

ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΥΓΩΝ ΤΟΥ ΚΩΠΗΠΟΔΟΥ *CLAUSOCALANUS FURCATUS* ΣΕ ΜΙΑ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ (ΣΑΡΩΝΙΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ)

Μουτσόπουλος Α.¹, Χρήστου Ε.¹, Ζερβουδάκη Σ.¹, Φραγκούλης Κ.¹, Βερροϊόπουλος Γ.²,
Μήλιου Ε.³

¹ Ινστ. Ωκεανογραφίας, Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών, thanmoutsop@ath.hcmr.gr

² Τμήμα Βιολογίας, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

³ Τμήμα Ζωικής Παραγωγής & Υδατοκαλλιεργειών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Περίληψη

Εκτιμήθηκαν η διατροφή και η παραγωγή αυγών του κωπήποδου *Clausocalanus furcatus* σε μία παράκτια περιοχή του Εσωτερικού Σαρωνικού για μία χρονική περίοδο 6 μηνών (Ιούλιος-Δεκέμβριος 2009). Το *Clausocalanus furcatus* κατανάλωσε από όλες τις διαθέσιμες πηγές τροφής, ήτοι φυτοπλαγκτόν, διάτομα, δινωμαστιγωτά και βλεφαριδωτά. Οι ρυθμοί διατροφής κυμάνθηκαν από 1,0 έως 113,1 % body C d⁻¹. Από τους ρυθμούς διατροφής για τις επιμέρους πηγές τροφής προκύπτει ότι το *Clausocalanus furcatus* καλύπτει τις ημερήσιες ενεργειακές του ανάγκες κυρίως από το φυτοπλαγκτόν, στη συνέχεια από τα βλεφαριδωτά και τέλος από τα δινωμαστιγωτά. Η παραγωγή αυγών εκφρασμένη σε άνθρακα (carbon - specific egg production) παρουσίασε μικρή διακύμανση κατά τη διάρκεια της μελέτης και κυμάνθηκε μεταξύ 12,94 και 36,38 % body C d⁻¹.

Λέξεις κλειδιά: Ζωοπλαγκτόν, βιολογικοί ρυθμοί

Abstract

Feeding and egg production of copepod species *Clausocalanus furcatus* were estimated in a coastal area in inner Saronikos Gulf (Aegean Sea) for a period of 6 months (July-December 2009). *Clausocalanus furcatus* consumed from all the available food sources that is phytoplankton, diatoms, dinoflagellates and ciliates. The ingestion rates ranged from 1,0 to 113,1 % body carbon d⁻¹. Taking into account ingestion rates *Clausocalanus furcatus* for each food source, it appears that *Clausocalanus furcatus* covers its daily carbon feeding demands mainly from phytoplankton, then from ciliates and finally from dinoflagellates. Egg production, expressed in carbon units (carbon - specific egg production) showed small fluctuation throughout the studying period ranging from 12,94 to 36,38 % body C d⁻¹.

Keywords: Zooplankton, biological rates

1. Εισαγωγή

Το κωπήποδο *Clausocalanus furcatus* είναι ένα κοσμοπολίτικο είδος που εντοπίζεται στα επιτελαγικά νερά των υποτροπικών και τροπικών περιοχών του πλανήτη (Frost et al, 1968). Στη Μεσόγειο Θάλασσα απαντάται σε υψηλούς πληθυσμούς κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου (Siokou-Frangou, 1996; Mazzocchi and Ribera d'Alcala, 1995). Οι περισσότερες μελέτες που αφορούν το συγκεκριμένο είδος σχετίζονται με τη χωρική και εποχιακή κατανομή του στα θαλάσσια οικοσυστήματα, ενώ μελέτες που σχετίζονται με βιολογικούς ρυθμούς (π.χ. ρυθμοί διατροφής, παραγωγής, μεταβολισμού) είναι περιορισμένες (Mazzocchi et al 1998, 1999; Bi et al 2006; Cornils et al 2007; Paffenhöfer 2006; Wiggert et al 2005; Zervoudaki et al 2007).

Η διατροφή αποτελεί τον κύριο παράγοντα για τη μεταφορά ενέργειας και ύλης κατά μήκος των τροφικών επιπέδων. Η τροφή που αφομοιώνεται τελικά κατανέμεται για τη διατήρηση των δομών, την αύξηση του οργανισμού και την αναπαραγωγή. Για την εκτίμηση της διατροφής του ζωοπλαγκτού χρησιμοποιούνται συνήθως οι εκφράσεις ρυθμός φιλτραρίσματος (clearance rate, $\text{ml ind}^{-1} \text{d}^{-1}$) και ρυθμός διατροφής (specific ingestion rate ή daily ration, $\% \text{ body C d}^{-1}$). Ο ρυθμός φιλτραρίσματος αυξάνεται καθώς μειώνεται η διαθέσιμη ποσότητα τροφής και πλησιάζει τη μέγιστη τιμή του σε χαμηλές συγκεντρώσεις τροφής. Από άποψη φυσιολογίας, ο μέγιστος ρυθμός φιλτραρίσματος δείχνει το μέγιστο ρυθμό με τον οποίο ένα κωπήποδο μπορεί να προσλάβει ένα συγκεκριμένο τύπο τροφής. Επίσης, ο ρυθμός φιλτραρίσματος αυξάνεται με την αύξηση του μεγέθους της τροφής, επειδή το ποσοστό των κυττάρων που μπορούν να προσληφθούν από το κωπήποδο αυξάνεται όσο αυξάνεται το μέγεθος του κυττάρου (Price & Paffenhöfer 1985). Ο ρυθμός διατροφής αυξάνεται αυξανόμενης της συγκέντρωσης τροφής μέχρι μία μέγιστη τιμή φτάνοντας σε ένα πλατώ, οπότε και παραμένει σταθερός και μέγιστος. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις τροφής η σχέση μεταξύ του ρυθμού διατροφής και της συγκέντρωσης της τροφής είναι γραμμική (Frost 1972). Ο ρυθμός διατροφής, όταν εκφράζεται σε μονάδες άνθρακα, μας επιτρέπει αφενός να συγκρίνουμε την τροφική συμπεριφορά διαφορετικού μεγέθους θηρευτών και αφετέρου να είναι δυνατή η σύγκριση του με άλλους ρυθμούς (π.χ. παραγωγή αυγών), όταν κι εκείνοι είναι επίσης εκφρασμένοι σε άνθρακα. Επίσης, μπορούμε να εκτιμήσουμε την ημερήσια κατανάλωση του πληθυσμού πολλαπλασιάζοντας το ρυθμό διατροφής με τη βιομάζα του πληθυσμού του θηρευτή.

Η παραγωγή αυγών αποτελεί το τμήμα της προσλαμβανόμενης ενέργειας το οποίο τελικά καταλήγει στην αύξηση του πληθυσμού του καταναλωτή. Αποτελεί επίσης, έναν τρόπο για την εκτίμηση της δευτερογενούς παραγωγής σε συνδυασμό με το ρυθμό εκκόλαψης των αυγών. Η έκφραση της σε μονάδες άνθρακα την κάνει συγκρίσιμη με άλλους ρυθμούς εκφρασμένους επίσης σε μονάδες άνθρακα.

2. Υλικά και μέθοδοι

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν ανά δεκαπενθήμερο για το χρονικό διάστημα Ιούνιος – Δεκέμβριος 2009 με ζώα που συλλέχθηκαν από παράκτια περιοχή του Εσωτερικού Σαρωνικού. (Christou 1998) στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος SESAME. Το νερό για τα πειράματα συλλέχθηκε με φιάλη Hydrobios των 2 l από βάθη 2, 5 και 10 m. Ισόποσες ποσότητες νερού από το κάθε βάθος αναμίχθηκαν προσεκτικά και το τελικό μίγμα αποτέλεσε το νερό επώασης. Η συλλογή ζωοπλαγκτού έγινε με πλάγιες σύρσεις ενός διχτυού με μάτι 200 μm (Christou 1998), στην άκρη του οποίου είχε προσαρμοστεί μεγάλος συλλεκτήρας. Το δείγμα ζωοπλαγκτού μεταφερόταν σε ισοθερμικό δοχείο στο εργαστήριο μέσα στην επόμενη μία ώρα μετά τη δειγματοληψία. Στο εργαστήριο γινόταν επιλογή των ενηλίκων θηλυκών του *Clausocalanus furcatus* με τη βοήθεια στερεσκοπίου για την περαιτέρω τοποθέτηση τους σε φιάλες.

Για τη μελέτη της διατροφής, πραγματοποιήθηκαν πειράματα σύμφωνα με τους Bamstedt *et al.* 2000, ταυτόχρονα με τα πειράματα παραγωγής αυγών. Για κάθε πείραμα χρησιμοποιήθηκαν εννέα

φιάλες Nalgene των 1200 ml που περιείχαν φιλτραρισμένο (με δίκτυ με μάτι 150 μm) θαλασσινό νερό. Από τις φιάλες αυτές τρεις χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της αρχικής συγκέντρωσης τροφής (initial - αρχικές), τρεις για την εκτίμηση της μεταβολής της τροφής απουσία ζώων (control – φιάλες ελέγχου) και τρεις για την εκτίμηση της μεταβολής της τροφής παρουσία ζώων (10-12 άτομα ανά φιάλη) (experimental - πειραματικές). Συνολικά, πραγματοποιήθηκαν έντεκα πειράματα διατροφής.

Στο φιλτραρισμένο (με δίκτυ με μάτι 150 μm) θαλασσινό νερό που χρησιμοποιήθηκε στις φιάλες των πειραμάτων υπήρχε και φυτοπλαγκτόν και μικροζωοπλαγκτόν. Την εν δυνάμει τροφή αποτέλεσαν τέσσερις ομάδες οργανισμών: το φυτοπλαγκτόν (εκφρασμένο ως χλωροφύλλη-α), τα διάτομα (ως επιμέρους τμήμα του φυτοπλαγκτού), τα δινομαστιγωτά και τα βλεφαριδωτά.

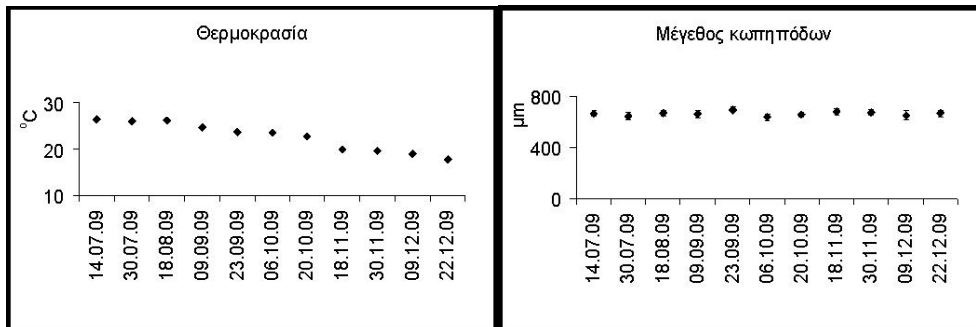
Η χλωροφύλλη-α υπολογίστηκε φθορισμετρικά (Parsons *et al.*, 1984) με τη χρήση φίλτρων GF/F. Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α μετατράπηκε σε μονάδες άνθρακα χρησιμοποιώντας μία αναλογία C:Chl_a = 50 (Peterson & Festa, 1984). Η συγκέντρωση των βλεφαριδωτών, των δινομαστιγωτών και των διατόμων υπολογίστηκε σύμφωνα με τους Sherr and Sherr, 1993.

Οι βιοόγκοι των κυττάρων εκτιμήθηκαν ανάγοντας τα κύτταρα σε κατάλληλα γεωμετρικά σχήματα (Hillebrand *et al.*, 1999) και μετατράπηκαν σε μονάδες άνθρακα χρησιμοποιώντας το συντελεστή μετατροπής, 0,19 pgC/μm³ (Putt & Stoecker, 1989) για τα βλεφαριδωτά, ή κατάλληλες εξισώσεις για τα δινομαστιγωτά και τα διάτομα (Menden-Deuer & Lessard, 2000). Οι ρυθμοί φιλτραρίσματος (clearance rate) και διατροφής (specific ingestion rate) για κάθε τύπο τροφής υπολογίστηκαν σύμφωνα με τις εξισώσεις του Frost (1972), σε εκείνες τις περιπτώσεις όπου η διαφορά στη συγκέντρωση μεταξύ φιαλών ελέγχου και πειραματικών φιαλών ήταν στατιστικά σημαντική (t test, p<0,05).

Για κάθε πείραμα παραγωγής αυγών χρησιμοποιήθηκαν οκτώ φιάλες Nalgene των 620 ml, που περιείχαν φιλτραρισμένο (με δίκτυ με μάτι 60 μm) θαλασσινό νερό από το πεδίο και στις οποίες τοποθετήθηκαν από τέσσερα ενήλικα θηλυκά άτομα. Οι φιάλες επώαστηκαν για 24 ώρες σε συνθήκες θερμοκρασίας και φωτοπεριόδου αντίστοιχες με αυτές του πεδίου. Στο τέλος της επώασης μετρήθηκαν ο αριθμός των αυγών και οι διαστάσεις των ζώων και των αυγών (μήκος κεφαλοθώρακα και διάμετρος αντίστοιχα). Η θνησιμότητα των κωπηπόδων ήταν μηδαμινή (<1%). Υπολογίστηκαν η παραγωγή αυγών (eggs ind⁻¹ d⁻¹) και η ειδική παραγωγή αυγών (% body C d⁻¹). Το περιεχόμενο σε άνθρακα των αυγών υπολογίστηκε θεωρώντας μία περιεκτικότητα ίση με 0,14 pgC/μm³ (Kiorboe *et al.*, 1985) και των ζώων σε άνθρακα χρησιμοποιώντας μία εξίσωση συσχέτισης μήκους κεφαλοθώρακα και άνθρακα (Webber & Roff, 1995). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν δεκατρία πειράματα παραγωγής αυγών.

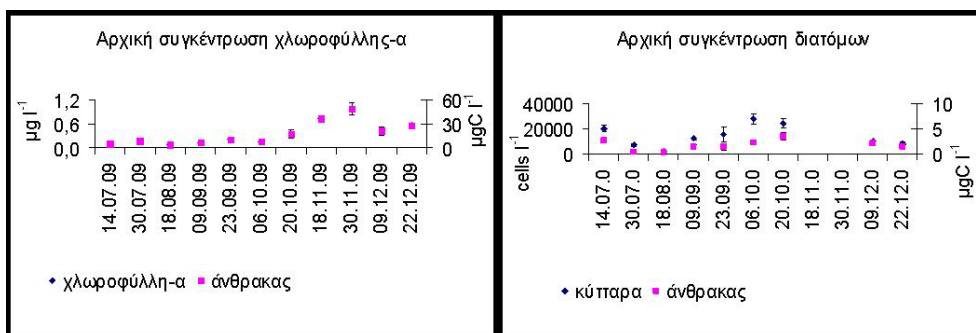
3. Αποτελέσματα - Συζήτηση

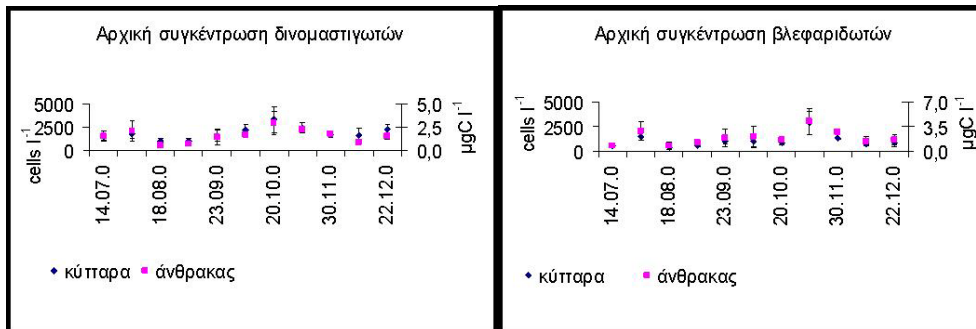
Η θερμοκρασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος κυμάνθηκε από 26,4 έως 17,8 °C παρουσιάζοντας μία συνεχή σταδιακή πτώση στη διάρκεια των πειραμάτων, ενώ το μήκος του κεφαλοθώρακα των ζώων κυμάνθηκε από 637,8 έως 694,7 μm χωρίς να παρουσιάζει ιδιαίτερη διακύμανση (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Θερμοκρασία και μήκος κεφαλοθώρακα των κωπηπόδων κατά την περίοδο μελέτης.

Στις αρχικές συγκεντρώσεις τροφής η αφθονία του φυτοπλαγκτού, εκφρασμένου ως χλωροφύλλη-α, κυμάνθηκε από 0,09 έως 0,97 $\mu\text{g l}^{-1}$, των διατόμων από 2.450,0 ως 1.068.692,7 cells l^{-1} , των δινομαστιγιωτών από 973,3 ως 2.450,0 cells l^{-1} και των βλεφαριδωτών από 396,7 ως 2.896,7 cells l^{-1} (Εικόνα 2). Η μικρότερη συγκέντρωση των διατόμων ήταν στα όρια της μέγιστης συγκέντρωσης των βλεφαριδωτών και των δινομαστιγιωτών. Επίσης, οι δύο μέγιστες τιμές (1.068.697,7 & 182.100,0 cells l^{-1}) οφείλονταν σε πολύ αυξημένη συγκέντρωση κατά τη διάρκεια του Νοεμβρίου των γενών *Chaetoceros sp.* και *Skeletonema sp.* Αγνοώντας τις τιμές αυτές η μέγιστη συγκέντρωση γίνεται έως και 10 φορές μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες τιμές των δύο άλλων κατηγοριών. Οι συγκεντρώσεις των βλεφαριδωτών και των δινομαστιγιωτών ήταν στο ίδιο εύρος τιμών.

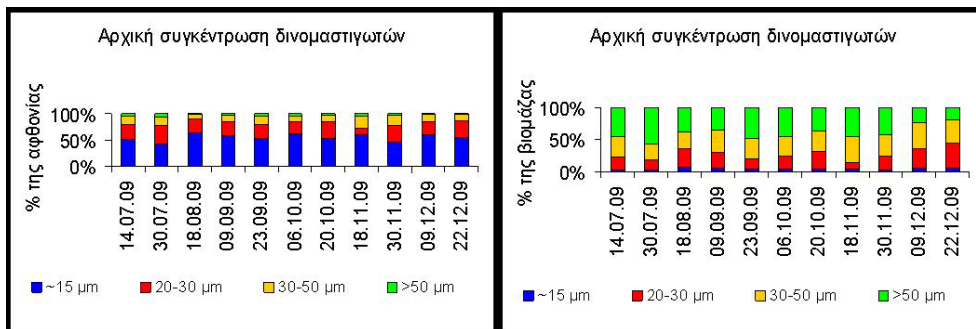




Εικόνα 2: Αρχικές συγκεντρώσεις τροφής: Φυτοπλαγκτόν, διάτομα, δινομαστιγωτά και βλεφαριδωτά.

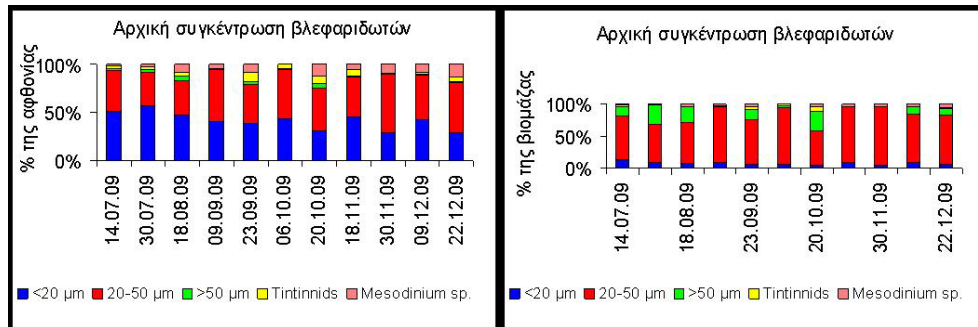
Τα διάτομα διακρίθηκαν σε μεμονωμένα κύτταρα και σε είδη που σχηματίζουν αλυσίδες. Τα είδη που σχηματίζουν αλυσίδες αποτέλεσαν περίπου το 90% της συνολικής αφθονίας.

Τα δινομαστιγωτά διακρίθηκαν σε υποκατηγορίες βάσει του μεγέθους τους (<20, 20-30, 30-50 και >50 µm). Το κλάσμα <50 µm αποτέλεσε περίπου το 90% της αφθονίας των δινομαστιγωτών. (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Συμμετοχή υποκατηγοριών (κλασμάτων) στην αφθονία και βιομάζα των δινομαστιγωτών στις αρχικές συγκεντρώσεις πειραμάτων.

Τα βλεφαριδωτά διακρίθηκαν σε 5 υποκατηγορίες: ολιγότριχα <20 µm, ολιγότριχα 20-50 µm, ολιγότριχα >50 µm, *Tintinnids* και *Mesodinium sp.*, το οποίο είναι αυτότροφο. Τα ολιγότριχα <50µm αποτέλεσαν το αφθονότερο κλάσμα της αφθονίας των βλεφαριδωτών, περίπου 80-90%. (Εικόνα 4).

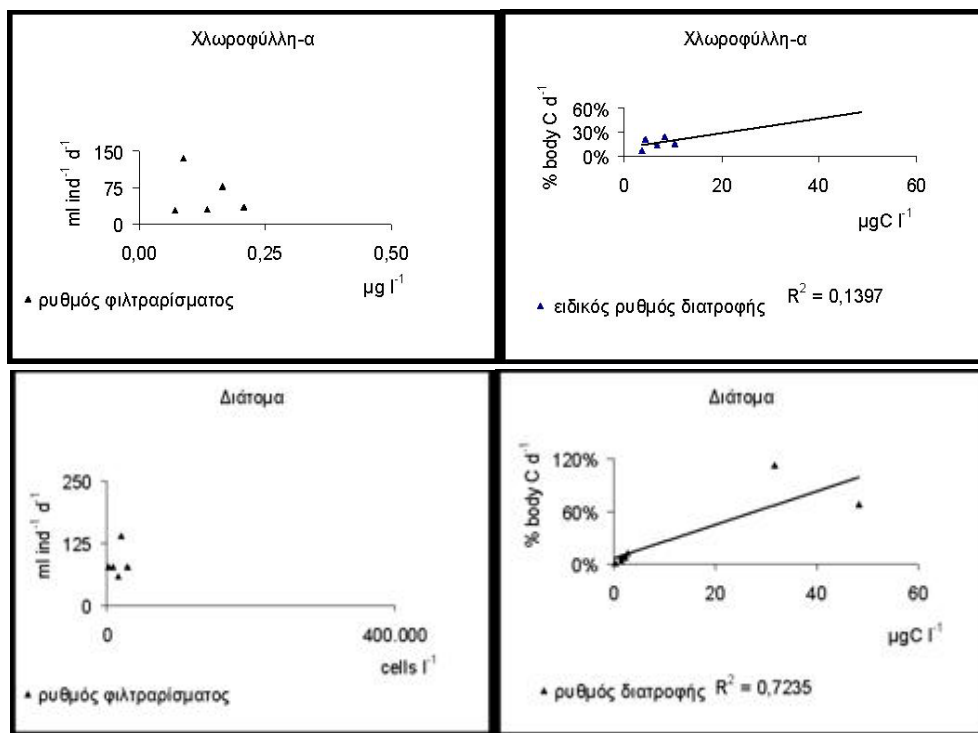


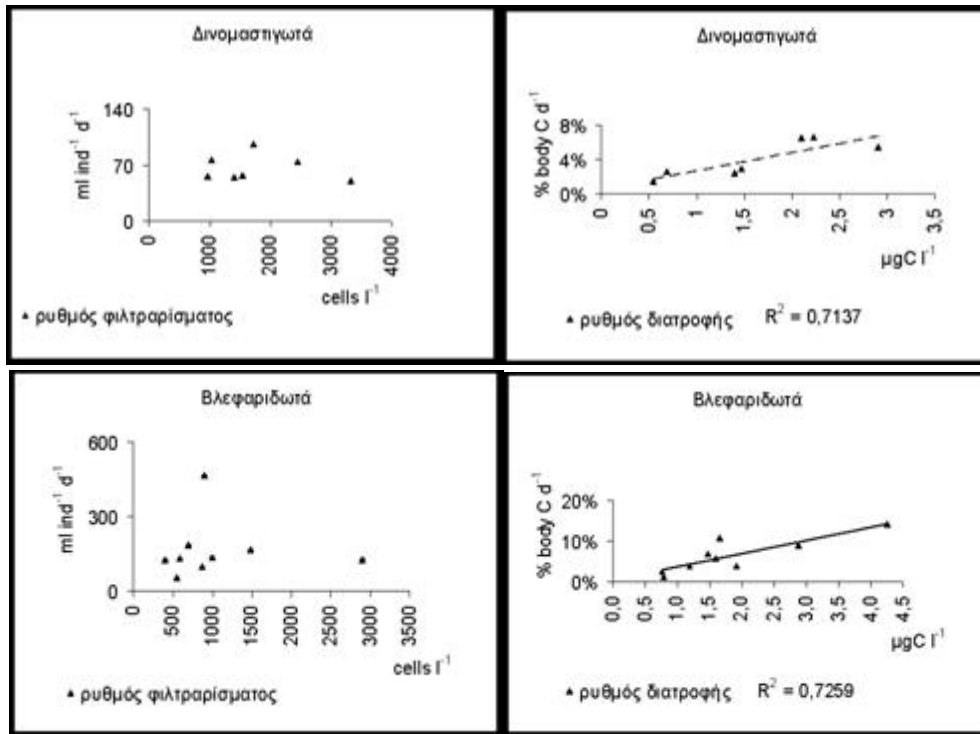
Εικόνα 4: Συμμετοχή υποκατηγοριών (κλασμάτων) στην αφθονία και βιομάζα των βλεφαριδωτών στις αρχικές συγκεντρώσεις πειραμάτων.

Πίνακας 1: Μέσες τιμές των ρυθμών φιλτραρίσματος και διατροφής για τις επιμέρους κατηγορίες διαθέσιμης τροφής (οι τιμές στις παρενθέσεις αντιστοιχούν στις ελάχιστες και μέγιστες τιμές). Όπου (-): μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ πειραματικών μπουκαλιών και μπουκαλιών ελέγχου. Όπου (*): μία τιμή για τη συγκεκριμένη κατηγορία.

	Ρυθμός φιλτραρίσματος ($\text{ml ind}^{-1} \text{d}^{-1}$) mean (min-max)	Ρυθμός διατροφής ($\% \text{body C d}^{-1}$) mean (min-max)
<i>Συνολικά</i>		
Χλωροφύλλη-α	61,0 (28,2-135,1)	16,1 (6,3-24,4)
Διάτομα	75,3 (22,4-139,5)	30,5 (1,0-113,5)
Δινομαστιγωτά	66,4 (49,7-96,5)	4,0 (1,5-6,7)
Βλεφαριδωτά	166,4 (55,9-465,2)	6,3 (1,2-14,1)
<i>Διάτομα (Υποκατηγορίες)</i>		
Σχηματίζοντα αλυσιδές	91,1 (22,6-196,3)	24,0 (0,8-90,5)
Μεμονωμένα κύτταρα	(-)	(-)
<i>Δινομαστιγωτά (Υποκατηγορίες)</i>		
<20 μm	61,4 (44,1-76,3)	0,13 (0,09-0,21)
20-30 μm	95,3 (74,4-127,5)	1,0 (0,6-1,8)
30-50 μm	105,7 (70,6-140,3)	1,6 (0,7-3,1)
>50 μm	146,3 (101,4-191,3)	4,1 (2,0-6,2)
<i>Βλεφαριδωτά (Υποκατηγορίες)</i>		
Ολιγότριχα <20 μm	195,9 (120,2-417,0)	0,9 (0,4-1,8)
Ολιγότριχα 20-50 μm	203,6 (78,5-476,6)	5,4 (1,3-14,9)
Ολιγότριχα >50 μm	(-)	(-)
<i>Tintinnids</i>	166,2*	0,4*
<i>Mesodinium sp.</i>	185,9 (90,2-253,8)	0,4 (0,2-0,5)

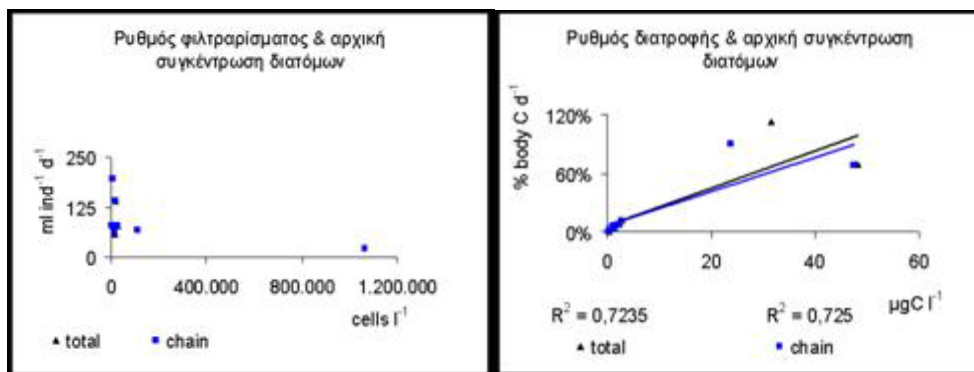
Οι ρυθμοί φιλτραρίσματος φυτοπλαγκτού και διατόμων ήταν παρόμοιοι. Ο ρυθμός φιλτραρίσματος δινομαστιγωτών εμφάνισε μικρότερο εύρος σε σχέση με τον αντίστοιχο των βλεφαριδωτών και οι τιμές του ήταν κοντά στις χαμηλές τιμές των βλεφαριδωτών. Η ελάχιστη τιμή του ρυθμού διατροφής διατόμων ήταν κοντά στις αντίστοιχες των δινομαστιγωτών και των βλεφαριδωτών σε αντίθεση με τη μέγιστη τιμή η οποία ήταν κατά πολύ μεγαλύτερη. Το κατώτερο όριο των ρυθμών διατροφής δινομαστιγωτών και βλεφαριδωτών ήταν παρόμοιο, αλλά η μέγιστη τιμή των βλεφαριδωτών ήταν σχεδόν διπλάσια από την αντίστοιχη των δινομαστιγωτών. (Πίνακας 1).

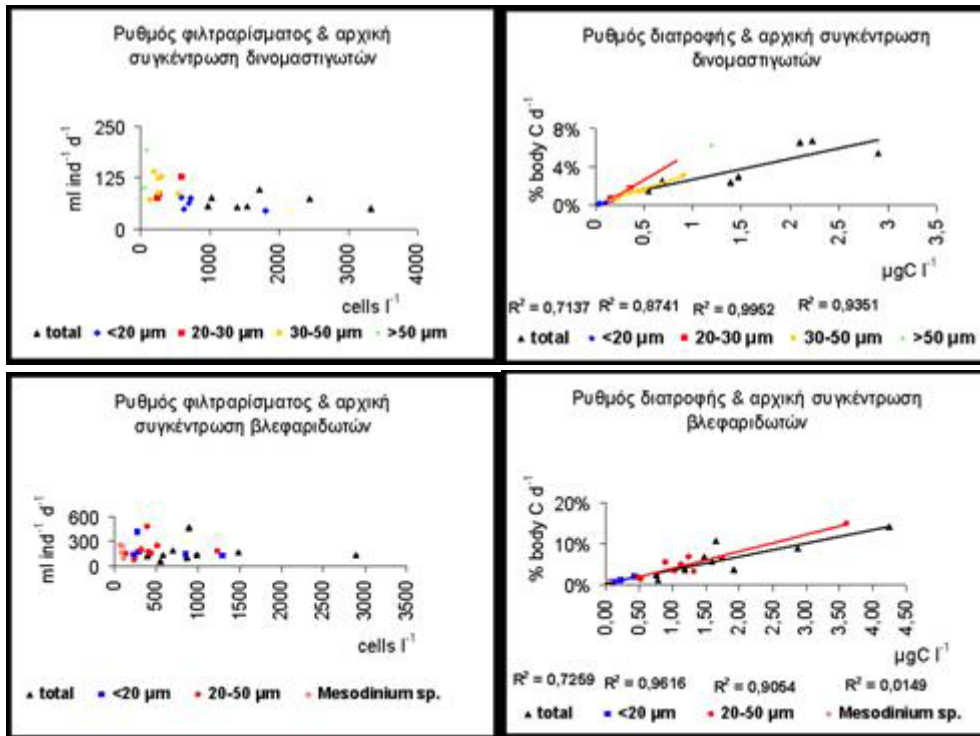




Εικόνα 5: Ρυθμοί φιλτραρίσματος και διατροφής σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση τροφής για τους διαφορετικούς τύπους τροφής (φυτοπλαγκτόν, διάτομα, δινομασιγωτά και βλεφαριδιωτά).

Δεν παρατηρήθηκε διαφορά στους ρυθμούς φιλτραρίσματος και διατροφής για τις υποκατηγορίες των διαθέσιμων τύπων τροφής. Για τα διάτομα οι ρυθμοί εκτιμήθηκαν μόνο για την ομάδα των διατόμων που σχηματίζουν αλυσίδες, που αποτέλεσαν και το μεγαλύτερο ποσοστό.





Εικόνα 6: Ρυθμοί φιλτραρίσματος (αριστερή στήλη) και ρυθμοί διατροφής (δεξιά στήλη) σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση τροφής για όλες τις υποκατηγορίες τροφής: διάτομα (πρώτη σειρά), δινομαστιγωτά (δεύτερη σειρά), βλεφαριδιωτά (τρίτη σειρά).

Φαίνεται ότι το *Clausocalanus furcatus* τρέφεται με όλους τους διαθέσιμους τύπους τροφής.

Ο ρυθμός φιλτραρίσματος δεν παρουσίασε συσχέτιση με τις αρχικές συγκεντρώσεις τόσο για τις διαφορετικές ομάδες όσο και τις επιμέρους κατηγορίες της κάθε ομάδας (Εικόνες 5 & 6). Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι οι αρχικές συγκεντρώσεις ήταν χαμηλές οπότε και οι εκτιμηθέντες ρυθμοί αντιστοιχούν στους μέγιστους ρυθμούς (Forst, 1972).

Οι ρυθμοί φιλτραρίσματος του φυτοπλαγκτού ήταν αυξημένοι παρόλο που οι ρυθμοί διατροφής ήταν παρόμοιοι με τη βιβλιογραφία (Broglia *et al* 2004), κάτι που βρίσκεται σε συμφωνία με τις χαμηλές συγκεντρώσεις της διαθέσιμης τροφής στην παρούσα μελέτη.

Σχετικά με τα δινομαστιγωτά, οι τιμές του ρυθμού φιλτραρίσματος είναι μέσα στις τιμές που έχουν υπολογιστεί σε άλλες μελέτες και στις οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί είτε καλλιέργειες κυττάρων είτε φυσικοί πληθυσμοί (Mazzocchi and Paffenhöfer, 1998; Mazzocchi and Paffenhöfer, 1999; Batten *et al* 2001).

Έχει παρατηρηθεί αύξηση του ρυθμού φιλτραρίσματος αυξανόμενου του μεγέθους της τροφής (Bergreen *et al.* 1988), κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι το ποσοστό των κυττάρων που

προσλαμβάνονται ενεργά αυξάνεται όσο αυξάνεται ο όγκος του κυττάρου (Price & Paffenhöfer 1985), κάτι που φάνηκε και στην παρούσα μελέτη για τα δινομαστιγωτά.

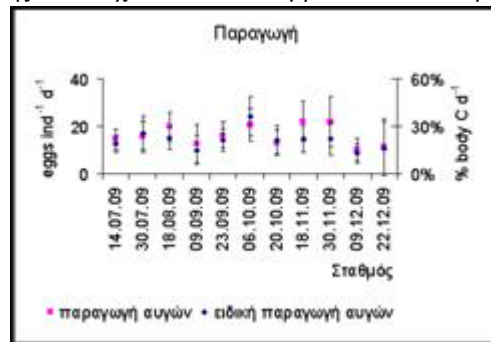
Ο ρυθμός διατροφής κυμάνθηκε από 1%-30%, με εξαίρεση την περίοδο που παρατηρήθηκε αυξημένη συγκέντρωση διατόμων οπότε έφτασε 113%. Οι τιμές αυτές είναι παρόμοιες και ελαφρώς υψηλότερες από αυτές που έχουν βρεθεί σε άλλες μελέτες (Paffenhöfer et al, 2006; Broglio et al 2004; Cornils et al, 2007). Απο τον Πίνακα 1 προκύπτει, ότι το φυτοπλαγκτόν (συμπεριλαμβανομένων των διατόμων) καταναλώνεται έως 30% ακολουθούν τα βλεφαριδωτά (6,5%) και στη συνέχεια τα δινομαστιγωτά (4%).

Γενικά, οι ρυθμοί διατροφής παρουσίασαν συσχέτιση με τις αρχικές συγκεντρώσεις τροφής για όλους τους τύπους τροφής του Πίνακα 1, εκτός από τη χλωροφύλλη-α και το *Mesodinium sp.* (Εικόνες 5 & 6). Αυτή η συσχέτιση αποδίδεται στις σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις της διαθέσιμης τροφής της παρούσας μελέτης (Frost, 1972).

Η ασυμφωνία που παρατηρήθηκε στους ρυθμούς διατροφής διατόμων και χλωροφύλλης-α οφειλόταν στο γεγονός, ότι δεν υπήρξαν σε όλα τα πειράματα στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των φιαλών ελέγχου και πειραματικών φιαλών (t test, $p < 0,05$).

Το *Clausocalanus furcatus* κατανάλωσε όλα τα διαθέσιμα μεγέθη τροφής, κάτι που είναι σε συμφωνία και με άλλες μελέτες (Paffenhöfer et al 1999, Cornils et al 2007).

Τέλος, η παραγωγή αυγών κυμάνθηκε από 10,0 έως 22,1 eggs ind⁻¹ d⁻¹, ενώ η ειδική παραγωγή από 12,94 to 36,38 % body C d⁻¹ (Εικόνα 7). Επίσης, φάνηκε να παρουσιάζει κάποια περιοδικότητα αυξομειώσεως που δείχνει να επαναλαμβάνεται κάθε περίπου 15 ημέρες.



Εικόνα 7: Παραγωγή του κωπηπόδου *Clausocalanus furcatus*.

Οι εκτιμηθείσες τιμές ήταν κοντά στις ανώτερες αντίστοιχες τιμές στο Βόρειο Αιγαίο (Zervoudaki et al, 2007) και στον Κόλπο του Μεξικού (Bi et al, 2006). Αν και έχει παρατηρηθεί συσχέτιση της παραγωγής αυγών με το μήκος του κεφαλοθώρακα (Halsband & Hirche 2001) και τη θερμοκρασία (Runge 1985; Huntley & Lopez 1992; Hirst & Kiørboe 2002) και του μήκους του κεφαλοθώρακα με τη θερμοκρασία (Halsband & Hirche 2001), στην παρούσα εργασία η παραγωγή δε συσχετίστηκε με καμία από τις παραπάνω παραμέτρους (θερμοκρασία, μέγεθος ζώου) μεμονωμένα, ούτε και το μέγεθος του ζώου από τη θερμοκρασία. Επίσης, δεν υπήρξε

συσχέτιση με τους ρυθμούς διατροφής. Ιδιαίτερα για τη χλωροφύλλη-α δεν έχει παρατηρηθεί συσχέτιση και σε άλλες εργασίες (Halsband & Hirche 2001; Niehoff *et al.* 2002; Cornils *et al.* 2007). Το παραπάνω αποτελεί ένδειξη ότι η παραγωγή ίσως να μην επηρεάζεται από τη διαθεσιμότητα τροφής και ότι τα κωπήποδα του γένους *Clausocalanus* είναι ικανά να αναπαράγονται αποτελεσματικά σε συνθήκες με σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις τροφής. Λαμβάνοντας υπόψη α) ότι το μέγεθος των ζώων δεν παρουσίασε ιδιαίτερη μεταβολή, β) ότι η θερμοκρασία μειωνόταν σταδιακά καθόλη τη διάρκεια των πειραμάτων, γ) ότι η διαθέσιμη τροφή ήταν στις περισσότερες περιπτώσεις παρόμοια και δ) ότι η παραγωγή παρουσίασε κάποια «δεκαπενθήμερη» περιοδικότητα, η έλλειψη συσχέτισης πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι έχουμε να κάνουμε με έναν φυσικό πληθυσμό ήδη προσαρμοσμένο στις συνθήκες του περιβάλλοντος.

Η απουσία επιλεκτικότητας στην διατροφή, όταν υπάρχουν χαμηλές συγκεντρώσεις τροφής, έχει αναφερθεί και σε άλλες εργασίες (Poulet 1978; Huntley 1981). Η αξιοποίηση όλων των διαθέσιμων τροφών που φάνηκε στην παρούσα μελέτη αποδίδεται σε προσαρμογή του *Clausocalanus furcatus* σε ολιγοτροφικά περιβάλλοντα και ευνοϊκό παράγοντα για την επιβίωση και διαιώνιση των οργανισμών. Αυτό προκύπτει και από την παρούσα εργασία, όπου το *Clausocalanus furcatus* αφενός κατανάλωσε από όλους τους τύπους τροφής και όλα τα μεγέθη και αφετέρου προσαρμόστηκε με αυξημένη κατανάλωση διατόμων, όταν η συγκέντρωσή τους αυξήθηκε σημαντικά σε δύο χρονικές περιόδους. Η δυνατότητα κατανάλωσης διαφορετικών τύπων τροφής ίσως αποτελεί έναν από τους παράγοντες για τους οποίους το γένος *Clausocalanus* έχει εποικίσει επιτυχώς τροπικές και υποτροπικές περιοχές (Frost & Fleminger 1968).

Συνολικά, το *Clausocalanus furcatus* φαίνεται ότι χρησιμοποιεί αποτελεσματικά όλες τις διαθέσιμες πηγές τροφής γεγονός που σχετίζεται με καλή προσαρμογή στις ολιγοτροφικές συνθήκες. Παράλληλα, εκμεταλλεύεται και παροδικές αυξήσεις στη συγκέντρωση της διαθέσιμης τροφής, όπως συνέβη την περίοδο του Νοεμβρίου όπου υπήρξε αύξηση των διατόμων *Chaetoceros sp.* και *Skeletonema sp.*. Η παραγωγή φάνηκε να μην επηρεάζεται από παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, το μέγεθος του ζώου και η κατανάλωση τροφής.

4. Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια υποτροφίας εκπόνησης διδακτορικής διατριβής από το ερευνητικό πρόγραμμα S.E.S.A.M.E. (υποστηριζόμενο από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή). Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον Ζούλια Θ. για την πολύτιμη βοήθεια του στις δειγματοληψίες στο πεδίο.

5. Βιβλιογραφικές αναφορές

- Båmsted, U., Gifford, D.J., Irigoien, X., Atkinson, A., Roman, M., 2000. Feeding. In: Harris, R., Wiebe, P., Lenz, J., Skjoldal, H.R., et al (Eds.), ICES Zooplankton Methodology Manual. Academic Press, London, pp. 297-399.
- Batten, S.D., Fileman, E.S., Halvorsen, E., 2001. The contribution of microzooplankton to the diet of mesozooplankton in an upwelling filament of the north west coast of Spain. Prog. Oceanography, 51: 385-398.

- Bergreen, U., Hansen, B., Kjørboe, T., 1988. Food size spectra, ingestion and growth of the copepod *Acartia tonsa* during development: implications for determination of copepod production. *Marine Biology*, 99: 341-352.
- Bi, H., Benfield, M.C., 2006. Egg production rates and stage-specific development times of *Clausocalanus furcatus* (Copepoda, Calanoida) in the northern Gulf of Mexico, *J Plankton Res.* 28(12): 1199-1216.
- Broglio, E., Saiz, E., Calbet, A., Trepato, I., Alcaraz, M., 2004. Trophic impact and prey selection by crustacean zooplankton on the microbial communities of an oligotrophic coastal area (NW Mediterranean Sea). *Aquat Microb Ecol*, 35: 65-78.
- Cornils, A., Niehoff, B., Richter, C., Al-Najjar, T., Schnack-Schiel, S.B., 2007. Seasonal abundance and reproduction of clausocalanid copepods in the northern Gulf of Aqaba (Red Sea). *J Plankton Res*, 29(1): 57–70.
- Cornils, A., Schnack-Schiel, S.B., Böer, M., Graeve, M., Struck, U., Al-Najjar, T., Richter, C., 2007. Feeding of Clausocalanids (Calanoida, Copepoda) on naturally occurring particles in the northern Gulf of Aqaba (Red Sea). *Marine Biology*, 151:1261–1274.
- Christou, E.D., 1998. Interannual variability of copepods in a Mediterranean coastal area (Saronikos Gulf, Aegean Sea). *J. Mar. Sys.*, 15: 523-532
- Frost, B.W., 1972. Effect of size and concentration of food particles on the feeding behaviour of the marine planktonic copepod *Calanus pacificus*. *Limnology and Oceanography*, 17: 805–815.
- Frost, B.W., Fleminger, A., 1968. A revision of the genus *Clausocalanus* (Copepoda: Calanoida) with remarks on distributional patterns in diagnostic characters. *Bull. of the Scripps Instit. of Oceanography*, 12: 1-235.
- Halsband, C., Hirche, H.J., 2001. Reproductive cycle of dominant calanoid copepods in the North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 209: 219-229.
- Hillebrand, H., Durselen, C.D., Pollinger, U., Zohary, T., 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J Phycol*, 35: 403-424.
- Hirst, A.G., and Kjørboe, T., 2002. Mortality in marine planktonic copepods: Global rates and patterns. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 230: 195-209.
- Huntley, M.E., and Lopez, M.D.G., 1992. Temperature dependent production of marine copepods: a global synthesis. *Am. Natur.*, 140: 201-242.
- Kjørboe, T., Mohlenberg, F., Riisgard, H.U., 1985. *In situ* feeding rates of planktonic copepods: A comparison of four methods. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 88: 67-81.
- Mazzocchi, M.G., Paffenhöfer, G.A., 1998. First observations on the biology of *Clausocalanus furcatus* (Copepoda, Calanoida). *J Plankton Res*, 20: 331–342.
- Mazzocchi, M.G., Paffenhöfer, G.A., 1999. Swimming and feeding behavior of the planktonic copepod *Clausocalanus furcatus*, *J Plankton Res.* 21:1501–1518.
- Mazzocchi, M.G., Ribera d'Alcala, M., 1995. Recurrent patterns in zooplankton structure and succession in a variable coastal environment. *ICES J. Mar. Sci.* 52: 679-691.
- Menden-Deuer, S., Lessard, E.J., 2000. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton. *Limnology and Oceanography*, 45: 569–579.
- Niehoff, B., Schnack-Schiel, S.B., Cornils, A., Brichta, M., 2002. Reproductive activity of two dominant Antarctic copepod species, *Metridia gerlachei* and *Ctenocalanus citer*, in late autumn in the eastern Bellingshausen Sea. *Polar Biol.*, 18:180-192.
- Paffenhöfer, G.A., 2006. Oxygen consumption in relation to motion of marine planktonic copepods. *Mar Ecol Prog Ser*, 317: 187–192.
- Parsons, T.R., Maita, Y., Lalli, C.M., 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford, 187pp.
- Peterson, D.H., Festa, J.F., 1984. Numerical simulation of phytoplankton productivity in partially mixed estuaries. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, 19: 563-589.
- Poulet, S.A., 1978. Comparison between five coexisting species of marine copepods feeding on naturally particulate matter. *Limnol. Oceanogr.* 23: 1126-1143.
- Price H.J., Paffenhöfer, G.A., 1985. Perception of food availability by calanoid copepods. *Archiv für Hydrobiologie, Beiheft Ergebnisse der Limnologie.* 21: 115-124.

- Putt, M., Stoecker, D.K., 1989. An experimentally determined carbon volume ratio for marine oligotrichous ciliates from estuarine and coastal waters. *Limnology and Oceanography*, 34: 1097–1103.
- Runge, J.A., 1985. Egg production rates of *Calanus finmarchicus* in the Sea of Nova Scotia. *Arch. Hydrobiologia*, 21:33-40.
- Sherr, B.F., Sherr, E.B., 1993. Preservation and storage of samples for enumeration of heterotrophic protists. In *Handbook of methods in aquatic microbial ecology*. Pp. 207-212.
- Siokou-Frangou, I. (1996) Zooplankton annual cycle in a Mediterranean coastal area. *J. Plankton Res.*, 18: 203-223.
- Webber, M.K., Roff, J.C., 1995. Annual biomass and production of the oceanic copepod community off Discovery Bay, Jamaica. *Marine Biology*, 123: 481-495.
- Wiggert, J.D., Haskell, A.G.E., Paffenhöfer, G.A., Hofmann, E.E., Klinck, J.M. 2005. The role of feeding behavior in sustaining copepod populations in the tropical ocean. *J Plankton Res.* 27(10): 1013–1031.
- Zervoudaki, S., Christou, E.D., Nielsen, T.G., Siokou-Frangou, I., Assimakopoulou, G., Giannakourou, A., Maar, M., Pagou, K., Krasakopoulou, E., Christaki, U., Moraitou-Apostolopoulou, M., 2007. The importance of small-sized copepods in a frontal area of the Aegean Sea. *J Plankton Res.* 29(4): 317–338.