

ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΥΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΓΚΤΟΝΙΚΩΝ ΣΤΑΔΙΩΝ ΤΟΥ ΓΑΥΡΟΥ, *ENGRAULIS ENCRASICOLUS*, ΣΤΟ ΙΟΝΙΟ ΠΕΛΑΓΟΣ

Π. Γ. Δρακόπουλος¹, Σ. Σωμαράκης^{1,2}, Κ. Κουτσικόπουλος³,
Α. Μαχιάς¹, & Ν. Τσιμενίδης²

¹Ινστιτούτο Θαλάσσιας Βιολογίας Κρήτης, ΤΘ 2214, 71003 Ηράκλειο. (pdrak@imbc.gr)

²Πανεπιστήμιο Κρήτης, Τμήμα Βιολογίας, ΤΘ 1470, 71110 Ηράκλειο

³Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Βιολογίας, 26500 Πάτρα

ABSTRACT

Drakopoulos P. G., S. Somarakis, C. Koutstikopoulos, A. Machias & N. Tsimenides. • Advection and diffusion of plactonic stages of anchovy, *Engraulis encrasicolus*, in the Ionian Sea.

Implementation of the depth integrated advection-diffusion equation to a presumed ichthyoplanktonic cohort of anchovy emanating from a spawning ground in the proximity of Acheloos river as observed during the July 98 ichthyoplankton survey of R/V Philia, has enabled us to estimate a mortality rate of about 0.3 d⁻¹.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο γαύρος (*Engraulis encrasicolus*), είναι ένα από τα σπουδαιότερα πελαγικά είδη των ελληνικών θαλασσών. Επειδή υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι τα αποθέματά του κινδυνεύουν, λόγω εντονότατης αλιευτικής πίεσης, βρίσκονται σε εξέλιξη πολλές μελέτες που αφορούν τόσο στην εκτίμηση των αποθεμάτων όσο και στη μελέτη της οικολογίας και την επίδραση του περιβάλλοντος στην κατανομή, ωτοκία και στρατολόγηση του είδους [1,2]. Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα προβλήματα της αλιευτικής ωκεανογραφίας είναι ο υπολογισμός της θνησιμότητας του ιχθυοπλαγκτού. Η θνησιμότητα κατά τα νεαρά στάδια της ζωής των ψαριών καθορίζει την επιτυχία της στρατολόγησης και κατ'επέκταση τις διακυμάνσεις των ιχθυοπληθυσμών. Στην εργασία αυτή, παρουσιάζουμε προκαταρκτικά αποτελέσματα της μελέτης της χωρικής κατανομής και αφθονίας των αυγών και νυμφών του γαύρου στο Ιόνιο Πέλαγος κατά τον Ιούλιο του 1998 και τη συσχέτισή της με τη γενική κυκλοφορία, την τυρβώδη διάχυση και τη θνησιμότητα όπως προκύπτει από τις μετρήσεις πεδίου.

ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ

Η περιοχή της μελέτης (Πατραϊκός-Ιόνιο) καλύφθηκε με 39 σταθμούς από το ερευνητικό σκάφος "Φιλία" τον Ιούλιο του 1998. Η δειγματοληψία πλαγκτού πραγματοποιήθηκε με τη χρήση Bongo-net και σύρσεις λοξές και διπλές, από την επιφάνεια έως 5 μέτρα πάνω από τον πυθμένα, ή μέχρι τα 200 μέτρα στους βαθύτερους σταθμούς [1]. Στο εργαστή-

ριο τα αυγά και οι νύμφες του γαύρου διαχωρίστηκαν με τη βοήθεια στερεοσκοπίου. Τα αυγά και οι λεκιθοφόρες νύμφες χωρίστηκαν σε στάδια εμβρυονικής ανάπτυξης και υπολογίστηκε η ηλικία τους βάσει της επιφανειακής θερμοκρασίας [2]. Οι νύμφες χωρίστηκαν σε κλάσεις μήκους 1 mm και υπολογίστηκε η παραγωγή νυμφών ανά κλάση μήκους και μονάδα επιφανείας [3] καθώς και η αντίστοιχη ηλικία για κάθε σταθμό από δεδομένα ανάλυσης της μικροδομής των ωτολίθων [4,5,6]. Η επιφανειακή κυκλοφορία της περιοχής υπολογίστηκε με *in situ* υδρογραφικές μετρήσεις (θερμοκρασία, αλατότητα, υδροστατική πίεση). Έγινε χρήση ενός CTD SBE-19. Η συγκέντρωση χλωροφύλλης απεικονίστηκε με τη βοήθεια ενός φλουορόμετρου Wetlabs συνδεδεμένου στο CTD. Από τις κατακόρυφες υδρογραφικές κατανομές υπολογίστηκε το δυναμικό ύψος και κατ'επέκταση η γεωστροφική κυκλοφορία. Η αφθονία C των αυγών-νυμφών (αριθμός ανά τετραγωνικό μέτρο), δίνεται οποιαδήποτε χρονική στιγμή από την ολοκληρωμένη κατά βάθος διαφορική εξίσωση [7]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla C = A_h \nabla^2 C + H + Z \quad (1)$$

όπου u η ταχύτητα οριζόντιας μεταφοράς, A^h ο συντελεστής οριζόντιας τυρβώδους διάχυσης, H η παραγωγή αυγών και Z η θνησιμότητα. Η επίλυση της εξίσωσης αυτής επιτυγχάνεται με αριθμητικές μεθόδους πεπερασμένων διαφορών. Με αρκετές απλουστεύσεις και παραδοχές όμως, (όπως οριζόντια ισοτροπία της διάχυσης, κατακόρυφη ομοιογένεια της συγκέντρωσης, σταθερή ωτοκία στην πηγή, και έχοντας σαν σύστημα αναφοράς το κέντρο μάζας μίας ομάδας (cohort) νυμφών, δηλαδή λαγκρανσιανή προσέγγιση, η αναλυτική λύση της δίνεται από την εξίσωση [8]:

$$C \approx \frac{B e^{-Zt}}{t} \quad (2)$$

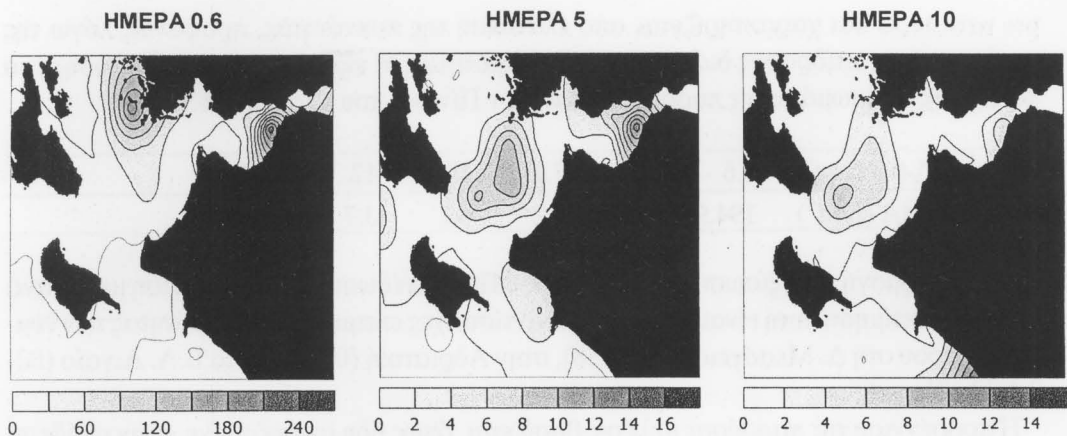
όπου η παράμετρος B και η θνησιμότητα Z μπορούν να προσδιοριστούν με μη γραμμικές μεθόδους ελαχίστων τετραγώνων.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

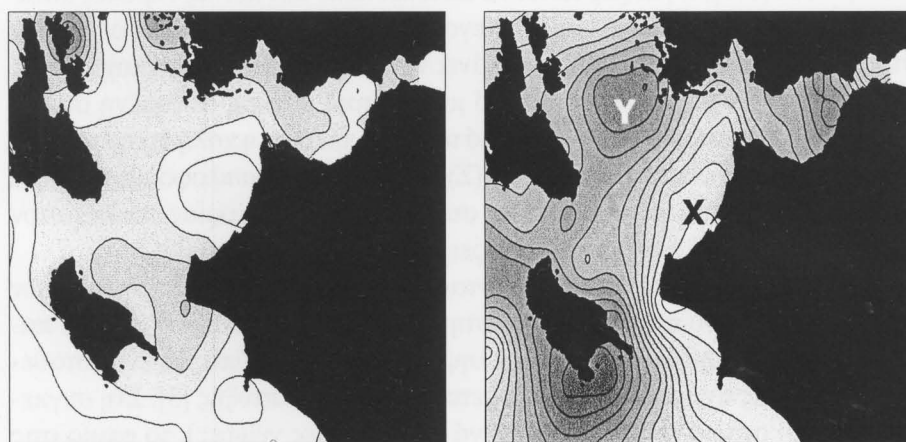
Η κατανομή της αφθονίας των πλαγκτονικών σταδίων του γαύρου φαίνεται στο Σχήμα 1. Όπως αναμενόταν, οι εκβολές των ποταμών ήταν περιοχές ωτοκίας, συγκεκριμένα οι εκβολές του Αχελώου και του Εύηνου.

Στο Σχήμα 2α της κατανομής της χλωροφύλλης είναι εμφανής η ευτροφικότητα των νερών σε αυτές τις περιοχές (σκούρα γραμμοσκίαση) που είναι και ο λόγος αυξημένης αφθονίας γαύρου [9].

Η μεταφορά των αυγών - νυμφών από τον τόπο ωτοκίας στο ανοιχτό Ιόνιο ελέγχεται από την επιφανειακή κυκλοφορία. Τα αποτελέσματα της γεωστροφικής ανάλυσης πα-



Σχήμα 1. Χωρική και χρονική εξέλιξη ανγών - λάρβας γαύρου στο Ιόνιο κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας. Στιγμιότυπα στις 0.6, 5 και 10 ημέρες.



Σχήμα 2: α) Κατανομή χλωροφύλλης στα 5 μέτρα. β) Δυναμικό ύψος (βάθος 5 μέτρα) στην υπό εξέταση περιοχή. Y: αντικυκλώνας, X: κυκλώνας.

ρουσιάζονται στο Σχήμα 2β. Ο αντικυκλωνικός σχηματισμός στην περιοχή του Αχελώου, σε συνδυασμό με την ευρύτερη κυκλωνική περιοχή στη βορειοδυτική Πελοπόννησο έχει σαν αποτέλεσμα μία νότιο - νοτιοδυτική κυκλοφορία. Αυτή ακριβώς είναι και η πορεία των νυμφών με ταχύτητα μεταφοράς περίπου 5-10 cm/s. (Σχήμα 1). Αν θεωρήσουμε ότι το χωροχρονικό πρότυπο της κυκλοφορίας και αναπαραγωγής παραμένουν αμετάβλητα κατά την περίοδο της δειγματοληψίας (steady state), μπορούμε να παρακολουθήσουμε μία συσσωμάτωση (patch) που ξεκινά από τις εκβολές του Αχελώου και σταδιακά κινεί-

ται νοτιότερα και χαρακτηρίζεται από ελάττωση της πυκνότητας, προφανώς λόγω της συνδυασμένης επίδρασης διάχυσης και θνησιμότητας. Η εξέλιξη της συγκέντρωσης στο κέντρο της συσσωμάτωσης παρουσιάζεται στον Πίνακα που ακολουθεί:

ΗΛΙΚΙΑ (ημέρες)	0.6	3.8	7.3	10.1	12.3	14.3
ΑΦΘΟΝΙΑ (n/m ²)	194.9	7.8	7.2	6.1	3.7	1.4

Η προσαρμογή της εξίσωσης 2 στις τιμές του Πίνακα έδωσε θνησιμότητα ίση με 0.3 ανά ημέρα. Η εκτίμηση αυτή είναι παρόμοια με αντίστοιχες εκτιμήσεις θνησιμότητας των νυμφών γαύρου στη Δ. Μεσόγειο (0.17-0.58), στην Αδριατική (0.3) και στο Β.Α. Αιγαίο (0.2-0.4) [2,10].

Η προσέγγιση της παρούσας μελέτης βασίζεται, όπως ήδη αναφέρθηκε, στην υπόθεση ενός σταθερού χωρικού και χρονικού πρότυπου κυκλοφορίας και παραγωγής αυγών κατά την περίοδο δειγματοληψίας. Είναι γενικά γνωστό ότι σε ολιγοτροφικές περιοχές, όπως η ανατολική Μεσόγειος, ο γαύρος τείνει να ωοτοκεί πολύ κοντά στις εκβολές ποταμών όταν η εκροή είναι περιορισμένη [10]. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με δεδομένα από μία δεύτερη δειγματοληψία το 1999, μας κάνει να πιστεύουμε ότι η περιοχή κοντά στις εκβολές του Αχελώου χαρακτηρίζεται από μία σχετικά μόνιμη, αυξημένη συγκέντρωση αναπαραγόμενων κοπαδιών γαύρου. Από την άλλη πλευρά, η καλή συσχέτιση μεταξύ κέντρων αφθονίας διαφορετικών ηλικιών (Σχήμα 1) και της κυκλοφορίας (Σχήμα 2β) είναι ενδεικτική μίας σχετικής σταθερότητας στο πρότυπο κυκλοφορίας, τουλάχιστον για το μικρό χρονικό διάστημα που μας ενδιαφέρει.

Τέλος, οι εκτιμήσεις θνησιμότητας που βασίζονται σε δεδομένα μεμονωμένων ταξιδιών βασίζονται γενικότερα σε δύο παραδοχές: (α) στην ύπαρξη ενός σταθερού ρυθμού παραγωγής αυγών κατά την περίοδο της δειγματοληψίας και (β) στην ύπαρξη ενός σταθερού ρυθμού θνησιμότητας ανάμεσα στα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης [3]. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το στάδιο του εμβρύου (αυγά-λεκιθοφόρες νύμφες), το οποίο στις συγκεκριμένες θερμοκρασίες διαρκεί 3 ημέρες, μπορεί να χαρακτηρίζεται από διαφορετικούς ρυθμούς θνησιμότητας σε σχέση με το στάδιο των τρεφόμενων νυμφών (>3 ημέρες) [3]. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη κατά τη λεπτομερέστερη ανάλυση των δεδομένων. Τέλος, βρίσκεται σε εξέλιξη αριθμητικό μοντέλο κυκλοφορίας και διάχυσης για τη συγκεκριμένη περιοχή για περαιτέρω και σε βάθος ανάλυση των δεδομένων πεδίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] MACHIAS A., S. SOMARAKIS, P. DRAKOPOULOS, A. KAPADAGAKIS, M. GIANNOULAKI, E. MARAVEYA, L. MANOUSAKIS, D. VATSOS, C. TSIMENIDOU, N. TSIMENIDES, A. MAGOULAS, & C. KOUTSIKOPOULOS, 1999. Evaluation of the southern Greek anchovy stocks, EEC DG-XIV, contract no 97/0048 interim report.
- [2] ΣΩΜΑΡΑΚΗΣ, Σ., 1999. Ιχθυοπλαγκτό του Β.Α. Αιγαίου με έμφαση στο γαύρο (Ιούνιος 1993, 1994, 1995, 1996). Διδακτορική διατριβή (υπό προετοιμασία). Πανεπιστήμιο Κρήτης.
- [3] LO N.C.H., 1986. Modeling life-stage-specific instantaneous mortality rates, an application to northern anchovy, *Engraulis mordax*, eggs and larvae, *Fishery Bulletin*, 84, 395-407.
- [4] ΣΩΜΑΡΑΚΗΣ, Σ., ΠΕΡΙΣΤΕΡΑΚΗ Ν. & ΤΣΙΜΕΝΙΔΗΣ, Ν., 1997. Μικροδομή των ωτολίθων και αύξηση των νυμφών του γαύρου (*Engraulis encrasicolus*) στο Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο. Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, Τόμος II, σελ. 51-54.
- [5] SOMARAKIS, S., KOSTIKAS, I., PERISTERAKI, N. & TSIMENIDES, N., 1997. Fluctuating asymmetry in the otoliths of larval anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and the use of developmental instability as an indicator of condition in larval fish. *Marine Ecology Progress Series*, 151: 191-203.
- [6] SOMARAKIS, S., CATALANO, B. & TSIMENIDES, N., 1998. Catchability and retention of larval European anchovy, *Engraulis encrasicolus*, with bongo nets. *Fishery Bulletin*, 96: 917-925.
- [7] HINCKLEY S., K. BAILEY, S. PICQUELLE, M. YOKLAVICH & P. STABENO, 1993. Age-specific mortality and transport of larval walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the western Gulf of Alaska, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 98, 17-29.
- [8] MCGURK, M.D., 1989. Advection, diffusion and mortality of Pacific herring larvae *Clupea harengus pallasii* in Bamfield Inlet, British Columbia, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 51, 1-18.
- [9] STERGIΟΥ Κ.Ι. & ΓΕΩΡΓΟΠΟΥΛΟΣ Δ., 1993. The distribution of phytoplankton pigments and the fishery of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Hellenic Seas, *Naga (ICLARM Quarterly)* 16, 34-37.
- [10] GARCIA A. & PALOMERA I. 1996. Anchovy early life history and its relation to its surrounding environment in the Western Mediterranean Basin. *Scientia Marina*, 60 (Supl. 2): 155-166.