

南海北部浮游桡足类对浮游植物的摄食压力

张武昌¹, 陶振铎^{1,2}, 孙 军¹, 孙 松^{1,*}

(1. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境重点实验室, 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 于 2004 年 2 月 (冬季) 和 8 月 (夏季) 在南海北部使用肠道色素法研究了浮游桡足类群落对浮游植物现存量的摄食压力。将底到表垂直拖网 (网孔径 200 μm) 获得的桡足类分为中型 (>500 μm) 和小型 (200 ~ 500 μm) 两个体长组。冬季: 中型桡足类的丰度为 103 ~ 2343 (平均 633) ind/m^3 , 肠道色素为 0.15 ~ 2.71 (平均 1.31) ng/ind , 肠道排空率为 0.011 (A4) ~ 0.019 (C1) min^{-1} , 个体摄食率为 3.13 ~ 58.48 (平均 28.36) $\text{ng}/(\text{ind}\cdot\text{d})$, 群落摄食率为 1902 ~ 62369 (平均 18679) $\text{ng}/(\text{d}\cdot\text{m}^3)$, 对浮游植物生物量的摄食压力为每天 0.25% ~ 6.39% (平均 3.04%)。小型桡足类的丰度为 418 ~ 6250 (平均 1691) ind/m^3 , 肠道色素为 0.18 ~ 3.44 (平均 1.19) ng/ind , 肠道排空率为 0.012 (A4) ~ 0.016 (C1) min^{-1} , 个体摄食率为 3.67 ~ 70.04 (平均 24.34) $\text{ng}/(\text{ind}\cdot\text{d})$, 群落摄食率为 1540 ~ 158561 (平均 44227) $\text{ng}/(\text{d}\cdot\text{m}^3)$, 对浮游植物生物量的摄食压力为每天 0.44% ~ 15.70% (平均 6.59%)。浮游桡足类群体对浮游植物生物量的摄食压力为每天 1.02% ~ 20.10% (平均 9.63%)。夏季: 中型桡足类的丰度为 111 ~ 1298 (平均 621) ind/m^3 , 肠道色素分别为 0.22 ~ 1.58 (平均 1.03) ng/ind , 肠道排空率为 0.017 min^{-1} , 个体摄食率为 5.52 ~ 39.92 (平均 25.95) $\text{ng}/(\text{ind}\cdot\text{d})$, 群落摄食率为 4411 ~ 26667 (平均 12878) $\text{ng}/(\text{d}\cdot\text{m}^3)$, 对浮游植物生物量的摄食压力为每天 0.23% ~ 6.52% (平均 2.52%)。小型桡足类的丰度为 756 ~ 8804 (平均 2990) ind/m^3 , 肠道色素含量为 0.09 ~ 2.92 (平均 0.87) ng/ind , 肠道排空率为 0.020 min^{-1} , 个体摄食率为 2.73 ~ 87.77 (平均 26.26) $\text{ng}/(\text{ind}\cdot\text{d})$, 群落摄食率为 9309 ~ 139817 (平均 47191) $\text{ng}/(\text{d}\cdot\text{m}^3)$, 对浮游植物生物量的摄食压力为 0.86% ~ 37.79% (平均 10.99%)。浮游桡足类群体对浮游植物生物量的摄食压力为 1.09% ~ 39.95% (平均 13.51%)。数据表明 2 月份和 8 月份桡足类群体对浮游植物现存量的摄食压力较低, 桡足类摄食不是南海北部浮游植物死亡的主要原因。

关键词: 浮游桡足类; 摄食压力; 肠道色素法; 南海

文章编号: 1000-0933 (2007)10-4342-07 中图分类号: Q178.53, Q958.885.3 文献标识码: A

Copepod grazing pressure on phytoplankton in northern South China Sea

ZHANG Wu-Chang¹, TAO Zhen-Cheng^{1,2}, SUN Jun, SUN Song^{1,*}

1 Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China

2 Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Acta Ecologica Sinica 2007, 27 (10): 4342 ~ 4348.

Abstract: To evaluate the role of planktonic copepods in the carbon cycling in northern South China Sea, using gut pigment method, copepod grazing pressure on phytoplankton stock was studied during 10 February — 6 March representative of winter and 26 August — 6 September representative of summer, 2004 in northern South China Sea (110.99 — 116.79°E, 18.48 — 23.12°N). Zooplankton samples were towed in duplicate with a net in 200 μm mesh at each station. One set of the samples was fixed to determine copepod abundance; another set was classified into large, medium and small size groups in 1000,

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (90211021); 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目 (KZCX2-YW-213-3)

收稿日期: 2006-08-26; 修订日期: 2007-03-21

作者简介: 张武昌 (1973 ~) 男, 山东济南人, 博士, 主要从事海洋浮游动物生态学研究. E-mail: wuchangzhang@ms.qdio.ac.cn

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: sunsong@ms.qdio.ac.cn

Foundation item: This work was financially supported by the Key Project of National Natural Science Foundation of China (No. 90211021); the Knowledge Innovation Program of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX2-YW-213-3)

Received date: 2006-08-26; **Accepted date:** 2007-03-21

Biography: ZHANG Wu-Chang, Ph. D, mainly engaged in marine pelagic zooplankton ecology. E-mail: wuchangzhang@ms.qdio.ac.cn

500 μm and 200 μm respectively. The contents of copepod guts, gut evacuation rate and gut pigment content were determined except for the large group because of insufficient statistical amount.

Results show that in winter, gut pigment content, gut evacuation rate, individual grazing rate and abundance of medium copepods were 0.15 – 2.71 ng/ind, 0.011 – 0.019 min^{-1} , 3.13 – 58.48 ng/(ind·d), 103 – 2343 ind/ m^3 , respectively; and the medium copepod grazed at rate of 1902 – 62369 ng/(d· m^3), which in other words, exerted daily grazing pressure at 0.25% – 6.39% on phytoplankton living stock. Similarly, those of small copepods were 0.18 – 3.44 ng/ind, 0.012 – 0.016 min^{-1} , 3.67 – 70.04 ng/(ind·d), 418 – 6250 ind/ m^3 , respectively; and the small group grazed at rate of 1540 – 158561 ng/(d· m^3), or 0.44% – 15.70% per day on the stock. Altogether, the daily grazing pressure of the copepod community (medium and small) on the phytoplankton stock was 1.02% – 20.10%.

In summer, gut pigment content, gut evacuation rate, individual grazing rate and abundance of medium copepods were 0.22 – 1.58 ng/ind, 0.017 min^{-1} , 5.52 – 39.92 ng/(ind·d), 111 – 1298 ind/ m^3 , respectively; and the medium copepod grazed at rate of 4411 – 26667 ng/(d· m^3) or daily 0.23% – 6.52% on the stock. Similarly, the corresponding values for the small group copepods were 0.09 – 2.92 ng/ind, 0.020 min^{-1} , 2.73 – 87.77 ng/(ind·d), 756 – 8804 ind/ m^3 , respectively, and they grazed at rate of 9309 – 139817 ng/(d· m^3), or alternatively, a daily grazing pressure of 0.86% – 37.79% on the stock. The combined daily grazing pressure from copepod community (medium and small groups) on the stock was 1.09% – 39.95%.

No seasonal variety of copepod grazing pressure on stock was observed between the two seasons. The grazing pressure by copepod therefore should not have been the main cause of phytoplankton loss.

Key Words : copepod ; grazing pressure ; gut pigment method ; South China Sea

浮游动物是海洋初级生产的主要消费者和高层捕食者的重要饵料来源,它的摄食情况和数量变动将直接影响海洋生态系统的能流和物流过程^[1-3]。

浮游动物对浮游植物的摄食作用是海洋浮游生态系统动力学研究的关键过程之一。量化不同大小浮游动物对浮游植物的摄食压力,对了解浮游动物对浮游植物的调控作用,探讨海洋初级产品的流向及归宿十分必要。在海洋碳循环中,生物泵在碳从海洋表层向深层运输的过程中起着重要作用,浮游植物将碳从溶解态转化为颗粒态,浮游动物将小颗粒的浮游植物转化为大颗粒,而浮游动物对浮游植物的摄食量决定了可以沉降的大颗粒的数量。因而,研究浮游动物的现场摄食率对了解海洋生态系统的动态变化以及对理解碳的循环具有重要意义。

桡足类是浮游动物的优势类群,是浮游食物网的重要组成部分,其生物量约占浮游动物生物量的80%^[4]。南海北部是珠江的入海口,珠江水携带大量营养盐入海,使得这一海区的浮游植物繁盛,初级生产力高,是碳通量的活跃区域。本文在南海研究了浮游桡足类对浮游植物现存量的摄食压力,是国家自然科学基金重点基金“南海基础生产力结构的物理——生物海洋学耦合过程及其对碳循环的影响”研究的一部分。

1 材料和方法

本研究在两个航次(冬季航次和夏季航次)完成。冬季航次的调查时间为2004年2月10日~3月6日,搭乘“延平2号”,在南海北部接近垂直于海岸线设A, B, C, D 4个断面(A, B, C, D)。夏季航次的调查时间为2004年8月26日~9月6日,搭乘“中国海监72号”,设S1和S2断面,S2断面站位和D断面相同,只是用了不同的编号(图1)。

在每个采样站位,用CTD测量温度和盐度剖面,在不同的水层测量叶绿素a浓度等环境因子。于每站位不同标准层各取500 ml水样,样品立即用中性福尔马林固定。实验室内样品按Utermohl方法^[5]分析。

在冬季航次,肠道色素采样的站位有13个(A1, A4, A8, A9, B2, B4, C1, C3, C5, C7, D1, D4, D6)。在A4(2月27日19:00), C1(2月20日18:00)站进行肠道排空率测定,在计算摄食量和摄食压力时取两者的平

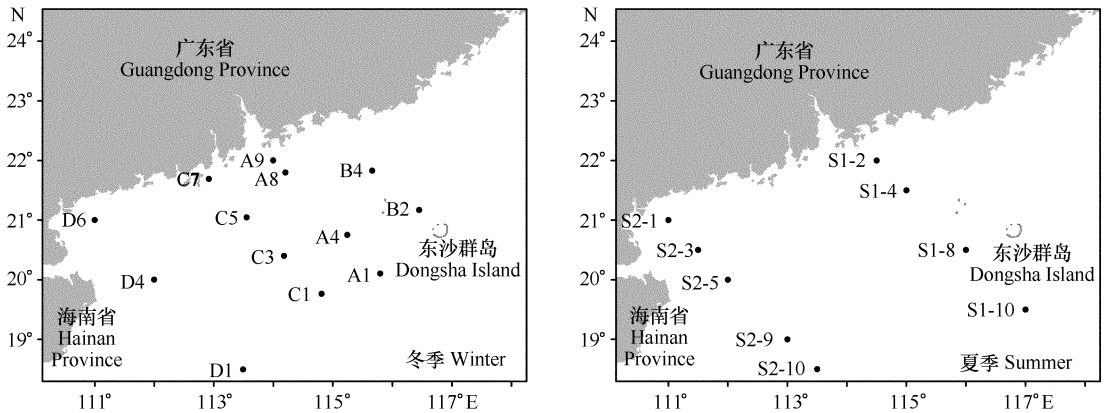


图1 桡足类肠道色素采样站位图

Fig. 1 Station positions where gut pigment contents were determined

均值。在夏季航次 肠道色素采样站位有 9 个 (S1-2, S1-4, S1-8, S1-10, S2-1, S2-3, S2-5, S2-9, S2-10) 在 S1-8 站 (9 月 4 日早 6 点) 进行肠道排空率测定。

桡足类肠道色素含量 (以叶绿素 a 为指标) 按 Mackas^[6] 进行。用孔径为 200 μm 的浮游生物网从底 (水深大于 200 m 时, 从 200 m 深度拖网) 到表垂直拖网两次。第一次拖网的样品用甲醛固定, 置于样品瓶中保存, 回实验室, 将甲醛固定的样品依次过滤到孔径 1000、500、200 μm 的分样筛上, 鉴定各个粒级的桡足类的优势种和总的丰度。第二次拖网的样品用于测定肠道色素含量, 网底管中的浮游动物倒入苏打海水的烧杯中麻醉。然后分级过滤到 1000、500、200 μm 的分样筛上, 挑出大型的胶质动物 (如水母等), 用过滤海水 (0.45 μm GF/F 滤膜滤过) 冲洗浮游动物, 然后将分样筛上的样品反冲出来, 过滤到 GF/C 滤膜上, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰冻保存。

肠道排空率 (r) 测定实验操作如下。垂直拖网, 将样品平均分配到盛有 2 L 过滤海水的烧杯中, 在 0 (开始), 10, 20, 30, 60, 90 min 时, 各取一只烧杯, 将烧杯中的桡足类依次过滤到 1000、500 μm 和 200 μm 的分样筛上, 按肠道色素样品处理。排空率按 Mackas^[6] 的方法来计算。在没有饵料的情况下, 桡足类自然群体肠道色素以指数形式排空, $G_t = G_0 \times e^{-rt}$ (G_0 : 排空率实验开始时的肠道色素含量, G_t : t 时刻的肠道色素含量)。冬季航次在 A4 和 C1 两个站测定了肠道排空率, 在计算冬季的摄食量和摄食压力时取两者的平均值。

经过分样筛后, 存留到孔径为 1000 μm 的分样筛上的桡足类很少, 不足以用来测定肠道色素, 因此本文中只有中型 (500 ~ 1000 μm) 和小型 (200 ~ 500 μm) 两个体长组。

在实验室内, 在暗光条件下随机挑取桡足类。研磨后, 放置在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱的黑暗环境中, 用 90% 丙酮萃取 24h。用 Turner Designs II 荧光计测定样品中的叶绿素 a (Chl a) 和脱镁叶绿素 a (Ph a) 含量。桡足类肠道色素 (G) 是肠道内叶绿素 a 和脱镁叶绿素 a 之和, 因为脱镁叶绿素 a 是由叶绿素 a 降解而来, 所以肠道色素用肠道中相当于叶绿素 a 的质量来表示。脱镁叶绿素 a 的分子量是叶绿素 a 分子量的 0.6633 倍, 所以

$$G = \text{Chl a} + \text{Ph a} / 0.6633$$

桡足类对浮游植物的摄食率按 Mackas^[6] 的方法来计算, 根据肠道排空率和各站位的肠道色素含量计算出单个桡足类摄食浮游植物 (以叶绿素 a 为指标) 的量 (I), 公式为 $I = G \times r$ 。根据各站位不同粒级桡足类的丰度和单个桡足类的摄食量计算桡足类群体的摄食量。根据群体的摄食量和浮游植物的现存量计算桡足类群体对浮游植物的摄食压力。

2 结果

2.1 环境因子

冬季表层温度 15.6 ~ 24.5 $^{\circ}\text{C}$, 盐度 31.18 ~ 34.77。夏季表层温度 27.5 ~ 30.1 $^{\circ}\text{C}$, 盐度 24.79 ~ 34.00。

2.2 浮游植物

冬季表层叶绿素 a 浓度为 0.1 ~ 1.8 $\mu\text{g/L}$, 水体叶绿素 a 浓度为 0.13 ~ 1.53 (平均 0.56) $\mu\text{g/L}$ 。浮游植

物以硅藻为主,甲藻次之,以颗石粒藻为主要组分的金藻和固氮蓝藻也占有相当的比例,而绿藻仅在珠江口个别站位被检出。浮游植物细胞丰度介于 $0.247 \sim 2159.937 \times 10^3$ cells/L,平均值为 58.711×10^3 cells/L。

夏季表层叶绿素 a 浓度为 $0.07 \sim 15.5 \mu\text{g/L}$,水体叶绿素 a 浓度 $0.21 \sim 3.07$ (平均 0.85) $\mu\text{g/L}$ 。浮游植物群落物种组成主要为硅藻,浮游植物平均细胞丰度为 $(115.05 \pm 438.89) \times 10^3$ cells/L。

2.3 浮游桡足类的丰度及其摄食压力

两个航次中桡足类肠道色素和群体的摄食压力分别列于表 1 和表 2。在冬季,中型桡足类的优势种为中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*)、真刺水蚤属幼体 (*Euchaeta copepodites*)、狭额真哲水蚤 (*Subeucalanus subtenuis*)

表 1 冬季肠道色素和浮游桡足类对叶绿素现存量的摄食压力

Table 1 Copepod gut pigment contents and grazing pressure on Chl a stock

站位 Station	Chl a	中型 Medium					小型 Small					Total GP
		G	GR	A	CGR	GP	G	GR	A	CGR	GP	
A1	0.17	0.16	3.55	536	1902	1.12%	0.27	5.50	1259	6929	4.08%	5.19%
A4	0.18	1.99	43.04	260	11191	6.39%	1.81	36.90	550	20294	11.60%	17.99%
A8	1.53	2.55	55.14	1131	62369	4.08%	3.44	70.04	2264	158561	10.36%	14.44%
A9	0.59	2.71	58.48	444	25967	4.40%	2.91	59.22	1564	92613	15.70%	20.10%
B2	0.13	1.64	35.45	143	5070	3.87%	0.77	15.79	515	8131	6.21%	10.08%
B4	0.29	0.15	3.13	629	1971	0.69%	0.45	9.19	1034	9507	3.32%	4.01%
C1	0.35	2.00	43.20	510	22032	6.31%	0.30	6.16	1331	8201	2.35%	8.66%
C3	0.24	1.09	23.60	152	3588	1.49%	1.74	35.49	418	14836	6.16%	7.64%
C5	0.79	0.20	4.22	459	1937	0.25%	0.96	19.49	1341	26142	3.33%	3.57%
C7	1.04	1.03	22.34	2343	52338	5.04%	0.81	16.50	3906	64459	6.21%	11.25%
D1	0.29	0.58	12.61	473	5967	2.04%	0.73	14.96	1137	17011	5.83%	7.87%
D4	0.35	0.91	19.70	103	2029	0.58%	0.18	3.67	420	1540	0.44%	1.02%
D6	1.45	2.05	44.25	1050	46463	3.20%	1.15	23.48	6250	146727	10.12%	13.32%

Chl a : 水体平均叶绿素浓度 ($\mu\text{g/L}$); G : 肠道色素含量 (ng/ind); GR : 个体摄食率 ($\text{ng}/(\text{ind} \cdot \text{d})$); A : 丰度 (ind/m^3); CGR : 群体摄食率 ($\text{ng}/(\text{d} \cdot \text{m}^3)$); GP : 对浮游植物现存量的摄食压力; Total GP : 中型和小型桡足类对浮游植物现存量的摄食压力 Chl a : column average chlorophyll a concentration ($\mu\text{g/L}$); G : Gut pigment concentration (ng/ind); GR : Grazing rate of individual copepod ($\text{ng}/(\text{ind} \cdot \text{d})$); A : abundance of copepods (ind/m^3); CGR : Grazing rate of copepod community ($\text{ng}/(\text{d} \cdot \text{m}^3)$); GP : Grazing pressure of copepods of either medium or small copepods; Total GP : Grazing pressure of both medium and small copepods

表 2 夏季肠道色素和浮游桡足类对叶绿素现存量的摄食压力 (表中符号的含义同表 1)

Table 2 Copepod gut pigment contents and grazing pressure on Chl a stock (meanings of the symbols as in Table 1)

站位 Station	Chl a	中型 Medium					小型 Small					总计 Total GP
		G	GR	A	CGR	GP	G	GR	A	CGR	GP	
S1-2	0.85	1.09	27.49	970	26667	3.14%	0.34	10.27	5145	52851	6.22%	9.35%
S1-4	0.94	0.67	16.99	573	9733	1.04%	0.09	2.73	3414	9309	0.99%	2.03%
S1-8	0.37	1.11	27.89	167	4658	1.26%	2.92	87.77	1593	139817	37.79%	39.05%
S1-10	0.28	1.58	39.92	111	4411	1.58%	1.16	34.91	1060	36994	13.21%	14.79%
S2-1	3.07	0.22	5.52	1298	7163	0.23%	0.10	2.98	8804	26257	0.86%	1.09%
S2-3	1.30	0.72	18.22	1187	21630	1.66%	0.44	13.35	3500	46718	3.59%	5.26%
S2-5	0.33	1.39	34.99	615	21517	6.52%	1.64	49.47	1687	83456	25.29%	31.81%
S2-9	0.21	0.91	22.91	372	8521	4.06%	0.50	14.96	952	14243	6.78%	10.84%
S2-10	0.36	1.57	39.59	293	11601	3.22%	0.66	19.94	756	15071	4.19%	7.41%

等,中型桡足类的丰度为 103 ~ 2343 (平均 633) ind/m³,肠道色素为 0.15 ~ 2.71 (平均 1.31) ng/ind,肠道排空率为 0.011 (A4) ~ 0.019 (C1) min⁻¹,个体摄食率为 3.13 ~ 58.48 (平均 28.36) ng/(ind·d),群落摄食率为 1902 ~ 62369 (平均 18679) ng/(d·m³),对浮游植物生物量的摄食压力为每天 0.25% ~ 6.39% (平均 3.04%)。小型桡足类的优势种为小拟哲水蚤 (*Paracalanus parvus*)、弓角基齿水蚤 (*Clausocalanus arcuicornis*)、长尾基齿水蚤 (*Clausocalanus furcatus*)、不明桡足类幼体、长腹剑水蚤 (*Oithona* spp.)、隆剑水蚤 (*Oncaea* spp.) 等。小型桡足类的丰度为 418 ~ 6250 (平均 1691) ind/m³,肠道色素为 0.18 ~ 3.44 (平均 1.19) ng/ind,肠道排空率为 0.012 (A4) ~ 0.016 (C1) min⁻¹,个体摄食率为 3.67 ~ 70.04 (平均 24.34) ng/(ind·d),群落摄食率为 1540 ~ 158561 (平均 44227) ng/(d·m³),对浮游植物生物量的摄食压力为每天 0.44% ~ 15.70% (平均 6.59%)。浮游桡足类群体对浮游植物生物量的摄食压力为每天 1.02% ~ 20.10% (平均 9.63%)。

在夏季,中型桡足类的优势种为微刺哲水蚤 (*Canthocalanus pauper*)、小哲水蚤 (*Nannocalanus minor*)、狭额真哲水蚤 (*S. subtenuis*)、亚强真哲水蚤 (*Subeucalanus subcrassus*)、真刺水蚤属幼体 (*Euchaeta copepodites*)。中型桡足类的丰度为 111 ~ 1298 (平均 621) ind/m³,肠道色素分别为 0.22 ~ 1.58 (平均 1.03) ng/ind,肠道排空率为 0.017 min⁻¹,个体摄食率为 5.52 ~ 39.92 (平均 25.95) ng/(ind·d),群落摄食率为 4411 ~ 26667 (平均 12878) ng/(d·m³),对浮游植物生物量的摄食压力为每天 0.23% ~ 6.52% (平均 2.52%)。小型桡足类的优势种为小拟哲水蚤 (*P. parvus*)、锥形宽水蚤 (*Temora turbinata*)、柱形宽水蚤 (*T. stylifera*)、异尾宽水蚤 (*T. discaudata*)、不明桡足类幼体、长腹剑水蚤 (*Oithona* spp.)、隆剑水蚤 (*Oncaea* spp.) 等。小型桡足类的丰度为 756 ~ 8804 (平均 2990) ind/m³,肠道色素含量为 0.09 ~ 2.92 (平均 0.87) ng/ind,肠道排空率为 0.020 min⁻¹,个体摄食率为 2.73 ~ 87.77 (平均 26.26) ng/(ind·d),群落摄食率为 9309 ~ 139817 (平均 47191) ng/(d·m³),对浮游植物生物量的摄食压力为 0.86% ~ 37.79% (平均 10.99%)。浮游桡足类群体对浮游植物生物量的摄食压力为 1.09% ~ 39.95% (平均 13.51%)。

3 讨论

肠道色素法是国际上经常使用的研究桡足类的摄食的方法^[7-9]。在我国渤海^[10,11]、黄海和东海^[2,12,13]、南海^[4,15]都有使用肠道色素法研究浮游桡足类摄食的文献。大多数研究将桡足类分为 >1000 μm, 500 ~ 1000 μm 和 200 ~ 500 μm 3 个体长组,本文的研究中发现 >1000 体长组个体少,测定肠道色素不成功,因此只保留了 500 ~ 1000 μm 和 200 ~ 500 μm 两个体长组。李超伦和王荣在莱州湾的研究也使用这两个体长组^[10]。

在使用肠道色素法时,有两个因素会影响对桡足类摄食量的估计:(1)肠道色素的降解,即叶绿素在桡足类的肠道中降解成非荧光物质,从而影响对摄入的浮游植物的估计。文献中色素降解的比例为 0 ~ 99%^[11],本文没有测定色素降解的情况。(2)肠道色素的周日变化问题。浮游桡足类有摄食节律,一般夜间摄食活跃,因此肠道色素含量较大,白天摄食较弱,肠道色素含量较小^[11,16]。本文没有测定肠道色素的周日变化。

本文中中型桡足类的排空率为 0.011 ~ 0.019 min⁻¹,小型桡足类的排空率为 0.012 ~ 0.020 min⁻¹。李超伦等^[13]在黄、东海研究表明,中型和小型桡足类的排空率分别为 0.017 ~ 0.035 min⁻¹和 0.015 ~ 0.031 min⁻¹。李超伦等^[10]在渤海莱州湾的研究表明,中型和小型桡足类的排空率分别为 0.022 ~ 0.034 min⁻¹和 0.027 ~ 0.038 min⁻¹,本文的排空率偏低。

本文得出桡足类对浮游植物叶绿素现存量的摄食压力在冬季和夏季两个航次分别为平均 9.63% 和 13.51%。这个数值与文献报道的其他海区和季节的结果(表 3)相近。例如,在黄、东海春季 6.4% ~ 21.5% 的浮游植物现存量被桡足类摄食,秋季这个比例为 1.4% ~ 15.4%^[13]。在渤海莱州湾 7 月桡足类群体对浮游植物现存量的摄食压力为 2.53% ~ 6.36%^[10]。春季东北大西洋桡足类对浮游植物现存量的摄食压力为 3.6% ~ 11.5%^[17]。在寡营养海区,从春季水华期浮游动物的摄食占初级生产力的 17% 到夏季的 1.4%^[18]。

表 3 我国海区用肠道色素法得出的桡足类对浮游植物现存量摄食压力比较

Table 3 Comparison of copepod grazing pressure on phytoplankton studied using gut pigment method in China seas

海区 Sea area	时间 Time	G		排空率 Gut evacuation rate		GP Average	文献 References
		中型 Medium	小型 Small	中型 Medium	小型 Small		
渤海莱州湾 Laizhou Bay, Bohai	7 月 July	0.32 ~ 6.13	0.07 ~ 2.74	0.022 ~ 0.034	0.027 ~ 0.038	2.53% ~ 6.36%	[10]
Bohai Sea	April/May 1999					3.0% ~ 37.1% (11.9%)	[10]
	September/October 1998					2.0% ~ 11.6% (6.3%)	
黄、东海 Yellow Sea and East China Sea	春季 Spring	0.75 ~ 5.30	0.20 ~ 1.58	0.017 ~ 0.027	0.015 ~ 0.029	6.4% ~ 21.5% (11.2%)	[12]
	秋季 Autumn	0.27 ~ 3.41	0.11 ~ 1.95	0.020 ~ 0.035	0.019 ~ 0.031	1.4% ~ 15.4% (6.1%)	
东海 East China Sea	春季 Spring	0.24 ~ 6.47	0.17 ~ 2.33	/	/	/	[2]
	秋季 Autumn	0.55 ~ 4.75	0.53 ~ 2.65	0.008 ~ 0.011	0.011 ~ 0.014	/	
Pearl River Estuarine , South China Sea	Summer 1999 , Winter 2000					< 0.3% ~ 75%	[14]
三亚湾 Sanya Bay , South China Sea	2000 年 11 月 November 2000					22.31% ± 18.92%	[15]
南海北部 Northern South China Sea	2 月 February	0.15 ~ 2.55	0.18 ~ 3.44	0.011 ~ 0.019	0.012 ~ 0.016	1.02% ~ 20.10% (9.63%)	本文 This study
	9 月 September	0.22 ~ 1.58	0.10 ~ 2.92	0.017	0.02	1.09% ~ 39.95% (13.51%)	

References :

- [1] Atkinson A. Subantarctic copepods in an oceanic, low chlorophyll environment: ciliate predation food selectivity and impact on prey populations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1996, 130: 85-96.
- [2] Wang R, Fan C. Copepod feeding activities and its contribution to downwards vertical flux of carbon in the East China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1997, 28 (6): 579-587.
- [3] Liu S, Wang W X. Feeding and reproductive responses of marine copepods in South China Sea to toxic and nontoxic phytoplankton. *Mar. Biol.*, 2002, 140: 595-603.
- [4] Verity P, Smetacek V. Organism life cycles, predation, and the structure of marine pelagic ecosystems. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 1996, 130: 277-293.
- [5] Sun J, Liu D Y, Qian S B. A quantitative research and analysis method for marine phytoplankton: An introduction to Utermöhl method and its modification. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas*, 2002, 20 (2): 105-112.
- [6] Mackas D, Bohrer R. Fluorescence analysis of zooplankton gut contents and an investigation of diel feeding patterns. *J. of Experimental Mar. Biol. Ecol.*, 1976, 25: 77-85.
- [7] Li C, Wang K. Feeding ecology progress of the herbivorous copepod. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (4): 593-596.
- [8] Tsuda A, Saito H, Nishioka J, et al. Mesozooplankton responses to iron-fertilization in the western subarctic Pacific (SEEDS2001). *Progress in Oceanography*, 2005, 64 (2-4): 237-251.
- [9] Calbet A. Mesozooplankton grazing effect on primary production: A global comparative analysis in marine ecosystems. *Limnol. Oceanogr.*, 2001, 46 (7): 1824-1830.
- [10] Li C, Wang R. Copepods feeding activities in the Laizhou Bay, Bohai Sea, in summer. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, 31 (1): 15-22.
- [11] Li C, Wang R, Sun S. Grazing impact of copepods on phytoplankton in the Bohai Sea. *Eustuarine Coastal and Shelf Science*, 2003, 58: 487-498.
- [12] Li C, Zuo T, Wang R. A study on grazing of planktonic copepods in the Yellow Sea and East China Sea I. Population abundance and gut pigment contents. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, (Special Issue for China GLOBEC Zooplankton Population Dynamics Research): 100

—110.

- [13] Li C, Wang R, Zhang F, *et al.* A study on grazing of planktonic copepods in the Yellow Sea and East China Sea II. Ingestion rate and grazing impact. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, (Special Issue for China GLOBEC Zooplankton Population Dynamics Research): 111—119.
- [14] Tan Y, Huang L, Chen Q, *et al.* Seasonal variation in zooplankton composition and grazing impact on phytoplankton standing stock in the Pearl River Estuary, China. *Continental Shelf Research*, 2004, 24: 1949—1968.
- [15] Tan Y, Huang L, Dong J, Wang H, Song X. Species composition of copepods and feeding impact on phytoplankton. *Journal of Tropical Oceanography*, 2004, 23 (5): 17—24.
- [16] Besiktepe S, Svetlichny L, Yuneva T, *et al.* Diurnal gut pigment rhythm and metabolic rate of *Calanus euxinus* in the Black Sea. *Mar. Biol.*, 2005, 146: 1189—1198.
- [17] Head R N, Harris R P, Bonnet D, *et al.* A comparative study of size-fractionated mesozooplankton biomass and grazing in the North East Atlantic. *J. Plank Res.*, 1999, 21: 2285—2308.
- [18] Roman M R, Dam H G, Gauzens A L, *et al.* Zooplankton biomass and grazing at the JGOFS Sargasso Sea time series station. *Deep-Sea Res. Part I*, 1993, 40: 883—901.

参考文献:

- [2] 王荣, 范春雷. 东海浮游桡足类的摄食活动及其对垂直碳通量的贡献. *海洋与湖沼*, 1997, 28 (6): 579~587.
- [5] 孙军, 刘东艳, 钱树本. 一种海洋浮游植物定量研究分析方法——Utermöhl 方法的介绍及其改进. *黄渤海海洋*, 2002, 20 (2): 105~112.
- [7] 李超伦, 王克. 植食性浮游桡足类摄食生态学研究进展. *生态学报*, 2002, 22 (4): 593~596.
- [10] 李超伦, 王荣. 莱州湾夏季浮游桡足类的摄食研究. *海洋与湖沼*, 2000, 31 (1): 15~22.
- [12] 李超伦, 左涛, 王荣. 黄、东海浮游桡足类摄食研究 I. 群体数量和肠道色素含量. *海洋与湖沼*, 2002, 浮游动物研究专辑: 100~110.
- [13] 李超伦, 王荣, 张芳, 等. 黄、东海浮游桡足类摄食研究 II. 摄食率及摄食压力. *海洋与湖沼*, 2002, 浮游动物研究专辑: 111~119.
- [15] 谭焯辉, 黄良民, 董俊德, 等. 三亚湾秋季桡足类分布与种类组成及对浮游植物现存量的摄食压力. *热带海洋学报*, 2004, 23 (5): 17~24.