

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第7期 Vol.31 No.7 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 7 期 2011 年 4 月 (半月刊)

目次

川南天然常绿阔叶林人工更新后土壤氮库与微生物的季节变化·····	龚伟,胡庭兴,王景燕,等 (1763)
IBIS 模拟东北东部森林 <i>NPP</i> 主要影响因子的敏感性·····	刘曦,国庆喜,刘经纬 (1772)
不同坡位沙棘光合日变化及其主要环境因子·····	靳甜甜,傅伯杰,刘国华,等 (1783)
氮、硫互作对克隆植物互花米草繁殖和生物量累积与分配的影响·····	甘琳,赵晖,清华,等 (1794)
海岛棉和陆地棉叶片光合能力的差异及限制因素·····	张亚黎,姚贺盛,罗毅,等 (1803)
遮荫对连翘光合特性和叶绿素荧光参数的影响·····	王建华,任士福,史宝胜,等 (1811)
3 种木本植物在铅锌和铜矿砂中的生长及对重金属的吸收·····	施翔,陈益泰,王树凤,等 (1818)
施氮水平对小麦籽粒谷蛋白大聚合体粒径分布的调控效应·····	王广昌,王振林,崔志青,等 (1827)
强光下高温与干旱胁迫对花生光系统的伤害机制·····	秦立琴,张悦丽,郭峰,等 (1835)
环境因子和干扰强度对高寒草甸植物多样性空间分异的影响·····	温璐,董世魁,朱磊,等 (1844)
利用 CASA 模型模拟西南喀斯特植被净第一性生产力·····	董丹,倪健 (1855)
北京市绿化树种紫玉兰的蒸腾特征及其影响因素·····	王华,欧阳志云,任玉芬,等 (1867)
平衡施肥对缺磷红壤性水稻土的生态效应·····	陈建国,张杨珠,曾希柏,等 (1877)
冬小麦种植模式对水分利用效率的影响·····	齐林,陈雨海,周勋波,等 (1888)
黄土高原冬小麦地 N_2O 排放·····	庞军柱,王效科,牟玉静,等 (1896)
花前渍水预处理对花后渍水逆境下扬麦 9 号籽粒产量和品质的影响·····	李诚永,蔡剑,姜东,等 (1904)
低硫氮比酸雨对亚热带典型树种气体交换和质膜的影响·····	冯丽丽,姚芳芳,王希华,等 (1911)
夹竹桃皂甙对福寿螺的毒杀效果及其对水稻幼苗的影响·····	戴灵鹏,罗蔚华,王万贤 (1918)
海河流域景观空间梯度格局及其与环境因子的关系·····	赵志轩,张彪,金鑫,等 (1925)
中国灌木林-经济林-竹林的生态系统服务功能评估·····	王兵,魏江生,胡文 (1936)
城郊过渡带湖泊湿地生态服务功能价值评估——以武汉市严东湖为例·····	王凤珍,周志翔,郑忠明 (1946)
黄河三角洲植物生态位和生态幅对物种分布-多度关系的解释·····	袁秀,马克明,王德 (1955)
基于景观可达性的广州市林地边界动态分析·····	朱耀军,王成,贾宝全,等 (1962)
红脂大小蠹传入中国危害特性的变化·····	潘杰,王涛,温俊宝,等 (1970)
基于线粒体 <i>Cyt b</i> 基因的西藏马鹿种群遗传多样性研究·····	刘艳华,张明海 (1976)
不同干扰下荒漠啮齿动物群落多样性的多尺度分析·····	袁帅,武晓东,付和平,等 (1982)
秦岭鼯鼠的洞穴选择与危害防控·····	鲁庆彬,张阳,周材权 (1993)
京杭运河堤坝区域狗獾的栖息地特征·····	殷宝法,刘宇庆,刘国兴,等 (2002)
专论与综述	
微生物胞外呼吸电子传递机制研究进展·····	马晨,周顺桂,庄莉,等 (2008)
厌氧氨氧化菌脱氮机理及其在污水处理中的应用·····	王惠,刘研萍,陶莹,等 (2019)
问题讨论	
海河流域森林生态系统服务功能评估·····	白杨,欧阳志云,郑华,等 (2029)
研究简报	
体重和盐度对中国蛤蚧耗氧率和排氨率的影响·····	赵文,王雅倩,魏杰,等 (2040)
虾塘养殖中后期微型浮游动物的摄食压力·····	张立通,孙耀,赵从明,等 (2046)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 290 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-04	

封面图说:日斜茅荆坝·河北茅荆坝——地处蒙古高原向华北平原过渡地带的暖温带落叶阔叶林,色彩斑斓,正沐浴着晚秋温暖的阳光。

彩图提供:国家林业局陈建伟教授 E-mail: cites.chenjw@163.com

虾塘养殖中后期微型浮游动物的摄食压力

张立通^{1,2}, 孙耀^{2,*}, 赵从明³, 王彦怀³, 谭孟龙³

(1. 中国海洋大学化学化工学院, 青岛 266003; 2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071;
3. 天津立达海水资源开发有限公司, 天津 300280)

摘要: 2008年8月底到10月初, 用现场稀释法对虾塘中 ≤ 200 、 ≤ 100 μm 和 ≤ 20 μm 3个粒级的微型浮游动物对浮游植物的摄食压力进行了研究。共进行了3次培养实验, 结果表明: 浮游植物的生长率为 $0.0834 - 0.4498/\text{d}$, 微型浮游动物的摄食率为 $0.1212 - 0.2998/\text{d}$, 微型浮游动物摄食率对浮游植物生长率比值($g:k$)为 $0.4271 - 3.4901$, 占浮游植物现存量的 $11.41\% - 25.90\%$, 对初级生产力的摄食压力为 $48.20\% - 314.69\%$ 。 ≤ 20 μm 微型浮游动物的摄食率、对浮游植物现存量 and 初级生产力的摄食压力, 占微型浮游动物(≤ 200 μm)的相关比例范围为 $73.85\% - 97.69\%$ 、 $76.67\% - 97.91\%$ 、 $78.87\% - 98.59\%$ 。这表明 ≤ 20 μm 微型浮游动物比 ≥ 20 μm 的微型浮游动物在对虾养殖中后期虾塘能量流动和物质循环方面起到更重要的作用。

关键词: 微型浮游动物; 浮游植物; 摄食压力; 虾塘养殖中后期

Study on microzooplankton grazing in shrimp pond among middle and late shrimp culture period

ZHANG Litong^{1,2}, SUN Yao^{2,*}, ZHAO Congming³, WANG Yanhuai³, TAN Menglong³

1 College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China

2 Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China

3 Lida Seawater Resource Development Ltd. in Tianjin, Tianjin 300280, China

Abstract: Phytoplankton growth and microzooplankton herbivory studies in three size fractions (≤ 20 , ≤ 100 , ≤ 200 μm) were studied using the *in situ* dilution technique from the end of August to the beginning of October in 2008 in a shrimp pond in Tianjin, China. Waters used in the dilution incubations were mixed waters sampled from four points in the pond: the inlet, outlet and middle points of both sides of the square-shaped pond. The waters were filtered through meshes with aperture sizes of 20, 100 μm and 200 μm to make sized fractionated waters as ≤ 20 , ≤ 100 μm and ≤ 200 μm . PFW (particle-free water) was used to dilute the size fractionated waters to four dilution series of 0%, 25%, 50%, 75%. The microzooplankton grazing rate and phytoplankton growth rate were estimated by the linear regression of AGR (apparent growth rate) versus d (dilution factor). Microzooplankton grazing impact on phytoplankton was estimated by calculating phytoplankton net growth rate, percentage of phytoplankton standing stock ingested, percentage of primary production ingested. The coupling between microzooplankton grazing rate (g) and phytoplankton growth rate (k) was demonstrated with the ratio $g:k$.

Chlorophyll *a* concentrations varied widely ($32.41 - 50.83$ $\mu\text{g/L}$) in 31 August, 19 September and 3 October. Smaller phytoplankton (≤ 20 μm) consistently dominated the phytoplankton communities in the whole culture time, contributing over 90% of chlorophyll *a* biomass of ≤ 200 μm . Phytoplankton growth rates of 3 dilution incubations were 0.0834 to $0.4498/\text{d}$. Microzooplankton grazing rates changed from 0.1212 to $0.2998/\text{d}$. The ratio of $g:k$ was 0.4271 to 3.4901 . Microzooplankton grazing pressure on the phytoplankton initial stock and primary production varied from 11.41% to 25.90% and 48.20% to 314.69% , respectively. In the 19 September, microzooplankton grazing rates reached the

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(2006AA10Z415)

收稿日期: 2010-03-03; 修订日期: 2010-06-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sunyao@ysfri.ac.cn

maximum value, followed by microzooplankton grazing pressure on the phytoplankton initial stock and primary production. But microzooplankton grazing pressure on phytoplankton primary production was too high, and the ratio of $g:k$ varied widely. This was because that phytoplankton may not adapt to the environment to grow slowly and even die, while the microzooplankton grazing rate showed the relatively higher value, with rainfall increasing but temperature decreasing in coming autumn. Compared with the other regions around the world, the microzooplankton grazing pressure in shrimp pond was in the middle of the range of measurements elsewhere. The coupling between microzooplankton grazing and phytoplankton growth was good.

In the same group, microzooplankton grazing rates, microzooplankton grazing pressure on the phytoplankton initial stock and primary production changed slightly. $\leq 20 \mu\text{m}$ microzooplankton grazing rates, grazing pressure on the phytoplankton initial stocks and primary production contributed 73.85%—97.69%, 76.67%—97.91%, 78.87%—98.59% of microzooplankton ($\leq 200 \mu\text{m}$), respectively. These results showed that small-celled microzooplankton ($\leq 20 \mu\text{m}$) was ubiquitous and played more important role in energy transmission and nutrients regeneration in the middle and late shrimp culture period of shrimp pond.

Key Words: microzooplankton; phytoplankton; grazing pressure; the middle and late shrimp culture period of shrimp pond

虾塘水体的浮游动物是对虾的饵料基础,又在水体生态系统物质循环和能量流动中扮演着重要角色,所以浮游动物与池塘水质、生态系统内的物流、能流关系密切,其生长速率和对浮游植物的摄食压力同样会影响对虾的生长和系统的生产性能。微型浮游动物在水体生态系统中有重要作用,有研究证实,微型浮游动物消耗水体初级生产力高达 75%,消耗浮游植物现存量高达 65%^[1]。

微型浮游动物是指体长小于 200 μm 的浮游动物,它包括了数量大,在食物网中非常活跃的纤毛虫、鞭毛虫和甲壳类的浮游幼体,是小型细菌、微微型浮游植物与大中型浮游动物的营养中介^[2],在生态系统能量流动和物质循环中扮演着重要角色。自 1982 年 Landry 和 Hassett 提出稀释法研究海洋微型浮游动物的摄食影响以来,外国学者已经在世界许多海域进行了广泛深入的研究工作^[3-7]。中国浮游动物摄食研究起步较晚,但是中国学者在中国近海的研究^[8-10]极大地推动了我国微型浮游动物对浮游植物的摄食研究工作。

小细胞浮游生物和小型有机体是营养层的持续动力。它们在微食物网能量流动和物质循环中扮演着比大型浮游生物更重要的作用。中、外学者在世界许多海域进行了微型浮游动物、植物的分粒级研究^[11-14],验证了这一事实。但是,还没有将该理念应用到半人工控制的虾塘生态系统中。对虾养殖中后期,水质营养盐含量丰富,温度、光照适宜,浮游生物大量繁殖。本文旨在通过不同粒级微型浮游动物对浮游植物的摄食研究来探讨对虾养殖中后期虾塘的初级生产力和小细胞浮游生物的作用,并为虾塘生态系统的碳、氮循环建立模型提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 虾塘的基本情况

虾塘为天津立达海水资源开发有限公司 1 号虾塘,面积 13340 m^2 ,水深约 1.5 m。养殖对象为南美白对虾。该虾塘在 5 月上旬开始放苗,放养密度为 30—45 ind/ m^2 。虾塘中后期视水质变化和水源质量适当换水。每次的水交换量约为养殖池塘总水量的 5%—15%。

1.2 站位布设和采样

2008 年 8 月底至 10 月初设定的采样点均为虾塘进、出水口及另外两岸中间点。采样和培养时间均为上午 5 点整至 7 点整。培养站位为进水口。

采样前,应用预先校正过的 YSI(6600 测定各采样点的盐度、温度、pH。然后于各采样点水面以下 30 cm 处,池底以上 30 cm 处,用经 10% HCl 浸泡过的 1.5 L 自制取样器各取 1.5 L 水,混匀。取混匀后的水样 200 mL,经过预先灼烧过的 Whatman GF/F 膜,储于 250 mL 聚乙烯瓶中,作为营养盐测定的样品。营养盐测

定按照海洋调查规范(GB 12763-91)进行。

1.3 虾塘微型浮游动物摄食率实验

微型浮游动物摄食率用稀释法测量。其主要方法为:用孔径为 0.7 μm 的 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜过滤各采样点混匀后的虾塘养殖水,制备 16 L 稀释液。然后将稀释液按 0:1、1:3、1:1、3:1 等 4 个比例分别与过 200 μm 、100 μm 、20 μm 筛绢的各采样点混匀后的虾塘养殖水现场混合,分装于 1.6 L 聚碳酸酯培养瓶中,每个比例设两个平行样,以 12 个瓶为 1 组,悬于虾塘水面下 50 cm 处,计时,培养 24 h。采集培养前后的水样各 100 mL,用 0.7 μm 的 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜过滤,加 5 mL 90% (体积分数)丙酮萃取 14—24 h,采用荧光光度法测定水样的叶绿素 a 浓度。

从 8 月底到 10 月初,连续做了 3 次 3 个粒级的稀释实验。

1.4 微型浮游动物对浮游植物现存量 and 初级生产力的摄食压力估算方法

稀释系列的每个培养瓶都会有不同的浮游动物摄食表现生长率(apparent growth rate,AGR):

$$AGR = \ln(P_t/P_0)/t = d \times g + k$$

式中, $t(\text{d})$ 是培养时间, P_0 和 P_t 分别是浮游植物现存量的初始值($\mu\text{g/L}$)和终了值(g/L), d 为稀释度, g 为浮游动物对浮游植物的摄食率(d^{-1}), k 为浮游植物的生长率(d^{-1})。

微型浮游动物对浮游植物的摄食影响用微型浮游动物对浮游植物现存量的摄食压力(P_i)和对浮游植物初级生产力的摄食压力(P_p)来表示:

$$P_i = ((C_0 \times e^k - C_0) - (C_0 \times e^{(k-g)} - C_0)) / C_0 \times 100\%$$

$$P_p = ((C_0 \times e^k - C_0) - (C_0 \times e^{(k-g)} - C_0)) / (C_0 \times e^k - C_0) \times 100\%$$

式中, C_0 为初始无稀释组分浮游植物的碳含量(g/L)。

2 结果

2.1 虾塘环境条件

如表 1,从 8 末到 10 月初,虾塘水温(t)为 30.11—20.25 $^{\circ}\text{C}$,呈降低趋势。盐度(S)和 pH 变化较平稳,其中盐度为 36.93—32.25,pH 为 8.18—8.55。铵盐($\text{NH}_4\text{-N}$)含量为 20.12—84.39 $\mu\text{mol/L}$,亚硝酸盐($\text{NO}_2\text{-N}$)含量为 1.12—1.75 $\mu\text{mol/L}$,硝酸盐($\text{NO}_3\text{-N}$)为 7.88—52.12 $\mu\text{mol/L}$ 含量,活性磷酸盐($\text{PO}_4\text{-P}$)含量为 0.5415—2.223 $\mu\text{mol/L}$ 。叶绿素 a(chl-a)含量为 32.41—51.64 $\mu\text{g/L}$ 。

表 1 虾塘环境参数

Table 1 Environmental parameters in shrimp pond

时间 Time	水温 $t/^{\circ}\text{C}$	盐度 S	pH	铵盐 $\text{NH}_4\text{-N}$ $/(\mu\text{mol/L})$	亚硝酸盐 $\text{NO}_2\text{-N}$ $/(\mu\text{mol/L})$	硝酸盐 $\text{NO}_3\text{-N}$ $/(\mu\text{mol/L})$	活性磷酸盐 $\text{PO}_4\text{-P}$ $/(\mu\text{mol/L})$	叶绿素 chl-a $/(\mu\text{g/L})$
2008-08-31	30.11	36.93	8.18	20.12	1.32	7.88	0.54	32.41
2008-09-19	25.20	32.56	8.43	84.39	1.12	52.12	1.58	43.57
2008-10-3	20.25	32.25	8.55	75.24	1.75	48.56	2.2	51.64

2.2 稀释实验结果

实验结果如表 2。其中, R^2 值为 0.2163—0.9112,水体中初始叶绿素 a 含量为 32.41—50.83 $\mu\text{g/L}$,微型浮游动物对浮游植物的摄食率为 0.1212—0.2998/d,浮游植物的生长率 k 为 0.0834—0.4498/d,微型浮游动物对浮游植物现存量的摄食压力为 11.41%—25.90%,对浮游植物初级生产力的摄食压力为 48.20%—314.69%。

其中,9 月中旬 3 个粒级组的摄食率为 0.2214—0.2755/d,微型浮游动物对浮游植物现存量的摄食压力分别为 19.86%—25.90%,对浮游植物初级生产力的摄食压力分别为 248.20%—314.69%,为 3 组稀释实验中相应粒级微型浮游动物摄食率、对现存量的摄食压力、对初级生产力的摄食压力均为最大的一组,而该组浮

游植物的生长率在 3 组中最小, 为 0.0834—0.0891/d。10 月初 3 个粒级组浮游植物的生长率最大, 为 0.3837—0.4498/d。8 月底 3 个粒级组的摄食率最小, 为 0.1212—0.1448/d。

表 2 3 个粒级微型浮游动物对浮游植物的摄食结果

Table 2 The results of three size fraction microzooplankton grazing pressure on phytoplankton

时间 Time	水温 $t/^{\circ}\text{C}$	粒级 Size/ μm	R^2	k/d^{-1}	g/d^{-1}	$g:k$	$P_i/\%$	$P_p/\%$	C_0 /($\mu\text{g/L}$)
2008-08-31	30.1	≤ 200	0.2163	0.2295	0.1448	0.6309	13.48	65.74	35.64
		≤ 100	0.6976	0.1908	0.1335	0.6997	12.50	71.95	34.62
		≤ 20	0.9107	0.2152	0.1212	0.5632	11.41	58.95	32.41
2008-09-19	25.2	≤ 200	0.8540	0.0859	0.2998	3.4901	25.90	314.69	45.95
		≤ 100	0.4758	0.0891	0.2755	3.0920	24.08	282.49	43.57
		≤ 20	0.7788	0.0834	0.2214	2.6547	19.86	248.20	41.58
2008-10-03	20.2	≤ 200	0.9112	0.4498	0.1949	0.4333	17.71	48.89	50.83
		≤ 100	0.4772	0.3837	0.1929	0.5027	17.54	55.05	50.81
		≤ 20	0.6827	0.4458	0.1904	0.4271	17.34	48.20	50.12

k 为微型浮游植物的生长率; g 为微型浮游动物对浮游植物的摄食率; $g:k$ 为微型浮游动物摄食率对浮游植物生长率的比值; P_i 为微型浮游动物对浮游植物现存量的摄食压力; P_p 为微型浮游动物对浮游植物初级生产力的摄食压力; C_0 为初始叶绿素 a (Chl a) 含量

2.3 不同粒级的浮游动物对浮游植物的摄食比较

由表 2 所示, 在各粒级组中, 随着粒级的减小, 初始叶绿素 a 含量、摄食率、生长率、对浮游植物现存量的摄食压力、对浮游植物初级生产力的摄食压力等参数总体上呈减小趋势。

同一粒级组内随着粒级的减小, 浮游植物生物量有所减少。 $\leq 20 \mu\text{m}$ 微型浮游植物生物量占微型浮游植物 ($\leq 200 \mu\text{m}$) 的绝大部分, 达 90% 以上, 为 $\leq 100 \mu\text{m}$ 微型浮游植物的 93% 以上。另外, 同组不同粒径的浮游植物生长率也几乎相等, 这也正与水体中微微型浮游植物在浮游植物现存量占绝对优势的事实相符^[6]。因此, 在本研究中, 不同粒级微型浮游动物对浮游植物的摄食可以看作是在相同浮游植物生物量下进行的。从 8 月底到 10 月初的 3 组实验中, $\leq 20 \mu\text{m}$ 微型浮游动物摄食率、对浮游植物现存量 and 初级生产力的摄食压力, 占微型浮游动物 ($\leq 200 \mu\text{m}$) 的相关比例范围为 73.85%—97.69%、76.67%—97.91%、78.87%—98.59%。

3 讨论

3.1 微型浮游动物对浮游植物的摄食

表 3 为不同研究水域微型浮游动物的摄食结果。浮游植物生长率为 -0.63—3.30/d, 微型浮游动物摄食率为 0—3.86/d, 微型浮游动物对浮游植物现存量的摄食压力为 11%—811.69%, 对初级生产力的摄食压力为 0.20%—467.88%。与表 3 所列研究水域相比, 虾塘微型浮游动物摄食结果均处于这些范围之内。

其中, 在 9 月中旬粒级组中, 微型浮游动物对浮游植物初级生产力摄食压力过高, 3 个粒级的摄食压力都超过了 200%, 微型浮游动物摄食率对浮游植物生长率比值 ($g:k$) 为 2.655—3.490。其主要原因是秋分 (9 月 22 日) 迫近, 降雨量大, 天气转凉, 天津海滨地区昼夜温差较大, 浮游植物可能由于不能很快适应环境而生长缓慢, 甚至死亡, 而微型浮游动物的摄食率相对较高引起的。这也验证了 Strom 等关于微型浮游动物摄食率对浮游植物生长率的耦合性强弱 ($g:k$) 与浮游植物生物量呈反相关性的结论^[11]。

除了 Strom 等提出上述结论外, Froneman 等在南非 Kariaga 湾研究结果也显示, 微型浮游动物和浮游植物有强的耦合性^[26]。本次实验中, 除了 9 月中旬粒级组特殊外, 其它两组微型浮游动物摄食率对浮游植物生长率比值 ($g:k$) 为 0.4271—0.6997, 耦合性较好。这主要是对虾养殖中后期, 水体营养盐丰富, 光照、温度适宜, 浮游植物大量繁殖。如表 1 所示, 从 8 月末到 10 月初, 浮游植物生物量增加了近 1.6 倍, 而微型浮游动物的摄食率总体上保持小于浮游植物生长率的趋势, 但是 10 月末微型浮游动物摄食率明显变大 (表 2)。可见, 伴随浮游植物生物量的增加, 微型浮游动物的生物量也有所增加。

表 3 不同水域微型浮游动物的摄食压力

Table 3 The results of microzooplankton grazing pressure in various waters

研究地点 Station	时间 Time	k/d^{-1}	g/d^{-1}	$P_i/\%$	$P_p/\%$
赤道太平洋 ^[4] The equatorial Pacific	1995	0.2—0.7	0.2—1.0	70—105	123—133
北太平洋沿岸水域 ^[11] coastal North Pacific waters	1994—1996	0.09—2.69	0.00—2.1	—	—
渤海 ^[15] Bohai Sea	1997	0.23—0.73	0.42—0.69	34.66—49.89	85.32—101.66
北海南部海湾 ^[16] Sourthern Bight of the North Sea	1998	0.13—0.67	0.27—1.14	24—68	53—341
巴伦支海 ^[12] The Barents Sea	1999	0.19—0.45	0.14—0.44	18—57	69—96
北昆士兰红树湾 ^[6] Mangrove Creeks Of North Queensland	1999	0.58—1.68	0.38—2.13	—	>120
香港水域 ^[17] Hong Kong waters	2000	0.98—1.04	0.71—1.56	144—210	79—127
厦门杏林虾池 ^[18] Xinglin shrimp pond	2000	0.40—1.01	0.58—1.32	43.90—73.40	115.23—193.52
	2001	0.18—0.96	0.20—0.26	18.43—22.51	37.47—111.31
德克萨斯海岸 ^[5] Texas coast	2001	0.30—1.64	0.26—1.76	—	0.2—46
东海 ^[19] East China Sea	2002	0.31—2.48	0.28—1.13	35.14—811.69	74.04—203.25
三门湾 ^[20] Sanmen Bay	2002—2003	0.25—0.89	0.18—0.68	16—49	58—84
Jinhae Bay ^[21]	2002—2003	-0.63—2.08	0—3.86	—	—
厦门海域 ^[22] Xiamen Waters	2003-05	2.41—2.43	0.78—1.32	54.23—73.20	59.59—80.26
	2003-08	1.94—2.43	0.91—1.32	59.65—94.47	69.62—99.43
胶州湾 ^[13] Jiaozhou Bay	2003 春	0.18—0.44	0.12—1.47	17.56—92.19	31.77—467.88
	2003 夏	0.38—0.71	0.27—0.60	34.60—83.04	71.28—98.80
大亚湾 ^[23] Daya Bay	2004-12	0.18—1.19	1.00—2.08	76—287	101—445
	2005-03	0.16—1.14	0.33—1.74	47—258	70—330
台湾海峡 ^[24] Taiwan Strait	2005-03	0.36—0.50	0.12—0.30	11—26	28—84
三亚湾 ^[25] Taiwan Strait	2005-08	0.9—1.32	0.85—1.79	57—83	72—92
	2005-11	1.81—3.30	1.29—2.57	78—140	87—98

k 为微型浮游植物的生长率; g 为微型浮游动物对浮游植物的摄食率; P_i 为微型浮游动物对浮游植物现存量的摄食压力; P_p 为微型浮游动物对浮游植物初级生产力的摄食压力; —表示缺乏数据

3.2 $\leq 20 \mu m$ 微型浮游动物在对虾养殖中后期虾塘物流、能流中的作用

8 月末到 10 月初, $\leq 20 \mu m$ 微型浮游动物摄食率、对浮游植物现存量 and 初级生产力的摄食压力, 占微型浮游动物 ($\leq 200 \mu m$) 的相关比例范围为 73.85%—97.69%、76.67%—97.91%、78.87%—98.59%。说明小粒级浮游动物在虾塘生态系统中起到了绝对重要的作用^[12], 小粒级微型浮游动物群落的摄食压力能对浮游植物起到重要的调控作用^[14]。研究表明, 微型浮游动物主要摄食微型藻类, 其自身又被大中型浮游动物所摄食, 从而将初级生产力输送到较高营养级, 在海洋食物网将初级生产力向较高营养级输送过程中起到重要的媒介作用^[12], 所以高生产力生态系统常常成为重要经济鱼类的温床。所以在对虾养殖中后期, 虾塘中 $\leq 20 \mu m$ 微型浮游动物, 对能量流动和物质循环起到了更重要的作用。

References:

- [1] Pierce R W, Turner J T. Ecology of planktonic ciliates in marine food webs. Reviews in Aquatic Sciences, 1992, 6(2): 139-181.
- [2] Gifford D J, Dagg M J. The microzooplankton-mesozooplankton link: consumption of planktonic protozoa by calanoid copepods *Acartia tonsa* Dana and *Neocalanus plumchurus* Murukawa. Marine Microbial Food Webs, 1991, 5(1): 161-177.
- [3] Landry M R, Hassett R P. Estimating the grazing impact of marine micro-zooplankton. Marine Biology, 1982, 67(3): 283-288.
- [4] Verity P G, Stoecker D K, Sieracki M E, Nelson J R. Microzooplankton grazing of primary production at 140° W in the equatorial Pacific. Deep

- Sea Research Part II. 1996, 43 (4/6):1227-1255.
- [5] First M R, Lavrentyev P J, Jochem F J. Patterns of microzooplankton growth in dilution experiments across a trophic gradient: Implications for herbivory studies. *Marine Biology*, 2007, 151(5): 1929-1940.
- [6] McKinnon A D, Trott L A, Cappo M, Miller D K, Duggan S, Speare P, Davodson A. The trophic fate of shrimp farm effluent in Mangrove Creeks of North Queensland, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, 55(4): 655-671.
- [7] Burkill P H, Edwards E S, Sleigh M A. Microzooplankton and their role in controlling phytoplankton growth in the marginal ice zone of the Bellingshausen Sea. *Deep Sea Research Part II*, 1995, 42(4/5):1277-1290.
- [8] Li C L, Sun S, Ji P, Zhang G T, Zhang W C. Herbivorous activity and nitrogen excretion of microzooplankton in the marginal ice zone of the Prydz Bay, Antarctica. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, 31(6):657-663.
- [9] Li C L, Sun S, Zhang G T, Ji P. Grazing of *Salpa thompsonii* phytoplankton in summer in the Prydz Bay, Antarctica. *Chinese Journal of Polar Research*, 2000, 12(2):97-104.
- [10] Zhang W C, Sun S, Zhang Y S, Hu C Y, Liu C G. Iron enrichment incubation experiments in Prydz Bay Antarctica. *Chinese Journal of Polar Research*, 2003, 15(4):249-260.
- [11] Strom S L, Brainard M A, Holmes J L, Olson M B. Phytoplankton blooms are strongly impacted by microzooplankton grazing in coastal North Pacific waters. *Marine Biology*, 2001, 138(2): 355-368.
- [12] Verity P G, Wassmann P, Frischer M E, Howard-Jones M H, Allen A E. Grazing of phytoplankton by microzooplankton in the Barents Sea during early summer. *Journal of Marine Systems*, 2002, 38(1/2): 109-123.
- [13] Zhang L Y, Sun J, Liu D Y, Yu Z S. Studies on growth rate and grazing mortality rate by microzooplankton of size-fractionated phytoplankton in spring and summer in the Jiaozhou Bay, China. *Acta Oceanologica Sinica*, 2005, 24(2):85-101.
- [14] Leising A W, Hornerb R, Piersonb J J, Postelb J, Halsband-Lenk C. The balance between microzooplankton grazing and Phytoplankton growth in a highly productive estuarine fjord. *Progress in Oceanography*, 2005, 67(3/4): 366-383.
- [15] Zhang W C, Wang R. Microzooplankton and their grazing pressure on phytoplankton in Bohai Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, 31(3): 252-258.
- [16] Stelfox Widdicombe C E, Archer S D, Burkill P H, Stefels J. Microzooplankton grazing in *Phaeocystis* and diatom-dominated waters in the southern North Sea in spring. *Journal of Sea Research*, 2004, 51(1): 37-51.
- [17] Sun J, Song X X, Yin K D, Liu D Y. Preliminary study of microzooplankton herbivory in Hong Kong in summer. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4):712-724.
- [18] Shen J L, Lin Y S, Yang S Y, Cao W Q, Wu G H. Studies on grazing pressure of microzooplankton on phytoplankton in Xinglin shrimp pond in summer and winter. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2002, 21(1):31-36.
- [19] Sun J, Liu D Y, Wang Z L, Shi X Y, Li R X, Zhu M Y. Microzooplankton herbivory during red tide-frequent-occurrence period in Spring in East China Sea. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(7):1073-1080.
- [20] Liu Z S, Wang C S, Zhang Z N, Liu C G, Yang G M. Seasonal dynamics of zooplankton and microzooplankton grazing impact in Sanmen Bay, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12):3931-3941.
- [21] Kim S J, Park M G, Moon C H, Shin K S, Chang M. Seasonal variations in phytoplankton growth and microzooplankton grazing in a temperate coastal embayment, Korea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 71(1/2): 159-169.
- [22] Liu Y, Huang B Q, Cao Z R, Hong H S. Grazing pressure of microzooplankton on phytoplankton in Xiamen Waters. *Marine Environmental Science*, 2005, 24(1):9-12.
- [23] Wang X F, Li C H, Jia X P, Zhao H Q, Dai M. Study on the microzooplankton herbivory in winter and spring in the Daya Bay. *Marine Environmental Science*, 2006, 25(s1):44-47.
- [24] Zeng X B, Huang B Q. Grazing impact of microzooplankton in Taiwan Strait and its contribution to nutrient regeneration. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 2007, 46(2):231-235.
- [25] Su Q, Huang L M, Tan Y H, Wang H K, Dong J D, Zhou W H, Hu Y M. Preliminary study on the microzooplankton grazing in summer and autumn in the Sanya Bay, China. *Marine Science Bulletin*, 2007, 26(6):19-25.
- [26] Froneman P W, McQuaid C D. Preliminary investigation of the ecological role of microzooplankton in the Kariega Estuary, South Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1997, 45(5):689-695.

参考文献:

- [8] 李超伦, 孙松, 吉鹏, 张光涛, 张武昌. 南极普里兹湾边缘浮冰区微型浮游动物的摄食及其氮的排泄. 海洋与湖沼, 2000, 31(6): 657-663.
- [9] 李超伦, 孙松, 张光涛, 吉鹏. 南极普里兹湾临近海域夏季纽鳃樽对浮游植物的摄食研究. 极地研究, 2000, 12(2): 97-104.
- [10] 张武昌, 张松, 张永山, 扈传昱, 刘成刚. 南极普里兹湾铁加富培养浮游植物的实验. 极地研究, 2003, 15(4): 249-260.
- [15] 张武昌, 王荣. 渤海微型浮游动物及其对浮游植物的摄食压力. 海洋与湖沼, 2000, 31(3): 252-258.
- [17] 孙军, 宋秀贤, 殷克东, 刘东艳. 香港水域夏季微型浮游动物摄食研究. 生态学报, 2003, 23(4): 712-724.
- [18] 沈锦兰, 林元烧, 杨圣云, 曹文清, 吴桂汉. 厦门杏林虾池夏季微型浮游动物对浮游植物的摄食压力. 台湾海峡, 2002, 21(1): 31-36.
- [19] 孙军, 刘东艳, 王宗灵, 石晓勇, 李瑞香, 朱明远. 春季赤潮频发期东海微型浮游动物摄食研究. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1049-1054.
- [20] 刘镇盛, 王春生, 张志南, 刘诚刚, 杨关铭. 三门湾浮游动物的季节变动及微型浮游动物摄食影响. 生态学报, 2006, 26(12): 3931-3941.
- [22] 刘媛, 黄邦钦, 曹振锐, 洪华生. 厦门海域春夏季微型浮游动物对浮游植物的摄食压力初探. 海洋环境科学, 2005, 24(1): 9-12.
- [23] 王学峰, 李纯厚, 贾晓平, 赵汉取, 戴明. 大亚湾冬春季微型浮游动物摄食研究. 海洋环境科学, 2006, 25(S1): 44-47.
- [24] 曾祥波, 黄邦钦. 台湾海峡微型浮游动物的摄食压力及其对营养盐再生的贡献. 厦门大学学报: 自然科学版, 2007, 46(2): 231-235.
- [25] 苏强, 黄良民, 谭烨辉, 王汉奎, 董俊德, 周伟华, 胡友木. 三亚湾夏秋两季微型浮游动物摄食研究. 海洋通报, 2007, 26(6): 19-25.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 7 April, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Seasonal variation of soil nitrogen pools and microbes under natural evergreen broadleaved forest and its artificial regeneration forests in Southern Sichuan Province, China	GONG Wei, HU Tingxing, WANG Jingyan, et al (1763)
Sensitivity analysis for main factors influencing <i>NPP</i> of forests simulated by IBIS in the eastern area of Northeast China	LIU Xi, GUO Qingxi, LIU Jingwei (1772)
Diurnal changes of photosynthetic characteristics of <i>Hippophae rhamnoides</i> and the relevant environment factors at different slope locations	JIN Tiantian, FU Bojie, LIU Guohua, et al (1783)
Interactive effects of nitrogen and sulfur on the reproduction, biomass accumulation and allocation of the clonal plant <i>Spartina alterniflora</i>	GAN Lin, ZHAO Hui, QING Hua, et al (1794)
Difference in leaf photosynthetic capacity between pima cotton (<i>Gossypium barbadense</i>) and upland cotton (<i>G. hirsutum</i>) and analysis of potential constraints	ZHANG Yali, YAO Hesheng, LUO Yi, et al (1803)
Effects of shades on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Forsythia suspensa</i>	WANG Jianhua, REN Shifu, SHI Baosheng, et al (1811)
Growth and metal uptake of three woody species in lead/zinc and copper mine tailing	SHI Xiang, CHEN Yitai, WANG Shufeng, et al (1818)
GMP particles size distribution in grains of wheat in relation to application of nitrogen fertilizer	WANG Guangchang, WANG Zhenlin, CUI Zhiqing, et al (1827)
Damaging mechanisms of peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.) photosystems caused by high-temperature and drought under high irradiance	QIN Liqin, ZHANG Yueli, GUO Feng, et al (1835)
The effect of natural factors and disturbance intensity on spacial heterogeneity of plant diversity in alpine meadow	WEN Lu, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (1844)
Modeling changes of net primary productivity of karst vegetation in southwestern China using the CASA model	DONG Dan, NI Jian (1855)
The characteristics of <i>Magnolia liliflora</i> transpiration and its impacting factors in Beijing City	WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (1867)
Ecological effects of balanced fertilization on red earth paddy soil with P-deficiency	CHEN Jianguo, ZHANG Yangzhu, ZENG Xibai, et al (1877)
Effects of planting patterns on water use efficiency in winter wheat	QI Lin, CHEN Yuhai, ZHOU Xunbo, et al (1888)
Nitrous oxide emissions from winter wheat field in the Loess Plateau	PANG Junzhu, WANG Xiaoke, MU Yujing, et al (1896)
Effects of hardening by pre-anthesis waterlogging on grain yield and quality of post-anthesis waterlogged wheat (<i>Triticum aestivum</i> L. cv Yangmai 9)	LI Chengyong, CAI Jian, JIANG Dong, et al (1904)
Effects of simulated acid rain with lower S/N ratio on gas exchange and membrane of three dominant species in subtropical forests	FENG Lili, YAO Fangfang, WANG Xihua, et al (1911)
Molluscicidal efficacy of <i>Nerium indicum</i> cardiac glycosides on <i>Pomacea canaliculata</i> and its effects on rice seedling	DAI Lingpeng, LUO Weihua, WANG Wanxian (1918)
Spatial gradients pattern of landscapes and their relations with environmental factors in Haihe River basin	ZHAO Zhixuan, ZHANG Biao, JIN Xin, et al (1925)
The assessment of forest ecosystem services evaluation for shrubbery-economic forest-bamboo forest in China	WANG Bing, WEI Jiangsheng, HU Wen (1936)
Evaluation on service value of ecosystem of Peri-urban transition zone lake: a case study of Yandong Lake in Wuhan City	WANG Fengzhen, ZHOU Zhixiang, ZHENG Zhongming (1946)
Explaining the abundance-distribution relationship of plant species with niche breadth and position in the Yellow River Delta	YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (1955)
Forestland boundary dynamics based on an landscape accessibility analysis in Guangzhou, China	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (1962)
Changes in invasion characteristics of <i>Dendroctonus valens</i> after introduction into China	PAN Jie, WANG Tao, WEN Junbao, et al (1970)
Population genetic diversity in Tibet red deer (<i>Cervus elaphus wallichi</i>) revealed by mitochondrial <i>Cyt b</i> gene analysis	LIU Yanhua, ZHANG Minghai (1976)
Multi-scales analysis on diversity of desert rodent communities under different disturbances	YUAN Shuai, WU Xiaodong, FU Heping, et al (1982)
Cave-site selection of Qinling zokors with their prevention and control	LU Qingbin, ZHANG Yang, ZHOU Caiquan (1993)
The habitat characteristics of Eurasian badger in Beijing-Hangzhou Grand Canal embankment	YIN Baofa, LIU Yuqing, LIU Guoxing, et al (2002)
Review and Monograph	
Electron transfer mechanism of extracellular respiration: a review	MA Chen, ZHOU Shungui, ZHUANG Li, et al (2008)
The biochemical mechanism and application of anammox in the wastewater treatment process	WANG Hui, LIU Yanping, TAO Ying, et al (2019)
Discussion	
Evaluation of the forest ecosystem services in Haihe River Basin, China	BAI Yang, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (2029)
Scientific Note	
Effects of body size and salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of <i>Macra chinensis</i> Philippi	ZHAO Wen, WANG Yaqian, WEI Jie, et al (2040)
Study on microzooplankton grazing in shrimp pond among middle and late shrimp culture period	ZHANG Litong, SUN Yao, ZHAO Congming, et al (2046)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任:孔红梅

执行编辑:刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 7 期 (2011 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 7 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元