

# ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΩΝ ΩΤΟΛΙΘΩΝ ΣΕ ΝΕΑΡΑ ΑΤΟΜΑ ΜΠΑΚΑΛΙΑΡΟΥ, *MERLUCCIOUS MERLUCCIOUS*, ΑΠΟ ΤΟ ΙΟΝΙΟ ΠΕΛΑΓΟΣ

Πατούρα Φ.<sup>1</sup>, Λευκαδίτου Ε.<sup>2</sup>, Μεγαλοφώνου Π.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Τομέας Ζωολογίας-Θαλάσσιας Βιολογίας, Τμήμα Βιολογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, photiana@yahoo.gr, pmegalo@biol.uoa.gr

<sup>2</sup> Ινστιτούτο Θαλάσσιων Βιολογικών Πόρων, Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών, teuthis@ath.hcmr.gr

## Περίληψη

Η μελέτη της μικροδομής και του προτύπου αύξησης των ωτολίθων του μπακαλιάρου *Merluccius merluccius* έχει ως στόχο την απάντηση σημαντικών ερωτημάτων που αφορούν την εκτίμηση της ηλικίας και αύξησής του. Συνολικά μελετήθηκαν οι ωτόλιθοι από 129 άτομα μήκους 102-438mm από το Ιόνιο πέλαγος. Μέσω της τεχνικής λείανσης των ωτολίθων και από τις δύο επίπεδες πλευρές, δημιουργήθηκαν λεπτές τομές με ευδιάκριτη τη μικροδομή σε όλη την επιφάνεια τους. Οι ημερήσιοι αυξητικοί δακτύλιοι (ΗΑΔ) μετρήθηκαν από τον πυρήνα προς τη ραχιαία πλευρά του ωτολίθου, σε βαθμονομημένες ψηφιακές εικόνες με τη βοήθεια του προγράμματος ανάλυσης εικόνας Image-Pro plus. Η εξέλιξη του μέσου πάχους των αυξητικών δακτυλίων διακρίθηκε σε 4 φάσεις που χαρακτηρίζονται από: α) εκθετική αύξηση κατά το ιχθυονυμφικό στάδιο (<60<sup>ο</sup> δακτύλιο), β) επιβράδυνση της αύξησης κατά τη μετάβαση από το πελαγικό στο βενθοπελαγικό στάδιο (61-150<sup>ο</sup> δακτύλιο), γ) σταθεροποίηση κατά το νεαρό βενθοπελαγικό στάδιο (151-400<sup>ο</sup> δακτύλιο) και δ) επιβράδυνση μετά τον 400<sup>ο</sup> δακτύλιο. Η επίδραση της ηλικίας, του φύλου και του μήνα σχηματισμού, ήταν στατιστικά σημαντική ( $P < 0.05$ ) για τη διακύμανση του πάχους των δακτυλίων, με εξαίρεση την επίδραση της ηλικίας κατά τη φάση (γ), σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Ανάλυσης Διακύμανσης (ANOVA).

**Λέξεις κλειδιά:** ημερήσια αύξηση, ημερήσιοι αυξητικοί δακτύλιοι, ηλικία

## GROWTH PATTERN OF OTOLITHS IN JUVENILE HAKES, *MERLUCCIOUS MERLUCCIOUS*, FROM THE IONIAN SEA

Pattoura P.<sup>1</sup>, Lefkaditou E.<sup>2</sup>, Megalofonou P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Zoology - Marine Biology, School of Biology, University of Athens, photiana@yahoo.gr, pmegalo@biol.uoa.gr

<sup>2</sup> Institute of Marine Biological Resources, Hellenic Centre for Marine Research teuthis@ath.hcmr.gr

## Abstract

The study of the microstructure and growth pattern of the otoliths of hake, *Merluccius merluccius*, aims at answering important questions concerning the estimation of age and growth. In total, 129 otoliths were studied, from specimens ranging between 102-438mm in total length, caught in the Ionian Sea. Otoliths were ground and polished on both sides to obtain thin frontal sections, in order to reveal the microstructure over the whole surface. Daily growth increments (DGI) were enumerated from the nucleus to the dorsal area of the otolith, on calibrated digital images using the image analysis program Image-Pro plus. Four phases were distinguished in the evolution of the mean DGI width that was characterized by: a) an increasing trend during larval stage (<60<sup>th</sup> ring), b) a short-term deceleration during the transition from the pelagic to the demersal stage (61<sup>st</sup>-150<sup>th</sup> ring), c) a stabilisation during the juvenile demersal stage (151<sup>st</sup>-400<sup>th</sup> ring) and d) a decreasing trend after the 400<sup>th</sup> ring. The effects of age, sex and month of formation on the fluctuation of increment width were statistically significant ( $P < 0.05$ ), with the exception of age effect at phase (c), according to the ANOVA results.

**Keywords:** daily growth, daily growth increments, age

## 1. Εισαγωγή

Ο μπακαλιάρος, *Merluccius merluccius*, είναι ένα από τα πιο εμπορικά και εντατικά αλιευόμενα βενθοπελαγικά είδη στο ΒΑ Ατλαντικό και τη Μεσόγειο (Belcari *et al.*, 2006).

Παρά τις πολυάριθμες μελέτες που εστιάζουν στη βιολογία του, υπάρχουν ακόμα κάποια ερωτήματα σχετικά με τον προσδιορισμό της ηλικίας και την εκτίμηση του ρυθμού αύξησης του, η γνώση των οποίων είναι θεμελιώδης για τη μελέτη της δυναμικής των πληθυσμών του, την εκτίμηση της κατάστασης των αποθεμάτων του και κατ' επέκταση για τη διαχείριση των αποθεμάτων του. Τα ερωτήματα αυτά πηγάζουν από την ποικιλομορφία της μακροδομής των ωτολίθων του, η οποία πιθανότατα οφείλεται στην εκτεταμένη διάρκεια και στις ετήσιες διακυμάνσεις της περιόδου ωτοτοκίας καθώς και στη διαφοροποίηση του προτύπου αύξησης με το φύλο και τη βαθυμετρική κατανομή (Tsimenides *et al* 1978; Orsi-Relini *et al*, 1986; Oliver *et al*, 1989; Albedert & Recasens, 1995). Η δυσκολία του προσδιορισμού των ετήσιων δακτυλίων και της διάκρισής τους από τους πολυάριθμους ψευδοδακτύλιους που παρατηρούνται στη μακροδομή των ωτολίθων του μπακαλιάρου, αποτελεί την κύρια αιτία για την αναποτελεσματικότητα των κριτηρίων που έχουν θεσπιστεί από διεθνείς ομάδες εργασίας και τη διαφοροποίηση των εκτιμήσεων της ηλικίας και αύξησης του μεταξύ των επιστημόνων μέχρι και σήμερα (Piñeiro *et al.*, 2010).

Η ύπαρξη ημερήσιων αυξητικών δακτυλίων στους ωτολίθους θεωρείται δεδομένη για την πλειονότητα των ειδών των ψαριών (Campana and Neilson, 1985). Η μελέτη του σχηματισμού τους αν και παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες, ιδίως για μεγαλύτερα άτομα, θεωρείται η πιο ενδεδειγμένη μέθοδος τουλάχιστον για την εκτίμηση του ρυθμού αύξησης κατά το πρώτο έτος ζωής ψαριών με μεγάλη αναπαραγωγική περίοδο καθώς επίσης είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον προσδιορισμό των περιόδων αλλαγής ενδαιτήματος κατά τα νεαρά στάδια ζωής (Spronagle, 2009).

Κατά την τελευταία 15ετία, η μελέτη των ημερησίων δακτυλίων έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε νεαρά άτομα μπακαλιάρου μήκους μέχρι 25cm σε διάφορες περιοχές της Δυτικής Μεσογείου και του ΒΑ Ατλαντικού (Morales και Aldebert, 1997; Arneri και Morales, 2000; Katcher και Amara, 2005; Morales και Moranta, 2004; Belcari *et al.*, 2006; Piñeiro *et al.*, 2008; Oxtotorena *et al.*, 2010).

Η παρούσα εργασία είναι η πρώτη προσπάθεια μελέτης της μικροδομής και του προτύπου αύξησης των ωτολίθων σε μπακαλιάρους μήκους 10-44cm, από το Ιόνιο πέλαγος.

## 2. Υλικά και μέθοδοι

### 2.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΩΤΟΛΙΘΩΝ

Οι ωτόλιθοι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη προέρχονται από δείγματα του αλιεύματος επαγγελματικών αλιευτικών σκαφών από το Ιόνιο, τα οποία συλλέχθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος «Εθνικό Πρόγραμμα Συλλογής Αλιευτικών Δεδομένων». Συνολικά, για τη μελέτη της μικροδομής, επιλέχθηκαν 62 θηλυκά και 67 αρσενικά άτομα με εύρος ολικού μήκους (TL) 134-438mm και 102-417mm αντίστοιχα. Τα άτομα με μήκος μεγαλύτερο των 165mm εκφορτώθηκαν τους μήνες Μάρτιο-Δεκέμβριο του 2006, ενώ τα μικρότερα (16 άτομα) συλλέχθηκαν από απορρίψεις μηχανότρατας τον Απρίλιο του 2010 για να καλυφθεί κατά το δυνατόν το κενό που υπήρχε στις μικρότερες κλάσεις μηκών. Για κάθε άτομο είχαν καταγραφεί

εκτός από το ολικό μήκος (TL, σε mm), το ολικό βάρος (W, σε g), το φύλο, το στάδιο γεννητικής ωριμότητας, το αλιευτικό εργαλείο και η ημερομηνία αλίευσής τους.

Για να επιτευχθεί η εμφάνιση των ημερήσιων αυξητικών δακτυλίων, οι ωτόλιθοι λειάνθηκαν και από τις δύο επιφάνειες ώστε να δημιουργηθούν λεπτές τομές κατάλληλες για την παρατήρηση της μικροδομής στο μικροσκόπιο με διερχόμενο φωτισμό. Η λείανση έγινε στην αρχή με τη βοήθεια ηλεκτροκίνητου τροχού λείανσης και στη συνέχεια μετά την έγκλιση των ωτολίων σε θερμοπλαστική ρητίνη, έγινε μέσα σε νερό με τη χρήση 4 λειαντικών φύλλων με επικάλυψη οξειδίου αλουμινίου και κόκκο που μειωνόταν διαδοχικά από 40 μέχρι 1 μm.

## 2.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΤΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ

Μετά από παρατήρηση των λεπτών παρασκευασμάτων των ωτολίων στο μικροσκόπιο και μέσω του συστήματος ανάλυσης εικόνας Image-Pro PLUS, έγινε λήψη διαδοχικών (4-22) βαθμονομημένων ψηφιακών εικόνων για κάθε ωτόλιθο έτσι ώστε να καλυφθεί η περιοχή του ωτόλιθου όπου θα πραγματοποιηθεί η ανάγνωση των ημερήσιων δακτυλίων από τον πυρήνα μέχρι την περιφέρεια της ραχιαίας (οδοντωτής) πλευράς του, όπως προτάθηκε από τους Morales και Aldebert (1997). Οι επιμέρους αυτές εικόνες ενώθηκαν σε μία ενιαία «μωσαϊκή» εικόνα με την ενεργοποίηση ειδικής μακροεντολής του λογισμικού Image-Pro PLUS. Για τη λήψη των παραπάνω εικόνων επιλέχθηκε η μεγέθυνση x100 του μικροσκοπίου, ενώ για την περιοχή του πυρήνα χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον εικόνες σε μεγαλύτερη μεγέθυνση (x200, x400) ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη για τη λεπτότερη μικροδομή του ευκρίνεια.

Πριν την καταμέτρηση των ημερήσιων αυξητικών δακτυλίων, σχεδιάστηκε σε κάθε «μωσαϊκή» εικόνα μια ευθεία ή τεθλασμένη γραμμή που υποδείκνυε την ακριβή διαδρομή μέτρησης των δακτυλίων. Στη συνέχεια σημειώνονταν οι δακτύλιοι από τον πυρήνα προς την περιφέρεια, με τη χρήση ενός αλγορίθμου του λογισμικού, ο οποίος επέτρεπε επίσης την εξαγωγή των συντεταγμένων των σημείων σε φύλλο ειδικού αρχείου Excel, στο οποίο με τη χρήση μακροεντολών υπολογιζόταν αυτόματα σε μικρά (μm) η απόσταση κάθε δακτυλίου τόσο από το κέντρο του πυρήνα όσο και από τον προηγούμενο δακτύλιο. Σε περίπτωση σχετικά μεγάλης απόστασης μεταξύ των διαδοχικά σημειωμένων δακτυλίων (σε περιοχές που οι δακτύλιοι ήταν δυσδιάκριτοι ή κατεστραμμένοι λόγω της διαδικασίας λείανσης) δινόταν η εκτίμηση του αριθμού των «χαμένων» δακτυλίων.

## 2.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για να διερευνηθεί το πρότυπο αύξησης του ωτολίου ακολουθήθηκε η εξής επεξεργασία των δεδομένων:

α) για κάθε ωτόλιθο θεωρήθηκε ως μηδενικός δακτύλιος ο δακτύλιος εκκόλαψης, και προσδιορίστηκε η ημερομηνία εκκόλαψης του ατόμου προέλευσής του, λαμβάνοντας υπόψιν το συνολικό αριθμό των ημερησίων δακτυλίων και την ημερομηνία αλίευσης του ατόμου

β) για κάθε δακτύλιο σύμφωνα με τον αυξαντα αριθμό του, υπολογίστηκε η ηλικία σχηματισμού του και η αντίστοιχη ημερομηνία

γ) ανά δέκα ημέρες ηλικίας υπολογίστηκε η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του πάχους των δακτυλίων,

δ) απεικονίστηκε σε διάγραμμα η εξέλιξη του μέσου πάχους των δακτυλίων (ανά δέκα ημέρες) ως προς τον αριθμό των ημερών από την ημέρα εκκόλαψης (ηλικία),

ε) καθορίστηκαν οι διαφορετικές φάσεις αύξησης του ωτολίου και

στ) διερευνήθηκε για κάθε φάση η επίδραση της ηλικίας, του φύλου και του μήνα, στη διακύμανση του πάχους των ημερήσιων δακτυλίων με τη μέθοδο Ανάλυσης της Διακύμανσης (ANalysis Of VAriance –ANOVA).

### 3. Αποτελέσματα

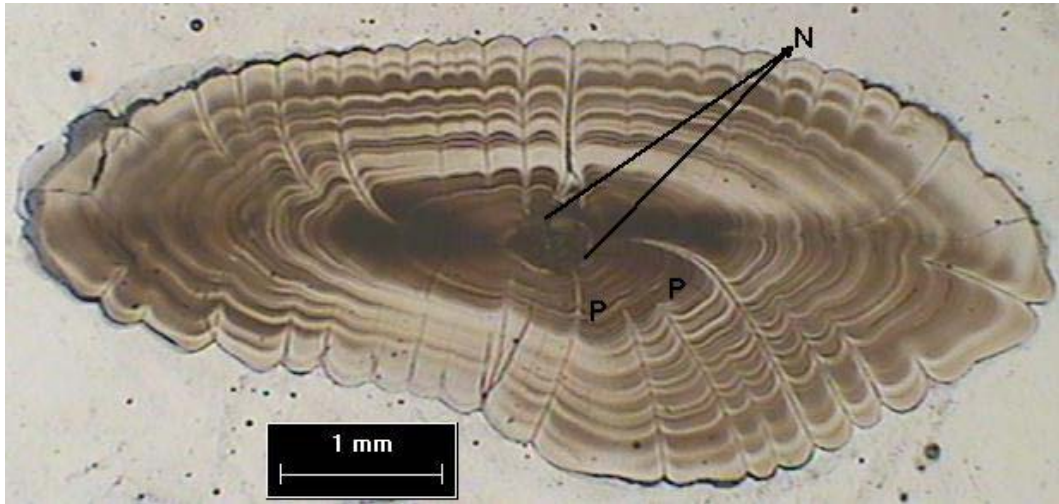
#### 3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΩΤΟΛΙΘΟΥ

Στη μικροδομή των ωτολίθων του μπακαλιάρου παρατηρήθηκαν δύο διακριτές περιοχές: μία κεντρική περιοχή ομόκεντρης αύξησης (πυρήνας) και μία περιφερειακή περιοχή με πολυπρισματική ανάπτυξη (Εικόνα 1).

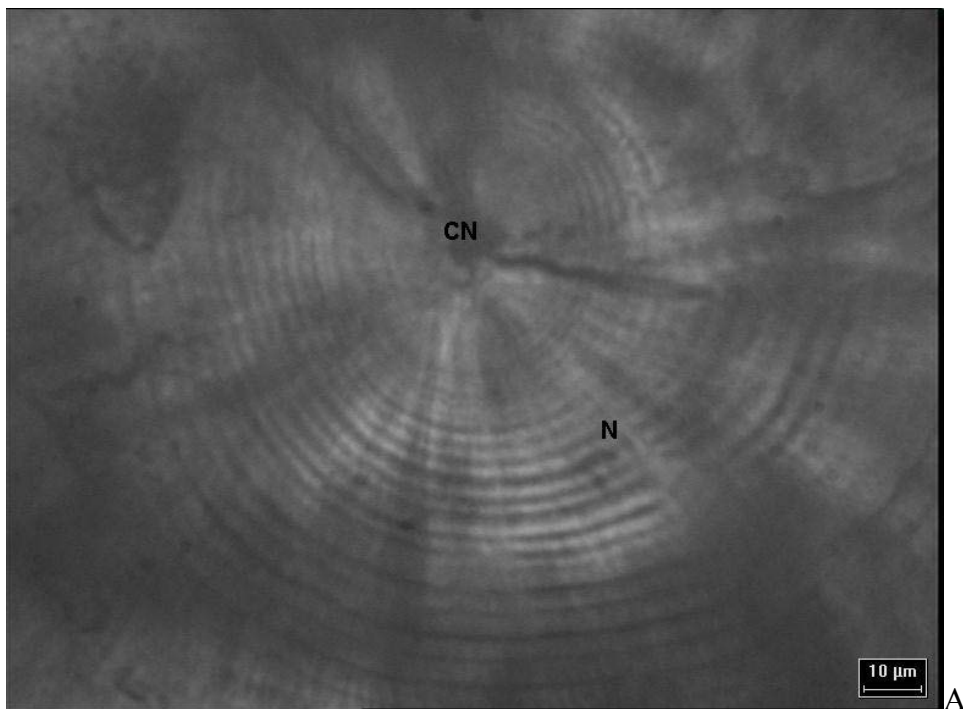
Ο πρώτος ευδιάκριτος σκοτεινός δακτύλιος γύρω από το κέντρο του πυρήνα, που σχηματίζεται σε μια ακτίνα  $5,5\mu\text{m}$  ( $\pm 1,3\mu\text{m}$ ), θεωρήθηκε ενδεικτικός της εκκόλαψης των ιχθυονυμφών. Οι πρώτοι δακτύλιοι (~20) γύρω από το δακτύλιο εκκόλαψης, αποτελούνται από μία σκοτεινή και μία φωτεινή ζώνη, είναι κυκλικοί (Εικόνα 2A) με μέσο πάχος  $2,9\mu\text{m}$  ( $\pm 0,1\mu\text{m}$ ), ενώ οι επόμενοι αποκτούν σχεδόν ελλειπτικό σχήμα και το μέσο πάχος τους σταδιακά αυξάνεται. Ο συνολικός αριθμός των δακτυλίων που καταμετρήθηκαν στον πυρήνα κυμάνθηκε μεταξύ 37 και 77. Από αυτούς οι πρώτοι 29-60 ήταν συνεχείς ενώ οι επόμενοι 5-15 διακόπτονταν από την εμφάνιση των δευτερογενών κέντρων αύξησης, με αποτέλεσμα την πολυγωνική περίμετρο του πυρήνα (Εικόνα 2B).

Τα πρίσματα της περιφερειακής περιοχής του ωτολίθου, ξεκινώντας από τα δευτερογενή κέντρα αύξησης, διευρύνονται και διακλαδίζονται (Εικόνα 1) κατά την ανάπτυξη τους διαμορφώνοντας το μακρόστενο χαρακτηριστικό σχήμα των ωτολίθων του μπακαλιάρου. Ο συνολικός αριθμός των ημερησίων δακτυλίων στην περιφερειακή περιοχή των ωτολίθων που εξετάστηκαν, κυμάνθηκε από 122 μέχρι 680.

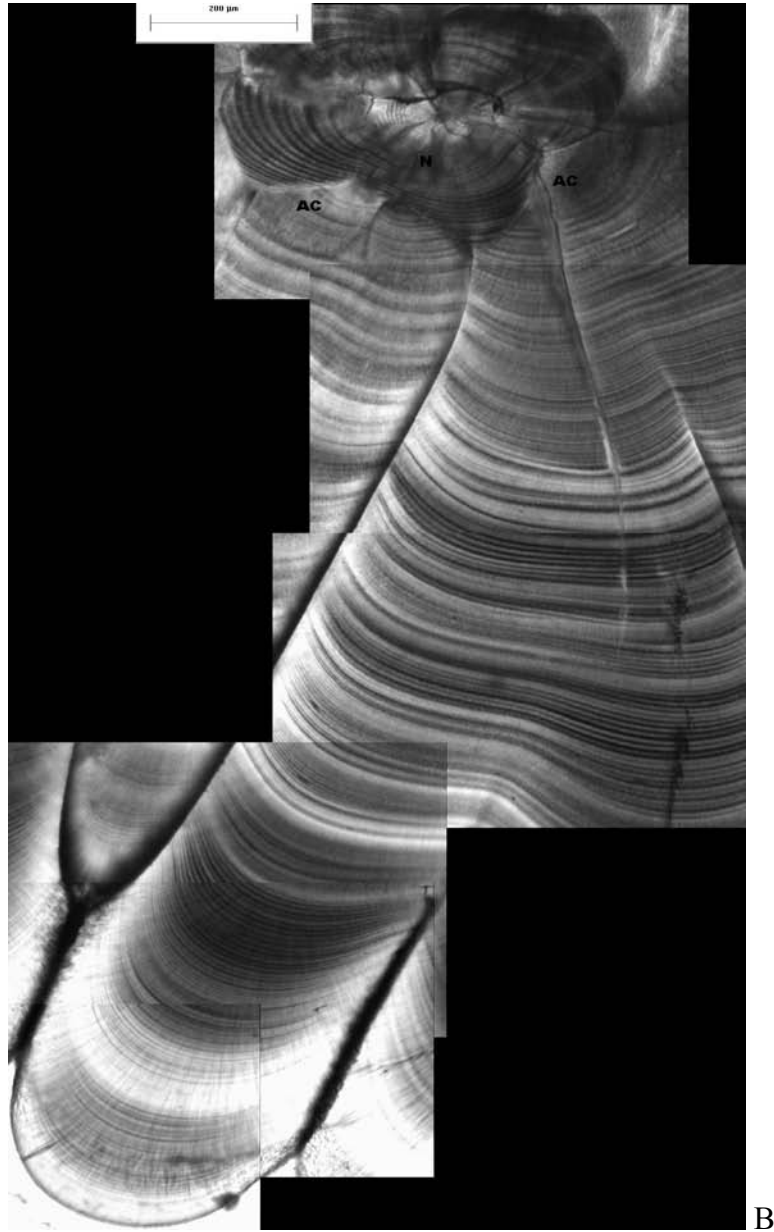
Οι αρχικοί 40-50 ημερήσιοι δακτύλιοι των πρισμάτων είναι πιο έντονοι με μέσο πάχος μεγαλύτερο των  $10\mu\text{m}$  ( $\pm 0,1\mu\text{m}$ ), ακολουθούμενοι από 30-40 δακτύλιους των οποίων το πάχος μειώνεται με τον αύξοντα αριθμό τους, και στη συνέχεια από εναλλασσόμενες ζώνες δακτυλίων με περισσότερο ή λιγότερο έντονους δακτύλιους (Εικόνες 2B, 3). Μόνο στους μεγαλύτερους ωτολίθους, με συνολικό αριθμό αυξητικών δακτυλίων μεγαλύτερο των 400, παρατηρήθηκε μία τελευταία ζώνη λεπτότερων δακτυλίων των οποίων το πάχος παρουσίαζε σταθερή τάση μείωσης.



Εικόνα 1: Η εμφάνιση του ωτολίθου αρσενικού μπακαλιάρου ολικού μήκους 136mm μετά από την ολοκλήρωση της διαδικασίας λείανσης, σε στερεοσκόπιο με διερχόμενο φωτισμό. N: nucleus – πυρήνας, P: πρίσματα ωτολίθου



A



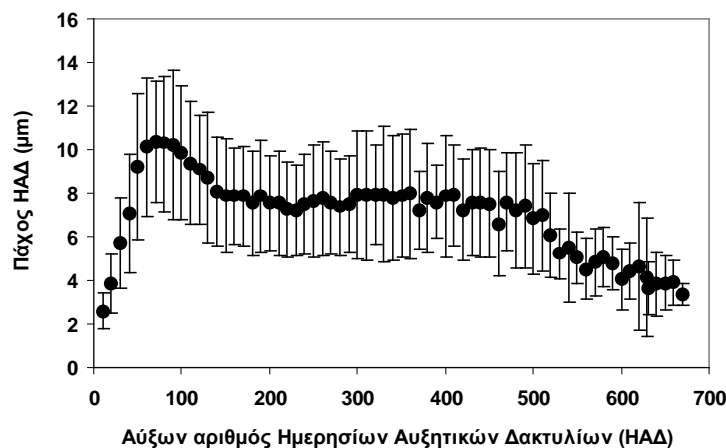
Εικόνα 2: (Α) Εμφάνιση της μικροδομής της περιοχής του πυρήνα στον ωτόλιθο αρσενικού μπακαλιάρου μήκους 133mm (μεγέθυνση x400), N: nucleus – πυρήνας, CN: centre of nucleus-κέντρο πυρήνα, (Β) «Μωσαϊκή» εικόνα της μικροδομής του ωτόλιθου θηλυκού μπακαλιάρου μήκους 184mm (μεγέθυνση x100), N: nucleus -πυρήνας, AC: growth accessory centers – δευτερογενή κέντρα αύξησης

### 3.2. ΠΡΟΤΥΠΟ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΤΩΝ ΗΑΔ ΚΑΙ ΑΙΤΙΕΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΤΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΑΥΞΗΤΙΚΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ

Σύμφωνα με την εξέλιξη του μέσου πάχους των δακτυλίων, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3, η αύξηση του ωτολίθου του μπακαλιάρου μπορεί να διαιερεί σε τέσσερις φάσεις:

- α) στην αρχική φάση εκθετικής αύξησης του πάχους των ημερησίων αυξητικών δακτυλίων (ΗΑΔ), η οποία παρατηρείται μέχρι την 80<sup>η</sup> μέρα ζωής περίπου,
- β) στη φάση βραχυπρόθεσμης μείωσης του πάχους των ΗΑΔ, από την 81<sup>η</sup> -150<sup>η</sup> μέρα περίπου,
- γ) στη φάση σταθερού μέσου πάχους ΗΑΔ (~ 8μm), η οποία παρατηρήθηκε για σημαντικό χρονικό διάστημα (150<sup>η</sup>-400<sup>η</sup> μέρα περίπου) και
- δ) στη φάση βαθμιαίας μείωσης του μέσου πάχους των ΗΑΔ, μετά την 400<sup>η</sup> μέρα.

Σημαντικές διαφοροποιήσεις του πάχους των δακτυλίων από την μέση τιμή που εκτιμήθηκε ανά 10ήμερο, μεταξύ των διαφορετικών ατόμων, παρατηρήθηκαν και στις 4 φάσεις αύξησης του ωτολίθου, με μέση τιμή τυπικής απόκλισης 2,4μm μέχρι τον 600<sup>ο</sup> δακτύλιο.



Εικόνα 3: Εξέλιξη του μέσου πάχους των ημερησίων αυξητικών δακτυλίων (ΗΑΔ) συναρτήσει της ηλικίας, στην κατεύθυνση πυρήνας-ραχιαία πλευρά ωτολίθου, σε ωτολίθους μπακαλιάρων μήκους 102-438mm από το Ιόνιο πέλαγος (οι κάθετες γραμμές είναι ενδεικτικές της τυπικής απόκλισης του πάχους των ΗΑΔ)

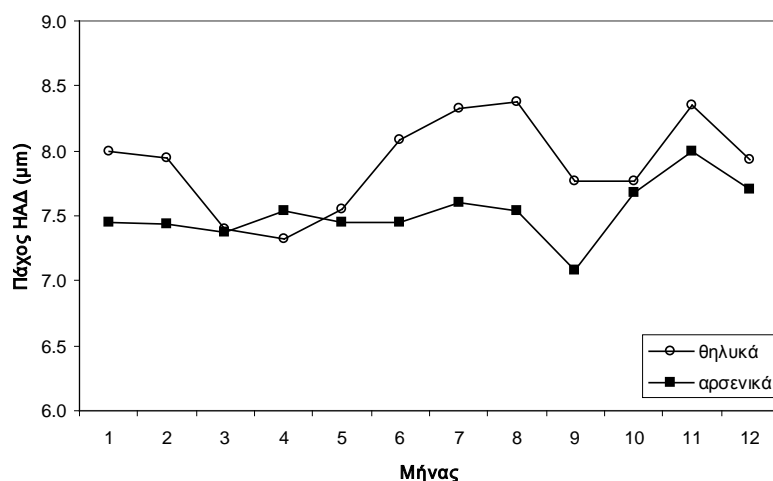
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ANOVA και οι 3 παράγοντες που εξετάστηκαν αποδείχθηκαν στατιστικά σημαντικοί ( $P < 0.05$ ) για την παρατηρούμενη διακύμανση του πάχους των δακτυλίων (Πίνακας 1). Το φύλο παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στη διακύμανση του πάχους των δακτυλίων και στις 4 φάσεις ανάπτυξης του ωτολίθου. Η επίδραση της ηλικίας είναι μεγαλύτερη κατά την αρχική φάση, ενώ απουσιάζει, όπως ήταν αναμενόμενο, από τη φάση σταθεροποίησης του μέσου πάχους των ΗΑΔ. Ο μήνας εμφανίζεται σαν ο γενικά λιγότερο σημαντικός παράγοντας, με σχετικά μεγαλύτερη επίδραση από τον 3<sup>ο</sup> μέχρι τον 14<sup>ο</sup> μήνα ζωής. Η απεικόνιση του μέσου πάχους των δακτυλίων ανά μήνα και ανά φύλο, κατά την περίοδο

σταθεροποίησης της αύξησης, μεταξύ 150-400ού δακτύλιου, έδειξε σχετικά μεγαλύτερη διακύμανση του πάχους των δακτυλίων για τα θηλυκά άτομα, και ψηλότερες τιμές μέσου πάχους και για τα δύο φύλα το μήνα Νοέμβριο (Εικόνα 4).

Πίνακας 1: Αποτελέσματα της Ανάλυσης Διακύμανσης (ANOVA) για την επίδραση της ηλικίας, του φύλου και του μήνα σχηματισμού στο μέσο πάχος των ημερήσιων αυξητικών δακτυλίων (ΗΑΔ) στους ωτολίθους μπακαλιάρων του Ιονίου πελάγους.

	Sum of squares	Df	Mean square	F-ratio	P-value
<b>Ημερήσιοι δακτύλιοι 11-60</b>					
Ηλικία	35048.3	49	715.272	120.76	0
Φύλο	1387.84	2	693.92	117.16	0
Μήνας	485.337	11	44.1216	7.45	0
<b>Ημερήσιοι δακτύλιοι 61-149</b>					
Ηλικία	8347.77	88	94.861	11.42	0
Φύλο	696.632	2	348.316	41.94	0
Μήνας	1602.65	11	145.695	17.54	0
<b>Ημερήσιοι δακτύλιοι 150-400</b>					
Ηλικία	1122.15	249	4.50661	0.79	0.9928
Φύλο	676.534	1	676.534	119.07	0
Μήνας	1150.54	11	104.595	18.41	0
<b>Ημερήσιοι δακτύλιοι 401-600</b>					
Ηλικία	2046.16	199	10.2822	1.96	0
Φύλο	84.5942	1	84.5942	16.11	0.0001
Μήνας	467.28	11	42.48	8.09	0





Εικόνα 4: Διακύμανση του μέσου πάχους των ημερήσιων αυξητικών δακτυλίων (ΗΑΔ) με αύξοντα αριθμό 151-400, ανά μήνα και ανά φύλο, σε ωτόλιθους μπακαλιάρου από το Ιόνιο πέλαγος

#### 4. Συζήτηση

Η πολυγωνική μορφή του πυρήνα και η πολυπρισματική δομή που παρατηρήθηκαν στην περαιτέρω ανάπτυξη της περιφερειακής περιοχής των ωτολίθων του μπακαλιάρου από το Ιόνιο, είναι κοινή τόσο για το είδος αυτό όσο και γενικότερα για την τάξη Gadiformes (Morales & Aldebert, 1997). Σύμφωνα με τους Arneri & Morales (2000), η παρουσία δευτερογενών κέντρων αύξησης είναι ένα σύνηθες φαινόμενο στα είδη που υφίστανται μια χαρακτηριστική αλλαγή ενδιαίτηματος κατά τη μετάβαση από το ιχθυονυμφικό στο νεαρό στάδιο ζωής. Στον μπακαλιάρου, η εμφάνιση των δευτερογενών κέντρων αύξησης σχετίζεται με τη μεταμόρφωσή του και την τελειοποίηση των κοιλιακών πτερυγίων που σηματοδοτεί τη μετάβαση του ψαριού από τη πελαγική φάση ως ιχθυονύμφη στη βενθοπελαγική ως νεαρό άτομο (Morales *et al.*, 2005). Αυτό επιβεβαιώνεται από την αναφορά της απουσίας των δευτερογενών κέντρων αύξησης από πελαγικές ιχθυονύμφες ολικού μήκους μέχρι 1,1cm, οι οποίες συλλέχθηκαν με δίχτυ πλαγκτού (Palomera *et al.*, 2005) και αντίθετα της παρουσίας τους σε νεαρά άτομα ελάχιστου ολικού μήκους 1,6cm που αλιεύθηκαν με πειραματική τράτα βυθού (Arneri & Morales, 2000).

Θεωρώντας σύμφωνα με τα παραπάνω ότι ο αριθμός των ημερήσιων αυξητικών δακτυλίων στον πυρήνα αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα της ιχθυονυμφικής-πελαγικής φάσης, φαίνεται ότι αυτή διαρκεί κατά μέσο όρο 54 ( $\pm 7$ ) μέρες για τον μπακαλιάρου του Ιονίου. Ανάλογη διάρκεια της ιχθυονυμφικής φάσης του μπακαλιάρου έχει βρεθεί τόσο στη Δ. Μεσόγειο (Morales & Moranta, 2004; Belcari *et al.*, 2006) όσο και το ΒΑ Ατλαντικό (Pinheiro *et al.*, 2008; Otxotorena *et al.*, 2010).

Στην παρούσα έρευνα ο δακτύλιος εκκόλαψης στον ωτόλιθο του μπακαλιάρου παρατηρήθηκε ότι σχηματίζεται γύρω στα 5,5μm, σε ακτίνα δηλαδή ανάλογη με αυτή (5,4 – 8,1 μm) που έχει παρατηρηθεί στη Δυτική Μεσόγειο (Morales & Aldebert, 1997; Palomera *et al.*, 2005) αλλά αρκετά μικρότερη από την ακτίνα του δακτυλίου εκκόλαψης (15,7μm) που έχει αναφερθεί στο Βισκαϊκό Κόλπο (Alvarez & Cotano, 2005). Η ασυμφωνία αυτή πιθανόν να οφείλεται είτε στις διαφορές της θερμοκρασίας και γενικότερα των περιβαλλοντικών συνθηκών μεταξύ της Μεσογείου και του ΒΑ Ατλαντικού (Mellon-Duval *et al.*, 2010), είτε σε γενετική διαφορά των πληθυσμών, είτε όπως υποστηρίζεται από τους Pinheiro *et al.* (2008), στη διαφορετική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται από κάθε επιστήμονα ή επιστημονική ομάδα. Αξίζει να αναφερθεί ότι στη μοναδική περίπτωση εκτροφής μπακαλιάρου σε ενυδρείο (Morales *et al.*, 2005) για τη μελέτη της μικροδομής του ωτολίθου καταμετρήθηκαν 64 ημερήσιοι δακτύλιοι. Κατά την ίδια πειραματική διεργασία διαπιστώθηκε ότι το άτομο άρχισε να τρέφεται εξωγενώς 6 ημέρες μετά την εκκόλαψη και πιστεύεται ότι τότε άρχισε και ο σχηματισμός των ημερήσιων δακτυλίων.

Η περίοδος βραχυπρόθεσμης πρωτικής τάσης του πάχους των αυξητικών δακτυλίων, λίγο μετά την εμφάνιση των παχύτερων δακτυλίων, κατά την έναρξη της πρισματικής ανάπτυξης που σηματοδοτεί την μεταμόρφωση της ιχθυονύμφης, ίσως σχετίζεται με την αλλαγή του ενδιαιτήματος του νεαρού ατόμου από το πελαγικό στο βενθοπελαγικό. Η άποψη αυτή ενισχύεται από την παρατήρηση ανάλογης απότομης μείωσης του πάχους των ημερησίων δακτυλίων σε αρκετά είδη τροπικών ειδών κατά την εγκατάστασή τους στο βυθό (Wilson & McCormick, 1999; Panfili *et al.*, 2009). Η μείωση λοιπόν του μέσου πάχους των δακτυλίων από την 83<sup>η</sup> μέχρι και την 150<sup>η</sup> μέρα πιθανότατα να αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα που χρειάζονται τα νεαρά άτομα για να προσαρμοστούν στις συνθήκες του βενθοπελαγικού περιβάλλοντος, ενώ η μετέπειτα σταθεροποίηση του πάχους των δακτυλίων (από την 150<sup>η</sup>-400<sup>η</sup> μέρα) να αντικατοπτρίζει την τελική προσαρμογή τους στο καινούριο περιβάλλον.

Η δεύτερη περίοδος σταδιακής μείωσης του πάχους των ΗΑΔ, παρατηρείται μετά τους 13 μήνες ζωής με αντίστοιχο ολικό μήκος ψαριού 25-30cm (Πατούρα, 2010), στο οποίο παρατηρείται και η πρώτη γεννητική ωρίμανση του μπακαλιάρου στο Ιόνιο (Papaconstantinou & Stergiou, 1995).

Η εργασία αυτή αποτελεί μια πρώτη προσπάθεια μελέτης της μικροδομής και της αύξησης του ωτολίθου του μπακαλιάρου στα Ελληνικά νερά και για πρώτη φορά επιχειρήθηκε σε ωτολίθους ατόμων με μήκος μεγαλύτερο των 25cm. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Ανάλυσης Διακύμανσης, εκτός από την επίδραση της ηλικίας που αντικατοπτρίζεται και από τις διακριτές φάσεις αλλαγής του προτύπου αύξησης των ΗΑΔ, το φύλο και ο μήνας σχηματισμού αποδείχθηκαν σημαντικοί παράγοντες για το ρυθμό αύξησης του ωτολίθου.

## 5. Βιβλιογραφία

- Aldebert, Y. & Recasens, L., 1995. Estimation du la croissance du merlu dans le Golfe du Lion par l'analyse des fréquences de tailles. Rapport de la Commission Internationale de la Mer Méditerranée. 34: 236
- Alvarez, P. & Cotano, U., 2005. Growth, mortality and hatch-date distributions of European hake larvae, *Merluccius merluccius* (L.), in the Bay of Biscay. Fish. Res. 76: 379 – 391
- Ameri, E., Morales-Nin, B., 2000. Aspects of the early life history of European hake from the central Adriatic. J. Fish Biol. 56: 1368–1380
- Beamish, R. J., Fournier, D. A., 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38: 982-983
- Belcari P., Ligas A., Viva, C., 2006. Age determination and growth of juveniles of the European hake, *Merluccius merluccius* (L., 1758), in the northern Tyrrhenian Sea (NW Mediterranean). Fish. Res. 78: 211-217
- Campana, S. E., Neilson, J. D., 1985. Microstructure of fish otoliths. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 1014-1032

- Chang, W. Y. B., 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Can. J. Fish. Aqu. Sci.* 39: 1208-1210
- Kacher, M. & Amara, R., 2005. Distribution and growth of 0-group European hake in the Bay of Biscay and Celtic Sea: a spatial and interannual analysis. *Fish. Res.* 71: 373-378
- Mellon-Duval C., Pontual, H., Métral, L., Quemener, L., 2010: Growth of European hake (*Merluccius merluccius*) in the Gulf of Lions based on conventional tagging. *ICES J. Mar. Sci.* 67, 62-70
- Morales-Nin, B. & Aldebert, Y., 1997. Growth of juvenile *Merluccius merluccius* in the Gulf of Lions (NW Mediterranean) based on otolith microstructure and length – frequency analysis. *Fish. Res.* 30: 77 – 85
- Morales-Nin B., Torres, G.J., Lombarte, A., Recasens, L., 1998. Otolith growth and age estimation in the European hake. *J. Fish Biol.* 53: 1155-1168
- Morales-Nin, B. & J. Moranta., 2004. Recruitment and post-settlement growth of juvenile *Merluccius merluccius* on the western Mediterranean shelf. *Sci. Mar.* 68: 399-409
- Morales-Nin B., Bjelland, R.M., Moksness, E., 2005. Otolith microstructure of a hatchery reared European hake (*Merluccius merluccius*). *Fish. Res.* 74: 300–305
- Oliver P., Alvarez F., Morales-Nin B., 1989. Report on the age-reading Workshop on Mediterranean European hake and Sardine. *FAO Fisheries Report.* 447: 79-84.
- Orsi-Relini, L., Capparera, M. & Fiorentino, F. (1986). Distribuzione spazio-temporale de accrescimento delle reclute di *Merluccius merluccius* del Mar Ligure. *Bolletino Museo Istiologia Biologia Universita di Genova* 52 (Suppl.), 233–235.
- Otxotorena U., Diez G., Lopez de Abechuco E., Santurtun M., Lucio P., 2010. Estimation of age and growth of juvenile hakes (*Merluccius merluccius*, Linnaeus, 1758) of the Bay of Biscay and Great Sole by means of the analysis of macro and microstructure of the otoliths. *Fish. Res.* 106: 337-343
- Palomera, I., Olivar, M.P., Morales-Nin, B., 2005. Larval development and growth of the European hake *Merluccius merluccius* in the northwestern Mediterranean. *Sci. Mar.* 69: 251 – 258
- Panfili J., Tomas H., Morales-Nin B., 2009. Otolith microstructure in tropical fish. In Green B. S., Mapstone B. D., Carlos G. & G. A. Begg (Eds), *Tropical Fish Otoliths: Information for assessment, management and ecology. Reviews: methods and technologies in fish biology and fisheries.* 11: 212-248
- Papaconstantinou C., Stergiou K., 1995. Biology and fishery of hake, *Merluccius merluccius* L., 1758, in the eastern Mediterranean. Pp. 149-180. In Alheit J., Pitcher T.J. (Eds.) *Hake: fisheries products and markets.* Fish and Fisheries Series 15. Chapman & Hall, London.
- Παττούρα Φ., 2010. Μελέτη της ηλικίας και του προτύπου αύξησης των ωτολίθων σε νεαρά άτομα μπακαλιάρου *Merluccius merluccius*, από το Ιόνιο πέλαγος. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Ωκεανογραφίας και Διαχείρισης Θαλάσσιου Περιβάλλοντος, 96 σελίδες.
- Piñeiro C., Rey, J., de Pontual, H., Goñi, R., 2007. Tag and recapture of European hake (*Merluccius merluccius* L.) off the Northwest Iberian Peninsula: First results support fast growth hypothesis. *Fish. Res.* 88: 150-154
- Piñeiro, C., Rey, J., de Pontual, H., García, A., 2008. Growth of Northwest Iberian juvenile hake estimated by combining sagittal and transversal otolith microstructure analyses. *Fish. Res.* 93: 173 – 178
- Piñeiro, C. G., Morgado, C., Saínza, M., McCurdy, W. J. (Eds). 2009. Hake age estimation: state of the art and progress towards a solution. *ICES Cooperative Research Report No.* 294. 43 pp.
- Sponaugle, S.U., 2009. Daily otolith increments in the early stages of tropical fish. In Green B. S., Mapstone B. D., Carlos G. & G. A. Begg (Eds), *Tropical Fish Otoliths: Information for assessment, management and ecology. Reviews: methods and technologies in fish biology and fisheries.* 11: 93-132..
- Tsimenidis, N., Papaconstantinou, C., Daoulas, C., 1978. Age and growth of hake (*Merluccius merluccius*) in the Saronikos and Thermaikos Gulf. *Thalassographica.* 2: 27-56
- Wilson D. T., McCormick M. I., 1999. Microstructure of settlement-marks in the otoliths of tropical reef fishes. *Mar. Biol.* 134: 29-41