγιστο μήκος αρσενικών (cm)	Βιβλιογραφία
Ισπανία	6,3	3,2	Vargas & Sostoa 1996
Ισπανία	6,5	3,6	Fernandez-Delgado 1989
Πορτογαλία	7,0	4,0	Paes da Franca & Da Franca 1953
Αυστραλία	3,9	2,8	Milton & Arthington 1983
Η.Π.Α	6,0	4,0	Meffe <i>et al.</i> 1995
Ιταλία	2,8	2,1	Zulian <i>et al.</i> 1995
Γαλλία	3,6	2,7	Benejam <i>et al.</i> 1995
Γαλλία	5,7	3,5	Dreze <i>et al.</i> 1998
Ιταλία	4,3	3,1	Pilastro <i>et al.</i> 1997
Ελλάδα	4,9	2,2	Παρούσα εργασία

Οι Zulian *et al.* (1995), οι οποίοι μελέτησαν τις διαφοροποιήσεις στο ολικό μήκος σώματος των αρσενικών ατόμων του κουνουπόψαρου, πραγματοποίησαν 7 δειγματοληψίες από 7 διαφορετικές περιοχές. Το μέσο ολικό μήκος σώματος των θηλυκών κυμάνθηκε από 23,6 mm (Selvatico) έως 28,2 mm (Sporting), ενώ των αρσενικών από 18,6 mm (Naviglio) έως 20,7 mm (Averto). Αρκετά μεγάλες διακυμάνσεις παρατηρήθηκαν στην έρευνα των Benejam *et al.* (1995), η οποία πραγματοποιήθηκε σε 12 διαφορετικές περιοχές για τη μελέτη της βιολογίας του είδους. Σε μια περιοχή της Ισπανίας παρατηρήθηκε το μικρότερο μέσο ολικό μήκος σώματος αρσενικών και θηλυκών ατόμων (18 mm και 19,3 mm αντίστοιχα), ενώ στην Γαλλία καταγράφηκαν οι μεγαλύτερες τιμές (26,6 mm και 36,1 mm αντίστοιχα). Το ολικό μήκος σώματος των θηλυκών, σύμφωνα με τους Dreze *et al.* (1998), κυμάνθηκε από 21

έως 57 mm και το μέσο ολικό μήκος των αρσενικών από 21 έως 35 mm. Οι Pilastro *et al.* (1997) πραγματοποίησαν δυο ξεχωριστές δειγματοληψίες για το ολικό μήκος σώματος του κουνουπόψαρου. Στην πρώτη, το ολικό μήκος των θηλυκών ατόμων κυμάνθηκε από 23 έως 42,5 mm (μέσο TL \pm SD = 32,7 \pm 5,2 mm) και των αρσενικών από 18,5 – 31 mm (μέσο TL \pm SD = 24,8 \pm 3,6 mm). Στη δεύτερη, το ολικό μήκος των θηλυκών ατόμων κυμάνθηκε από 22 έως 35 mm (μέσο TL \pm SD = 28,2 \pm 3 mm) και των αρσενικών από 19,5 – 30 mm (μέσο TL \pm SD = 24,8 \pm 2,7 cm). Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι υπάρχουν διακυμάνσεις στα γενικά χαρακτηριστικά του είδους (ολικό μήκος και ολικό βάρος σώματος) από περιοχή σε περιοχή. Οι διακυμάνσεις αυτές ίσως να οφείλονται στις διαφορετικές συνθήκες διαβίωσης που επικρατούν σε κάθε περιοχή.

4.2. Αναλογία φύλων

Σύμφωνα με τους Milton & Arthington (1983) η αναλογία των θηλυκών προς τα αρσενικά άτομα του κουνουπόψαρου βρέθηκε 1: 1. Στις μελέτες των Fernandez – Delgado (1989) και των Gkenas *et al.* (2012), οι οποίες πραγματοποιήθηκαν για τη μελέτη των βιολογικών και αναπαραγωγικών χαρακτηριστικών του κουνουπόψαρου, η αναλογία φύλων, θηλυκά προς αρσενικά βρέθηκε 2: 1 και 2,3: 1 αντίστοιχα. Από την άλλη πλευρά, στην εργασία των Cabral & Marques (1999) τα θηλυκά προς τα αρσενικά βρέθηκαν σε αναλογία 4:1. Το γεγονός αυτό ίσως να οφείλεται είτε στο μικρό αριθμό του δείγματος, είτε λόγω των εποχιακών διακυμάνσεων στην περιοχή (Πιν 11.).

Πίνακας 11: Συγκριτικές μελέτες για την αναλογία φύλου (θηλυκά / αρσενικά) του είδους.

Περιοχή	Αναλογία φύλου	Βιβλιογραφική αναφορά
Αυστραλία	1: 1	Milton & Arthington (1983)
Ισπανία	2: 1	Fernandez-Delgado (1989)
Ελλάδα	2,3: 1	Gkenas <i>et al.</i> (2012)
Πορτογαλία	4: 1	Cabral & Marques (1999)
Ελλάδα	1,22: 1	Παρούσα εργασία

4.3. Κατά μήκος συνθέσεις

Στην Πορτογαλία (Cabral & Marques 1999) η πλειονότητα των θηλυκών ατόμων του κουνουπόψαρου είχε ολικό μήκος σώματος που κυμαινόταν από 2,3 έως 2,8 cm, ενώ στα αρσενικά άτομα το μήκος κυμαινόταν από 2,1 έως 2,5 cm. Αντίθετα, τα λιγότερα θηλυκά άτομα είχαν μήκος μεταξύ 3,5 – 4 cm και τα αρσενικά είχαν μήκος 2,5 – 2,6 cm. Όλες οι παραπάνω μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τον μήνα Μάιο. Στην Ουγγαρία (Specziar 2004) στα περισσότερα θηλυκά και αρσενικά άτομα μετρήθηκε μήκος 2,8 – 3,1 cm και 1,8 – 2,1 cm αντίστοιχα. Από την άλλη πλευρά, μικρότερος αριθμός των θηλυκών ατόμων είχε μήκος 2,4 έως 2,7 cm και τα αρσενικά 2,2 έως 2,5 cm. Στην Βορειοανατολική περιοχή της Ισπανίας (Garcia – Berthou 1999) τα περισσότερα θηλυκά και αρσενικά άτομα, την περίοδο της άνοιξης, είχαν μήκος μεταξύ 1,7 και 1,9 cm. Στην Ελλάδα, και συγκεκριμένα στη Λίμνη Παμβώτιδα (Gkenas *et al.* 2012), τα μήκη των περισσότερων αρσενικών και θηλυκών ατόμων μετρήθηκαν στα 2,6 – 2,8 cm και 2,9 – 3,1 cm αντίστοιχα.

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι τα θηλυκά άτομα του κουνουποφάγου (*Gambusia holbrooki*) έχουν μήκος που κυμαίνεται από 2,5 έως 3,3 cm, ενώ στα αρσενικά άτομα το μήκος τους συνήθως κυμαίνεται από 1,8 έως 2,8 cm. Τα ευρήματα της ήδη υπάρχουσας βιβλιογραφίας που αφορούν τα μήκη θηλυκών και αρσενικών ατόμων του κουνουπόψαρου φαίνεται να είναι παρόμοια με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας.

4.4. Στάδια εμβρυακής ανάπτυξης

Ο προσδιορισμός των σταδίων εμβρυακής ανάπτυξης είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, αφού πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφοροι παράγοντες για τη σωστή κατηγοριοποίηση της ανάπτυξης των εμβρύων.

Αρκετοί συγγραφείς έχουν προσεγγίσει την εμβρυακή ανάπτυξη του *Gambusia holbrooki* με διαφορετικούς τρόπους ο καθένας (Ryder 1885, Kuntz 1914). Ο Tavalga & Rugh (1947), για παράδειγμα, χρησιμοποίησε μια κλίμακα 25 σταδίων, την οποία χρησιμοποίησαν πολλοί άλλοι συγγραφείς μετά από δικιά τους τροποποίηση. Ο Reznick (1981) ενοποίησε τα 25 στάδια των Tavalga & Rugh (1947) σε 6 στάδια, από τα οποία τα πρώτα 6 ενοποιήθηκαν στο στάδιο 1, τα στάδια 7 – 12 στο στάδιο 2, τα στάδια 13 – 17 στο στάδιο 3, τα στάδια 18 – 20 στο στάδιο 4, τα στάδια 21 – 24 στο στάδιο 5 και τέλος τα 2 τελευταία στάδια στο στάδιο 6. Στη συνέχεια οι Milton & Arthington (1983) τροποποίησαν την ταξινόμηση του Reznick (1981). Ο Hubbs (1971) χρησιμοποίησε δυο διαφορετικές ταξινομήσεις για την κατηγοριοποίηση του είδους, η πρώτη για τον καθορισμό της γονιμότητας και η δεύτερη για την εξέταση των θρεπτικών συστατικών της λεκίθου. Ο Self (1940) πρόσθεσε το στάδιο των ανώριμων

θηλυκών καθώς και το τελευταίο όπου τα έμβρυα είναι έτοιμα να γεννηθούν. Τέλος στις μελέτες του Stearns (1983) και των Brown-Peterson & Peterson (1990) έγινε επίσης προσέγγιση των εμβρυακών σταδίων ανάπτυξης του είδους.

Στον Πίνακα 12 φαίνεται η σύγκριση διαφόρων κατηγοριοποιήσεων που έχουν ενοποιήσει τα εμβρυακά στάδια ανάπτυξης των Tavolga & Rugh (1947) και του Tavolga (1949) (Haynes 1995).

Πίνακας 12: Σύγκριση των κατηγοριοποιήσεων που έχουν ενοποιήσει τα εμβρυακά στάδια ανάπτυξης των Tavolga & Rugh (1947) και του Tavolga (1949).

Αρχικό στάδιο εμβρυακής ανάπτυξης				
Ενοποιημένα στάδια	Tavolga and Rugh		Tavolga	
	Schoenherr 1977	Reznick 1981	Milton & Arthington 1983	Monaco <i>et al.</i> 1983
1	-	1 – 6	1 – 12	5 - 9
2	-	7 – 12	13 – 16	10
3	0 – 4	13 – 17	17 – 21	14
4	5 – 19	18 – 20	22 – 24	18
5	20 – 25	21 – 24	25 – 26	26
6	-	24 - 25	-	-

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι είναι δύσκολο να γίνει σύγκριση των εμβρυακών σταδίων του είδους αφού ο καθένας χρησιμοποιεί διαφορετική κλίμακα ανάλογα με τις απαιτήσεις της μελέτης του.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα των 12 σταδίων του Edwards *et al.* (2010), η οποία είναι από τις πιο πρόσφατες κατηγοριοποιήσεις, λαμβάνοντας υπόψη την ανάπτυξη του ματιού, το μέγεθος του εμβρύου, τον χρωματισμό του καθώς και την απορρόφηση του λεκιθικού σάκου. Στις προηγούμενες κατηγοριοποιήσεις δεν παρατηρούνται όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά (Haynes 1995).

4.5. Σχέση γονιμότητας – μήκους και γονιμότητας - βάρους

Στις περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές η γονιμότητα κυμαίνεται από 30 έως 50 ωοκύτταρα (Johnson 1976, Blaylock 1969, Brown & Fox 1966). Παρ' όλα αυτά στην μελέτη των Milton & Arthington (1983) η γονιμότητα φαίνεται να παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές από οποιαδήποτε άλλη έρευνα.

Στην μελέτη των Vargas & Sostoa (1996) υπολογίστηκε η σχέση γονιμότητας – μήκους, έτσι ο συντελεστής b ήταν 2,75. Οι Gkenas *et al.* (2012) υπολόγισαν την σχέση γονιμότητας – μήκους με εξίσωση $Fec = - 58,213 + 2,600 \times TL$ με το συντελεστή b να είναι 2,6. Επίσης υπολογίστηκε η σχέση γονιμότητας – βάρους με εξίσωση $Fec = 12,600 + 30,550 \times TW$. Ο συντελεστής b ήταν 30,550. Τέλος, στην έρευνα των Milton & Arthington (1983) ο συντελεστής b ήταν 2,20 για τη σχέση γονιμότητας – μήκους, ενώ για τη σχέση γονιμότητας βάρους ο συντελεστής b βρέθηκε 42,36.

4.6. Σχέση ολικού μήκους – διαμέτρου λεκίθου και ολικού μήκους - μήκους εμβρύου

Στην εργασία των Vargas & Sostoa (1996) η διάμετρος λεκιθικού σάκου κυμάνθηκε από 0,4 έως 1,4 mm, ενώ του μήκος εμβρύου κυμάνθηκε από 4 έως 8,3 mm. Παρατηρούνται μικρές διακυμάνσεις σε σύγκριση με την παρούσα εργασία. Το συμπέρασμα αυτό ίσως να οφείλεται στο γεγονός ότι τα δείγματα της παρούσας εργασίας αντιπροσώπευαν δείγμα του Μαΐου, ενώ στη μελέτη των Vargas & Sostoa (1996) υπήρχαν δείγματα από όλους τους μήνες. Τόσο η διάμετρος του λεκιθικού σάκου, όσο και το μήκος του εμβρύου εξαρτάται από το στάδιο εμβρυακής ανάπτυξης του είδους. Επομένως τον Μάιο τα περισσότερα άτομα ήταν έτοιμα να γεννήσουν και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καταμετρηθούν μεγαλύτερες τιμές.

4.7. Σχέση γονιμότητας με τη διάμετρο λεκίθου και το μήκος εμβρύου

Η εργασία που πραγματοποιήθηκε από τον Kjesbu (1994) έδειξε ότι υπάρχει αρνητική γραμμική συσχέτιση μεταξύ της γονιμότητας με τη διάμετρο λεκίθου στον μπακαλιάρο του Ατλαντικού (*Gadus morhua*), ενώ στην εργασία των Hunter *et al.* (1983) παρατηρείται θετική γραμμική συσχέτιση στην ρέγκα (*Clupea harengus*) αλλά αρνητική γραμμική συσχέτιση στον γαύρο (*Engraulis encrasicolus*). Σε εργασία που πραγματοποιήθηκε για τη μελέτη της γονιμότητας του σολομού του Ατλαντικού (*Salmo salar*) παρατηρήθηκε ότι με την αύξηση του αριθμού των ωοκυττάρων αυξάνεται και το μέγεθος των ωοκυττάρων (Thorpe *et al.* 1984). Στην παρούσα εργασία βρέθηκε θετική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία οδήγησαν σε κάποια συμπεράσματα που ίσως να φανούν σημαντικά στη περαιτέρω μελέτη της βιολογίας του είδους. Κάποια από αυτά τα συμπεράσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

- Το ελάχιστο και το μέγιστο μήκος που παρατηρήθηκε ήταν 2,1 cm και 4,9 cm αντίστοιχα.
- Τα περισσότερα θηλυκά άτομα ανήκουν στην κλάση μήκους 3,5 cm.
- Τα περισσότερα αρσενικά άτομα βρίσκονται στην κλάση 2,5 cm.
- Τα θηλυκά άτομα του κουνουπόψαρου έχουν μεγαλύτερο ολικό μήκος και βάρος από τα αρσενικά άτομα.
- Η αναλογία θηλυκών και αρσενικών (F/M) βρέθηκε 1,22:1, επομένως τα θηλυκά άτομα υπερισχύουν αριθμητικά των αρσενικών ατόμων του δείγματος.
- Τα περισσότερα άτομα βρέθηκαν στο 6^ο, 7^ο και 8^ο στάδιο εμβρυακής ανάπτυξης.
- Παρατηρήθηκε σταδιακή μείωση της διαμέτρου του λεκιθικού σάκου και αύξηση του μήκους εμβρύου των θηλυκών ατόμων καθώς αυξάνεται το στάδιο εμβρυακής τους ανάπτυξης.
- Σε αρκετά θηλυκά βρέθηκαν έμβρυα σε δύο ή περισσότερα στάδια, που υποδεικνύει ότι, πιθανώς, το κουνουπόψαρο είναι πολλαπλός αποθέτης.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alcaraz C., Garcia-Berthou E. (2007) Life history variation of invasive mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) along a salinity gradient. *Biological Conservation*, 139: 83 – 92.
- Bagenal T.B. (1969) The Relationship Between Food Supply and Fecundity in Brown Trout *Sulmo trutta* L. *Journal of Fish Biology*, 1: 167 – 182.
- Bagenal T.B., Braum E. (1978) Eggs and early life history. In: Bagenal T.B. (ed.) Methods for Assessment of fish Production in Freshwaters. *Blackwell Scientific Publications, Oxford*, pp 165 – 201.
- Balon E.K. (1984) Reflections on some decisive events in the early life of fishes. *Transactions of the American Fisheries Society*, 113: 178 – 185.
- Bapat, S.V. (1955) A preliminary study of the pelagic fish eggs and larvae of the Gulf of Mannar and the Palk Bay. *Indian Journal of Fisheries*, 2: 231 - 255.
- Batty J., Lim R. (1999) Morphological and reproductive characteristics of male mosquitofish (*Gambusia affinis holbrooki*) inhabiting Sewage - contaminated waters in New South Wales, Australia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 36: 301-307.
- Beaudouin R., Ginot V., Monod G. (2008) Growth characteristics of eastern mosquitofish *Gambusia holbrooki* in a northern habitat (Brittany, France). *Journal of Fish Biology*, 73: 2468 – 2484.
- Benejam L., Alcaraz C., Sasal P., Simon-Levert G., Garcia-Berthou E. (2009) Life history and parasites of the invasive mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) along a latitudinal gradient. *Biological Invasions*, 11: 2265 – 2277.

- Bishai H. M. (1960) The effect of water currents on the survival and distribution of fish larvae. *Journal Du Conseil International Pour L'exploration de la Mer*, 25: 134-146.
- Blanco S., Romo S., Villena M.J. (2004) Experimental Study on the Diet of Mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) under Different Ecological Conditions in a Shallow Lake. *International Review of Hydrobiology*, 89: 250 – 262.
- Blaylock B.G. (1969) The fecundity of a *Gambusia affinis affinis* population exposed to chronic environmental radiation. *Radiation Research*, 37: 108 - 117.
- Brown C.J.D., Fox A.C. (1966) Mosquito fish in a Montana pond. *Copeia*, 1966: 614 - 616.
- Cabral J.A., Marques J.K. (1999) Life history, population dynamics and production of eastern mosquitofish, *Gambusia holbrooki* (Pisces, Poeciliidae), in rice fields of the lower Mondego River Valley, western Portugal. *Acta Oecologica*, 20: 607 - 620.
- Constantz G.D. (1989) Reproductive biology of poeciliid fishes. In: Meffe G.K., Snelson F.F. (eds.). Ecology and evolution of livebearing fishes (Poeciliidae). *Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall*, p 33 – 50.
- Downhower J.F., Brown L.P., Matsui M.L. (2002) Litter overlap in *Gambusia hubbsi*: superfetation revisited. *Environmental Biology of Fishes*, 65: 423 – 430.
- Drèze V., Gaulay O., Monod G. (1998) Development of mosquitofish (*Gambusia affinis holbrooki*) populations in lentic mesocosms. Perspectives for ecotoxicological studies. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture*, 350 – 351: 465 – 477.

- Edwards T.M., Toft G., Guillette L.J. Jr. (2010) Seasonal reproductive patterns of female *Gambusia holbrooki* from two Florida lakes. *Science of the Total Environment*, 408: 1569–1576.
- Fernández-Delgado C., Rossomanno S. (1997) Reproductive biology of the mosquitofish in a permanent lagoon in south-west Spain: two tactics for one species. *Journal of Fish Biology*, 51: 80-92.
- Gall G.A.E., Cech J.J.Jr., Garcia R., Resh V.H., Washino R.K. (1980) Biological control and genetics: Mosquito fish — an established predator. *California Agriculture*, 34: 21 – 22.
- Garcia – Berthou E. (1999) Food of introduced mosquitofish: ontogenetic diet shift and prey selection. *Journal of Fish Biology* 55: 135 – 147.
- Gisbert E., Cardona L., Castello F. (1996) Resource partitioning among planktivorous fish larvae and fry in a Mediterranean coastal lagoon. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 43: 723-735.
- Gkenas C., Oikonomou A., Economou A., Kiosse F., Leonardos I. Life history pattern and feeding habits of the invasive mosquitofish, *Gambusia holbrooki*, in Lake Pamvotis (NW Greece). *Journal of Biological Research*, 17: 121 – 136.
- Haynes J.L. (1995) Standardized Classification of Poeciliid Development for Life-History Studies. *Copeia*, 1995: 147-154.
- Hildebrand S.F. (1927) Sex-ratio in *Gambusia*. *The Biological Bulletin*, 53: 390 - 404.
- Hobson E.S. (1972) Activity of Hawaiian reef fishes during the evening and morning transitions between daylight and darkness. *Fishery Bulletin*, 70: 715 – 740.

- Horth L. (2003) Melanic body colour and aggressive mating behaviour are correlated traits in male mosquitofish (*Gambusia holbrooki*). *The Royal Society of London Research*, 45: 25-35.
- Hubbs C. (1971) Competition and isolation mechanisms in the *Gambusia affinis* X *G. heterochir* hybrid swarm. *Bulletin of the Texas Memorial Museum* 19: 1 - 47.
- HUNTER J.R., LO N.C.H., LEONG R.J.H. (1985) Batch fecundity in multiple spawning fishes. In: R. Lasker (editor) An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: Application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Com. mer. , NOAA Tech. Rep. NMFS 36, p. 67 - 77.
- Johannes R.E. (1978) Reproductive strategies of coastal marine fishes in the tropics. *Environmental Biology of Fishes* 3: 65 – 84.
- Johnson C.R. (1976) Observations on growth, breeding and fry survival of *Gambusia affinis affinis* under artificial rearing conditions. *Proceedings and papers of the annual conference of the California Mosquito Control Association*, 44: 48 - 51.
- Kagalou I., Tsimarakis G., Patsias A. (2001) Phytoplankton dynamics and physicochemical features in Lake Pamvotis. *Fresenius Environmental Bulletin*, 10: 845 – 9.
- Keane J.P., Neira F.J. (2004) First record of mosquitofish, *Gambusia holbrooki*, in Tasmania, Australia: stock structure and reproductive biology. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 38: 857 – 867.
- Kjesbu (1994) Time of start of spawning in Atlantic cod (*Gadus morhua*) females in relation to vitellogenic oocyte diameter, temperature, fish length and condition. *Journal of Fish Biology*, 45: 719 – 735.

- Kottelat M., Whitten T. (1996) Freshwater biodiversity in Asia, with special reference to fish. *World Bank Technical Paper*, 343:59.
- Krumholz L.A. (1948) Reproduction in the western mosquitofish, *Gambusia affinis affinis* (Baird & Girard), and its use in mosquito control. *Ecological Monographs*, 18: 1-43.
- Kuntz A. (1913) Notes on the habits, morphology of the reproductive organs, and embryology of the viviparous fish (*Gambusia affinis*). *Bulletin of the Bureau of Fisheries*, 33: 177 - 190.
- Kuntz A. (1914). Notes on the habits, morphology of the reproductive organs, and embryology of the viviparous fish, *Gambusia affinis*. *United States Bureau of Fisheries Bulletin*, 33: 181 - 190.
- Lewis W.M. Jr (1970) Morphological adaptations of cyprinodontoids for inhabiting oxygen deficient waters. *Copeia*, 1970: 319 – 326.
- Lowe-McConnell R. H. (1975) Fish Communities in Tropical Freshwaters. *Longman Inc., New York*, pp 337.
- Marsh-Matthews E., Brooks M., Deaton R., Tan H. (2005) Effects of maternal and embryo characteristics on post-fertilization provisioning in fishes of the genus *Gambusia*. *Oecologia*, 144: 12-14.
- Meffe G. K., Snelson F. F. (1989). An ecological overview of Poeciliid fishes. In: Meffe G.K., Snelson F.F. (eds.). *Ecology & Evolution of Livebearing Fishes (Poeciliidae)*. Prentice Hall, New Jersey, p 13 – 31.
- Meffe G.K. (1992) Plasticity of life-history characters in eastern mosquitofish (*Gambusia holbrooki*: Poeciliidae) in response to thermal stress. *Copeia*, 1992: 94-102.

- Meffe G.K., Weeks S.C., Mulvey M., Kandl K.L. (1995) Genetic differences in thermal tolerance of eastern mosquitofish (*Gambusia holbrooki*; Poeciliidae) from ambient and thermal ponds. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52: 2704 - 2711.
- Milton D.A., Arthington A.H. (1983) Reproductive biology of *Gambusia affinis holbrooki* Baird and Girard, *Xiphophorus helleri* (Gunther) and *X. maculatus* (Heckel) (Pisces, Poeciliidae) in Queensland, Australia. *Journal of Fish Biology*, 23: 23-41.
- Moyle P.B. (2002) Inland Fishes of California. *University of California Press, Berkeley*, pp 502.
- Monaco P.J.E., Rasch M., BALSANO J.S. (1983) The occurrence of superfetation in the Amazon Molly, *Poecilia formosa*, and its related sexual species. *Copeia* 1983: 969 - 974.
- Murua H., Saborido – Rey F. (2003) Female reproductive strategies of marine fish species of the North Atlantic. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 33: 23 – 31.
- Nikolsky G.V. (1963) The Ecology of Fishes. *Academic Press, London*.
- Ozturk S., Izik R. (2004) Some Biological Properties of Mosquitofish Populations (*Gambusia affinis*) Living in Inland Waters of the Western Mediterranean Region of Turkey. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 28: 355-361.
- Paes Da Franca M.L., Da Franca P. (1953) Contribuição para o conhecimento da biologia de *Gambusia holbrooki* (Girard) aclimatada em Portugal. (População de Aguas de Moura). *Arquivos do Museu Bocage*, 25: 39 - 87.

- Perez-Bote J.L., Lopez M.T. (2005) Life-history pattern of the introduced eastern mosquitofish, *Gambusia holbrooki* (Baird & Girard, 1854), in a Mediterranean-type river: the River Guadiana (SW Iberian Peninsula). *Italian Journal of Zoology* 72: 241-248.
- Peterson N.B., Peterson M.S. (1990) Comparative life history of female mosquitofish, *Gambusia affinis*, in tidal freshwater and oligohaline habitats. *Environmental Biology of Fishes*, 27: 33-41.
- Pianca E.R. (2000) Evolutionary Ecology. Sixth edition. Benjamin – Cummings, Addison – Wesley – Longman. San Francisco p 528.
- Pilastro A., Giacomello E., Bisazza A. (1997) Sexual selection for small size in male mosquitofish (*Gambusia holbrooki*). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 264: 1125 – 1129.
- Pyke G.H. (2005) A review of the biology of *Gambusia affinis* and *G. holbrooki*. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 15: 339–365.
- Pyke, G. H. (2008). Plague Minnow or Mosquito Fish? A Review of the Biology and Impacts of Introduced *Gambusia* Species. *Annual Review of Ecology, Evolution & Systematic*, 39: 171- 191.
- Quasim S.Z. (1955) Time and duration of spawning season of teleosts in relation to their distribution. *Journal Du Conseil International Pour L'exploration de la Mer*, 21: 144-155.
- Reznick D. (1981) "Grandfather effects": the genetics of interpopulation differences in offspring size in the mosquito fish. *Evolution*, 35: 941 - 953.
- Roff D.A. (1992) The Evolution of Life Histories: Theory and Analysis. *Chapman and Hall, New York*.

- Ryder J.A. (1885) On the development of viviparous osseous fishes and of the Atlantic salmon. *Proceedings of the United States National Museum*, 1885: 128 -162.
- Schoenherar A. (1977) Density dependent and density independent regulation of reproduction in the Gila topminnow, *Poeciliopsis occidentalis* (Baird and Girard). *Ecology*, 58 : 438 - 444.
- Self J.T. (1940) Notes on the sex cycle of *Gambusia afinis afinis*, and on its habits and relation to mosquito control. *The American Midland Naturalist Journal* 23: 393 - 398.
- Specziar A. (2004) Life history pattern and feeding ecology of the introduced eastern mosquitofish, *Gambusia holbrooki*, in a thermal spa under temperate climate, of Lake Hevız, Hungary. *Hydrobiologia*, 522: 249–260.
- Stearns C. (1978) Interpopulational differences in reproductive traits of *Neoheterandria tridentiger* (Pisces: Poeciliidae) in Panama. *Copeia*, 1978: 188 - 190.
- Stearns S.C. (1992) The Evolution of Life Histories. *Oxford University Press, New York*, p 72 - 87.
- Tavolga W.N. (1949) Embryonic development of the platyfish (*Platypoecilus*), the swordtail (*Xiphophorus*) and their hybrids. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 94: 165 - 229.
- Tavolga W.N., Rugh R. (1947) Development of the platyfish *Platypoecilus maculatus*. *Zoologica*, 32: 1 - 15.
- Tzedakis P.C., Lawson I.T., Frogley M.R., Hewitt G.M., Preece R.C. (2002) Buffered Tree Population Changes in a Quaternary Refugium: Evolutionary Implications. *Science*, 297: 2044 – 2047.

- Tuomi J., Hakala T., Haukioja E. (1983) Alternative Concepts of Reproductive Effort, Costs of Reproduction, and Selection in Life-History Evolution. *American Zoologist*, 23: 25 – 34.
- Vargas M.J., Sostoa A. (1996) Life history of *Gambusia holbrooki* (Pisces, Poeciliidae) in the Ebro delta (NE Iberian peninsula). *Hydrobiologia*, 341: 215-224.
- Vidal O., Garcia-Berthou E., Tedesco P.A., Garcia-Marin J.L. (2010) Origin and genetic diversity of mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) introduced to Europe. *Biological Invasions*, 12: 841–851.
- Vondracek B., Wurtsbaugh W.A., Cech J.J.Jr (1988) Growth and reproduction of the mosquitofish, *Gambusia affinis*, in relation to temperature and ration level: consequences for life history. *Environmental Biology of fishes*, 21: 45 – 57.
- Wooten M.C., Scribner K.T., Smith M.H. (1988) Genetic Variability and Systematics of *Gambusia* in Southeastern United States. *Copeia*, 1988: 283 - 289.
- Wootton R. J. (1990) Ecology of teleost fish. *Chapman & Hall, London*.
- Wootton R. J. (1998) Ecology of teleost fish. 2th edition, Kluwer Academic Publishers, Fish and Fisheries Series 24, Dordrecht, The Netherlands.
- Wourms J. P. (1981) Viviparity: The maternal-fetal relationship in fishes. *American Zoologist*, 21: 473-515.
- Zulian E., Bisazza A., Marin G. (1995) Variations in male body size in natural populations of *Gambusia holbrooki*. *Ethology Ecology & Evolution* 7: 1 - 10.
- Thorpe J.E., Miles M.S., Keay D.S. (1984) Developmental rate, fecundity and egg size in atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture* 43: 289 – 305.

7. ABSTRACT

“Energetic trade-offs in fish reproduction: the case of mosquitofish *Gambusia holbrooki*”

Mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) has been introduced in the lakes and rivers of Greece as a mosquito population control. Its reproductive biology is particularly interesting because it is one of the two viviparous freshwater fishes in Greece, but the only one widely distributed.

The total body length (TL, cm), fecundity (Fec), embryonic size (embryo length, EL, mm and yolk-sac diameter, YD, mm) and embryonic development stages of the female mosquitofish were measured. Out of the 2172 individuals collected from Lake Pamvotis during its reproductive period (May 2006), only the females were considered (n=1192). The stages of embryonic development were determined according to the scale of 12 stages.

Overall, total body length ranged between 2.1 and 4.9 cm (mean TL \pm SD = 3,05 \pm 0,612 cm), while that of females also ranged between 2.1 and 4.9 cm (mean TL \pm SD = 3,47 \pm 0,514 cm). Fecundity measured as number of oocytes ranged between 4 and 70 oocytes (mean Fec \pm SD = 28,81 \pm 10,45) and measured as number of embryos between 5 and 69 embryos (mean Fec \pm SD = 33,89 \pm 8,48) .

In most females, all embryos were assigned at 7th, 8th or 9th developmental stage, but in some of them, embryos were assigned to two or more developmental stages. The simultaneous presence, in the mosquito population of the lake, of females with embryos in more than one development stages may indicate that mosquitofish is a multiple spawner.

Embryo length (refers to development stages 8-11) ranged between 2.72 and 10.54 mm (mean EL \pm SD = 6,95 \pm 1,425 mm), and yolk-sac diameter (refers to stages 2-10) from 0.89 to 8.04 mm (mean YD \pm SD = 2,36 \pm 0,426 mm). Finally, fecundity was exponentially related to total body length (Fec = 2,2319 \times L^{2,0553}, r² = 0,3948).

Keywords: Mosquitofish, reproduction, fecundity