

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

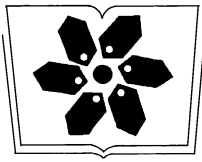
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第18期 Vol.32 No.18 **2012**

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 32 卷 第 18 期

2012 年 9 月 (半月刊)

目 次

亚热带典型树种对模拟酸雨胁迫的高光谱响应.....	时启龙,江 洪,陈 健,等 (5621)
珠江三角洲地面风场的特征及其城市群风道的构建.....	孙 武,王义明,王越雷,等 (5630)
粤北山地常绿阔叶林自然干扰后冠层结构与林下光照动态.....	区余端,苏志尧 (5637)
四种猎物对南方小花蝽生长发育和繁殖的影响.....	张昌容,鄧军锐,莫利锋 (5646)
普洱季风常绿阔叶林次生演替中木本植物幼苗更新特征.....	李帅锋,刘万德,苏建荣,等 (5653)
喀斯特常绿落叶阔叶混交林物种多度与丰富度空间分布的尺度效应.....	张忠华,胡 刚,祝介东,等 (5663)
格氏栲天然林土壤养分空间异质性.....	苏松锦,刘金福,何中声,等 (5673)
种植香根草对铜尾矿废弃地基质化学和生物学性质的影响.....	徐德聪,詹 婧,陈 政,等 (5683)
灌溉对三种荒漠植物蒸腾耗水特性的影响.....	单立山,李 毅,张希明,等 (5692)
真盐生植物盐角草对不同氮形态的响应.....	聂玲玲,冯娟娟,吕素莲,等 (5703)
鹿泉沟自然保护区寒温性针叶林演替优势种格局动态分析.....	张钦弟,毕润成,张金屯,等 (5713)
不同水肥条件下 AM 真菌对丹参幼苗生长和营养成分的影响.....	贺学礼,马 丽,孟静静,等 (5721)
垄沟覆膜栽培冬小麦田的土壤呼吸.....	上官宇先,师日鹏,韩 坤,等 (5729)
不同方式处理牛粪对大豆生长和品质的影响.....	郭立月,刘雪梅,战丽杰,等 (5738)
基于大气沉降与径流的乌鲁木齐河源区氮素收支模拟.....	王圣杰,张明军,王飞腾,等 (5747)
基于能值理论的循环复合农业生态系统发展评价——以福建省福清星源循环农业产业示范基地为例.....	钟珍梅,翁伯琦,黄勤楼,等 (5755)
低温暴露和恢复对棘胸蛙雌性亚成体生存力及能量物质消耗的影响.....	凌 云,邵 晨,颜志刚,等 (5763)
暗期干扰对棉铃虫两个不同地理种群滞育抑制作用的比较.....	陈元生,涂小云,陈 超,等 (5770)
水土流失治理措施对小流域土壤有机碳和全氮的影响.....	张彦军,郭胜利,南雅芳,等 (5777)
不同管理主体对泸沽湖流域生态系统影响的比较分析.....	董仁才,苟亚青,李思远,等 (5786)
连江鱼类群落多样性及其与环境因子的关系.....	李 捷,李新辉,贾晓平,等 (5795)
溶氧水平对鲫鱼代谢模式的影响.....	张 伟,曹振东,付世建 (5806)
象山港人工鱼礁区的网采浮游植物群落组成及其与环境因子的关系.....	江志兵,陈全震,寿 鹿,等 (5813)
填海造地导致海湾生态系统服务损失的能值评估——以套子湾为例.....	李睿倩,孟范平 (5825)
城市滨水景观的视觉环境质量评价——以合肥市为例.....	姚玉敏,朱晓东,徐迎碧,等 (5836)
专论与综述	
生态基因组学研究进展.....	施永彬,李钧敏,金则新 (5846)
海洋酸化生态学研究进展.....	汪思茹,殷克东,蔡卫君,等 (5859)
纺锤水蚤摄食生态学研究进展.....	胡思敏,刘 胜,李 涛,等 (5870)
河口生态系统氨氧化菌生态学研究进展.....	张秋芳,徐继荣,苏建强,等 (5878)
嗜中性微好氧铁氧化菌研究进展.....	林超峰,龚 骏 (5889)
典型低纬度海区(南海、孟加拉湾)初级生产力比较.....	刘华雪,宋星宇,黄洪辉,等 (5900)
植物叶片最大羧化速率及其对环境因子响应的研究进展.....	张彦敏,周广胜 (5907)
中国大陆鸟类栖息地选择研究十年.....	蒋爱伍,周 放,覃 玥,等 (5918)
研究简报	
孵化温度对赤链蛇胚胎代谢和幼体行为的影响.....	孙文佳,俞 霄,曹梦洁,等 (5924)
不同培肥茶园土壤微生物量碳氮及相关参数的变化与敏感性分析.....	王利民,邱珊莲,林新坚,等 (5930)
施肥对两种莧菜吸收积累镉的影响.....	李凝玉,李志安,庄 萍,等 (5937)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-09



封面图说: 冬天低空飞翔的丹顶鹤——丹顶鹤是鹤类中的一种,因头顶有“红肉冠”而得名。是东亚地区特有的鸟种,因体态优雅、颜色分明,在这一地区的文化中具有吉祥、忠贞、长寿的象征,是传说中的仙鹤,国家一级保护动物。丹顶鹤具备鹤类的特征,即三长——嘴长、颈长、腿长。成鸟除颈部和飞羽后端为黑色外,全身洁白,头顶皮肤裸露,呈鲜红色。丹顶鹤每年要在繁殖地和越冬地之间进行迁徙,只有在日本北海道等地是留鸟,不进行迁徙,这可能与冬季当地人有组织地投喂食物,食物来源充足有关。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201108091167

胡思敏, 刘胜, 李涛, 郭志灵. 纺锤水蚤摄食生态学研究进展. 生态学报, 2012, 32(18): 5870-5877.

Hu S M, Liu S, Li T, Guo Z L. Advances in feeding ecology of *Acartia*. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(18): 5870-5877.

纺锤水蚤摄食生态学研究进展

胡思敏^{1,3}, 刘 胜^{1,*}, 李 涛^{1,2}, 郭志灵^{1,3}

(1. 中国科学院海洋生物资源可持续利用重点实验室, 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301;

2. 中国科学院海南热带海洋生物实验站, 三亚 572000; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 纺锤水蚤 (*Acartia*) 是温带、亚热带近岸水域优势的小型桡足类, 在区域生态系统的物质循环与能量流通中起着重要作用。综述了国内外对纺锤水蚤食性、摄食机制、摄食影响因子及摄食转化效率的研究工作; 纺锤水蚤为杂食性, 偏爱高营养的动物性饵料, 摄食浮游植物和微型浮游动物时分别采取滤食策略和伏击策略, 摄食过程受到自身生理状态和环境因子的共同调节。其对食物的利用效率约为 60%, 其他 40% 通过 Sloppy feeding 和排泄等方式以溶解形式释放到海水中。目前摄食研究多以实验模拟为主, 自然现场研究手段有限, 分子生物学技术有望促进认识其在自然生态系统中的地位与作用。

关键词: 纺锤水蚤; 进展; 食性; 摄食效率; 影响因子

Advances in feeding ecology of *Acartia*

HU Simin^{1,3}, LIU Sheng^{1,*}, LI Tao^{1,2}, GUO Zhiling^{1,3}

1 LMB, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

2 Tropical Marine Biological Research Station in Hainan, Chinese Academy of Sciences, Sanya 572000, China

3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: *Acartia* is a genus of small marine copepod dominating the zooplankton community in temperate and subtropical coastal ecosystems, and plays an important role in the elemental cycling and energy flow. This paper mainly summarizes the progress on *Acartia* feeding ecology including their feeding habits, feeding mechanism, regulatory factors and transfer efficiency. *Acartia* spp. are omnivorous feeders with a wide food spectrum including microalgae, detritus suspensions, micro-zooplankton such as ciliates and heterotrophic dinoflagellates, and nauplii of copepods, but show a preference to micro-zooplankton rather than phytoplankton. They have two feeding strategies, suspension feeding and ambush feeding, and can switch between these two strategies in different food environments: when feeding on phytoplankton *Acartia* spp. generate feeding currents and filter cells brought by the currents; when feeding on micro-zooplankton they act as ambush grazers. The clearance and ingestion rates are regulated by the predator characteristics and environmental factors. Generally, females have higher clearance rates than males. Their developmental stage and physiological condition will influence the filtering process as adults are bigger in size and stronger in migrating capacity than juvenile stages, and the metabolic capacity can also have feedback impacts on feeding activities. The influential environmental factors include temperature, salinity, light and turbulence. The optimal temperature and salinity are between 15—25°C and 25—30 respectively, the clearance rates will be depressed if the environmental temperature and salinity exceed this range. They exhibit a feeding rhythm entrained by light dark cycle with increased feeding activities at night. Small levels of turbulence can enhance the feeding rates based on ambush strategy but will inhibit suspension feeding. Approximately 3%—5% of

基金项目: 中国科学院创新项目 (KZCX2-YW-JS206); 中国科学院-国家外专局创新团队国际合作伙伴计划项目 (KZCX2-YW-T001); 国家自然科学基金 (41076096, 40828006); 广东省自然科学基金项目 (2010B031900039); 海南省自然科学基金项目 (809060)

收稿日期: 2011-08-09; 修订日期: 2011-12-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shliu@scsio.ac.cn

food filtered will be lost by sloppy feeding, and 60% of the ingested food will be used for metabolism, growth and reproduction, while the remaining part is directly released in forms of dissolved organic carbon (DOC) to environment by excretion and other ways. The DOC can be used by the bacteria community and phytoplankton which is of great significance to micro-loop. These results, which were mainly based on incubation experiments, can hardly reflect the natural feeding conditions. Application of molecular biology techniques will help us to understand the true trophic relations and hence material flow in coastal ecosystem.

Key Words: *Acartia* spp.; advance; feeding habits; feeding efficiency; impact factors

浮游动物作为次级生产者和营养再生者,在生态系统中承担着物质传递循环与能量流动的媒介作用,是水生浮游食物网的关键环节。桡足类是浮游动物的关键类群,调控着海洋浮游生物的生物量并且自身又是较高营养级生物的主要食物^[1],因此其摄食多样性和摄食传递效率等方面的工作一直是海洋生态学的研究热点^[2]。

纺锤水蚤 (*Acartia* spp.) 隶属于哲水蚤目 (Calanoida)、纺锤水蚤科 (Acartiidae)、纺锤水蚤属 (*Acartia* Dana), 目前全世界描述的纺锤水蚤共有 100 多种,在我国海区出现的有 16 种^[3]。纺锤水蚤通常为温带、亚热带河口、海湾等近岸水域的桡足类优势种,如: 双刺纺锤水蚤 (*A. bifilosa*) 是胶州湾小型桡足类优势种^[4]; 刺尾纺锤水蚤 (*A. spinicauda*) 是珠江口丰水期和枯水期都出现的优势种^[5],也是厦门港海区桡足类的优势种^[6]; 红纺锤水蚤 (*A. erythraea*) 是三亚湾、香港水域夏秋季节的优势种^[7-8]。纺锤水蚤个体较小 (体长 1 mm 左右), 体形瘦长, 头胸部呈纺锤形, 且生物量大、世代周期短、体形和大小适中, 是很多经济鱼类的适口饵料, 在近岸生态系统物质流通中发挥着重要的作用^[3,8]。

浮游动物摄食生态学研究不仅对了解生态系统的结构与功能有重要的指示作用, 也可作为经济鱼类养殖中活饵的获得提供参考^[9], 具有重要的理论和实践意义。近年来, 国际上纺锤水蚤作为经济鱼类饵料的应用潜力越来越受重视, 以应用于大规模培养为目的开展了对于其饵料选择性、摄食与生殖发育的关系等研究^[10-11]。本文将从其食性、摄食机制、摄食影响因子及摄食转化效率几个方面对纺锤水蚤摄食生态学研究的主要成果进行综述, 以期全面认识纺锤水蚤在近岸生态系统中的地位提供参考。

1 纺锤水蚤摄食生态学研究内容

1.1 食性

基本而言, 纺锤水蚤是一种杂食性桡足类, 其食物谱较广, 包括微藻^[12]、大型藻类的碎屑^[13]、悬浮的颗粒碎屑物^[13]及异养型的纤毛虫和鞭毛虫^[14]、桡足类的无节幼虫^[9]等。室内摄食实验证实, 硅藻门的威氏海链藻 (*Thalassiosira weissflogii*)、甲藻中的微型原甲藻 (*Prorocentrum minimum*) 及具沟急游虫 (*Strombidium sulcatum*) 等都是其较理想的饵料^[7,15]。纺锤水蚤对食物有一定选择倾向, 一般偏爱活的、运动能力较强的食物, 如纤毛虫和异养型的甲藻, 而且越来越多的研究证实, 动物性饵料在纺锤水蚤的食物组成中占重要地位。相对于浮游植物, 纺锤水蚤对微型浮游动物具有较强的选择性, 即使在浮游植物充足的情况下, 也更倾向于摄食纤毛虫^[16]。对 Gyeonggi Bay 的 *A. hongii* 的现场摄食研究中发现, 其全年摄食碳含量的 70% 来源于微型浮游动物, 只在硅藻水华时, 浮游植物才占据食物组成的主要部分^[14]。Calliari 等研究了汤氏纺锤水蚤对初级生产力的利用效率, 发现草食性的部分在其食物组成中通常小于 50%^[17]。作为近岸生态系统中重要的小型桡足类, 纺锤水蚤食物类型多样, 不仅仅限于浮游植物, 因此需要深入地研究其摄食传递效率及参与的化学和物质流通途径。

不同种的纺锤水蚤对不同的食物具有不同的摄食率 (表 1), 清滤率一般在 10—200 mL·个⁻¹·d⁻¹ 范围内, 对浮游植物的现场摄食率一般在 0.001—10 μgC·个⁻¹·d⁻¹, 而对微型浮游动物 (纤毛虫) 一般在 0.01—5 μgC·个⁻¹·d⁻¹, 不同种对浮游植物与微型浮游动物的偏爱性与其生活的环境有关, 取决于周围环境中不同食物类型

的相对浓度。不同室内实验得到的摄食率一般会比现场测值高出 10 倍左右,因此获得精确的现场摄食率非常重要。

表 1 纺锤水蚤不同种的摄食效率
Table 1 Feeding efficiency of different Acartia species

种名 Species	饵料类型 Diet type	清滤率 Clearance rate/ (mL·个 ⁻¹ ·d ⁻¹)	摄食率 Ingestion rate/ (μgC·个 ⁻¹ ·d ⁻¹)	研究海区 Study region	参考文献 References
<i>A. hongii</i>	浮游植物	39.2	0.7	Gyeonggi Bay, Yellow sea	[14]
	微型浮游动物	128.1	2.1		
纺锤水蚤群体 <i>A. spp.</i>	浮游植物	19.7	1.3	South Bay, San Francisco	[12]
	微型浮游动物	21.8	0.06		
红纺锤水蚤 <i>A. erythraea</i>	浮游植物	0.48—38.4	2.64—31.92	Pearl River Estuary (室内实验)	[5]
汤氏纺锤水蚤 <i>A. tonsa</i>	浮游植物	147.5	3.9	Mejillones Bay, Chile	[16]
	微型浮游动物	127.5	1.5		
克氏纺锤水蚤 <i>A. clausi</i>	浮游植物	45.6	<0.001	German Bight, North sea	[18]
	微型浮游动物	12.0	0.4		
刺尾纺锤水蚤 <i>A. spinicauda</i>	浮游植物	—	0.043—0.086	Pearl River Estuary	[19]
双刺纺锤水蚤 <i>A. bifilosa</i>	浮游植物	—	0.163—1.445	Gironde estuary, SW France	[20]
<i>A. grani</i>	浮游植物	—	10.2±0.085	Sitges coastal beach (室内实验)	[21]

1.2 摄食机制

通常认为纺锤水蚤的摄食机制为第二小颚滤食型,即通过第二小颚内缘羽状刺毛上的微小棘毛组成的滤网和第二触角的快速颤动产生的涡流,摄食水流带来的食物颗粒^[22]。近年来的研究发现,纺锤水蚤还存在另一种摄食策略——伏击摄食,它们通过机械感受器感受饵料生物游泳产生的涡流,从而进行摄食^[15]。与大部分杂食性桡足类一样,纺锤水蚤摄食的食物首先在上唇粘多糖作用下变成粘块状,然后经过口器附肢的咀嚼,进入消化道,再到中肠进行机械消化和酶解过程^[23]。

纺锤水蚤可以依据其栖息环境中食物的种类组成调整其摄食策略,摄食浮游植物时采取滤食策略,摄食纤毛虫或其他运动能力较强的饵料生物时采用伏击摄食策略^[24]。摄食策略的转换同时表现在摄食率和摄食行为上,伏击摄食和滤食的时间分配随食物组成比例的变化而变化。以分布广泛的近岸种——汤氏纺锤水蚤为例,以不同比例的单种藻和纤毛虫为混合饵料进行摄食实验,发现当混合饵料中单种藻浓度高时,滤食率较高,滤食行为为主要的摄食方式,随着饵料中纤毛虫浓度的升高,对于藻的滤食率随之降低,伏击摄食率升高^[15,20]。可见,纺锤水蚤摄食策略的选择与食物环境密切相关,但是这种转变是如何调节的,感受器在这种转变中起到何种作用还不明确。

1.3 影响摄食的因素

浮游动物摄食行为直接反映了浮游动物自身变化和对环境的适应能力,其过程并非一个连续的、单一的过程,摄食者自身的生理状态、发育阶段和内缘节律以及环境因子变化均可影响其摄食行为与效率^[23]。另外,与食物浓度和特性也密切相关。

1.3.1 摄食者

性别、发育期等会影响摄食活动。一般认为,雌性的摄食率要高于雄性。发育期主要影响摄食率、摄食策略及选择性。纺锤水蚤主要为第二小颚滤食型,处于不同发育期的个体在体形大小上会有所差异,其“滤网”的孔径不同,个体越大网孔越大,滤食率越大,而且随着个体发育,体重的增加会显著提高其摄食效率。纺锤水蚤不同的发育期会有不同的摄食方式,幼体期一般只有滤食方式,成体期会依据具体的食物环境采取滤食或伏击摄食的策略。克氏纺锤水蚤 CI 期滤食行为占摄食时间的 36%,且清滤率相对较小,而 CI 期以后至成体滤食行为的时间分配仅为 18%,向主动摄食模式转换^[25]。一般成体期与幼体期的摄食多样性及选择性也

有差别,自然状态下,汤氏纺锤水蚤成体的摄食选择性约为 50%,而幼体期的比例为 75%^[26]。

纺锤水蚤自身的生理状态也会对摄食起到一定的调节作用,例如,饥饿状态的太平洋纺锤水蚤(*A. pacifica*)摄食率比非饥饿状态的大 1—3 倍^[6]。摄食过程并非只是对食物供应环境的简单响应,摄食者自身的营养代谢能力也会对摄食起到一定的反馈调节作用。一般认为,纺锤水蚤自身对能量的储备能力很差,不能适应较长时间的食物缺乏状态,因此多分布于食物资源相对丰富的近岸河口等生态环境^[27]。

1.3.2 饵料特性

饵料对于纺锤水蚤摄食的影响主要包括饵料大小、浓度、质量与可得性。

饵料大小会影响纺锤水蚤的滤食率,纺锤水蚤不同的发育期有不同的摄食粒径范围,汤氏纺锤水蚤从 NII 期到 NIII 期最佳的食物粒径约为 7 μm ,上限一般在 10—14 μm ,成体期摄食食物大小一般为 14—70 μm ^[28]。现场研究发现,成体纺锤水蚤倾向于摄食 >10 μm 的浮游生物^[12]。室内实验表明,双刺纺锤水蚤偏爱摄食 >20 μm 的饵料^[29],其摄食粒径的下限约为 3.1—4.4 μm 之间;红纺锤水蚤最适的食物粒径约为 10 μm ,摄食粒径下限在 3—5 μm 之间^[8];若饵料小于食物粒径的下限,就不会被摄食^[30]。

纺锤水蚤的滤食还受到饵料浓度的影响。当食物浓度低于 1.0 $\mu\text{gChla/L}$ 时,汤氏纺锤水蚤停止摄食;当食物浓度大于这个阈值时,其摄食率随着食物浓度的增加而增加;当食物浓度为 10.0 $\mu\text{gChla/L}$ 时,摄食率达到最大^[31]。对刺尾纺锤水蚤^[32]、太平洋纺锤水蚤^[6]、红纺锤水蚤^[5]的室内摄食实验中也发现,摄食率随着食物浓度的升高而增大。说明纺锤水蚤的摄食在一定范围内受到食物浓度的调节,其摄食率并非随着食物浓度的升高而一直增大,存在摄食潜能的上限,超过这个上限,摄食率保持平衡或缓慢下降。一般而言,纺锤水蚤的最低摄食浓度在 50—100 $\mu\text{gC/L}$ 之间,最大摄食率因种类和饵料类型而异,一般在 500—2000 $\mu\text{gC/L}$ 之间^[5,31,33]。

食物的质量与可得性也会对其摄食选择产生影响。饵料质量与桡足类的生殖、幼体发育和存活关系密切^[10]。饵料类型会显著影响 *A. sinjiensis* 的群体生长率和卵的孵化率,在营养价值上混合饵料比单种饵料更有优势^[13]。而且,纺锤水蚤可以优化对氮的摄取,选择性地摄食蛋白质含量高的饵料,在混合饵料中会倾向于摄食生长率高的藻细胞。藻细胞的营养组成也会显著影响其摄食选择性,与硅藻相比,*A. omorii* 更倾向于摄食富含高不饱和脂肪酸的甲藻^[34],因为在同等体积大小下,甲藻的蛋白质、脂肪与碳水化合物分别比硅藻高 2.0—6.0、1.1—3.0、2.5—3.5 倍^[35]。前些年硅藻作为桡足类经典饵料的地位不断得到质疑,在纺锤水蚤中也发现硅藻显著降低产卵率、影响卵的孵化能力的现象^[36]。但是近年来也有研究发现威氏海链藻是桡足类的良好饵料。在以威氏海链藻和其他饵料为混合食物的实验中,发现汤氏纺锤水蚤更倾向于摄食威氏海链藻,且威氏海链藻可以满足汤氏纺锤水蚤整个生命周期的营养需求,而其他饵料(微型原甲藻,球等边金藻 *Isochrysis galbana*,海洋球石藻,游仆虫 *Euplotes* sp.) 均无法支持其完成整个发育期^[37]。自然状况下,纺锤水蚤更倾向于摄食运动能力较强的纤毛虫和异养型甲藻等^[14],因为纤毛虫的含氮量要高于藻类,并且游动能力强,与摄食者相遇几率大,因此纺锤水蚤会对其主动摄食^[23]。纺锤水蚤属的不同种在食物选择上存在差异,与其生活环境状况有关,有可能依据具体环境中食物的可得性与特点来调节食物组成^[12]。

1.3.3 环境因子

影响纺锤水蚤摄食的环境因子主要包括温度、盐度、光照与海流等。

纺锤水蚤一般具有最适的摄食温度,因种类不同其范围一般在 15—25℃ 之间,在低于最适温度时摄食率随温度升高而增大,超过这个温度,摄食率会降低^[6]。温度可影响达到最大摄食率所需的饵料浓度,温度较高时,纺锤水蚤在较低饵料浓度时即可达到最大摄食率^[32]。盐度对摄食的影响与温度作用相似,一般最适盐度范围为 25—30^[6,38]。

一般认为光会抑制纺锤水蚤的摄食,汤氏纺锤水蚤的摄食率与光强呈负相关关系^[39]。克氏纺锤水蚤具有明显的昼夜摄食节律,其肠道色素含量在夜晚明显升高,并在黄昏后和黎明前达到两个高峰,而且昼夜摄食节律独立地受到光因子的调节^[40]。

涡流对于纺锤水蚤的摄食影响取决于其所采取的摄食策略。在涡流对汤氏纺锤水蚤摄食率影响的研究中发现:小尺度的涡流可能增加浮游生物相遇的几率,因此会使伏击摄食者的摄食率增大,有利于对纤毛虫的选择性摄食。但是对于悬浮摄食者来说,涡流则可能扰乱附肢运动产生的摄食水流,降低其摄食率^[24]。

1.4 摄食利用效率及摄食活动的生态意义

摄食利用效率是指摄食食物量中用于自身代谢、生长发育的部分所占的比例。通常摄食量中只有约 50% 用于自身代谢、生长发育及能量储存,其余部分会通过 sloppy feeding、排遗及排泄等不同方式以溶解有机碳 (Dissolved organic carbon, DOC) 和无机营养盐的形式释放到海水中 (图 1)。

纺锤水蚤不仅是连接初级生产者和更高营养级生物的媒介,其摄食活动对于生态系统中 (Dissolved organic matter, DOM) 的产生和营养元素的再生利用等都具有重要意义^[8]。纺锤水蚤在滤食过程中会将一些粪便变成较小的、沉降缓慢的颗粒,延长在水层中停留的时间。不同的 DOC 产生方式决定了碳 (氮) 向底层的输送量,摄食过程中食物的破碎 (sloppy feeding)、排遗及粪便释放的 DOC 及无机营养盐可以在真光层被再利用,沉降粪便中的有机物可以供底栖食物链利用^[53]。通常 sloppy feeding 会受到食物粒径的影响,当摄食粒径较大的浮游植物时,其摄食食物 (以碳计算) 约 60% 会以 DOC 的形式散失到周围环境中,且通过 sloppy feeding 释放的 DOC 比例随相应食物浓度的升高而增大^[42]。DOC 可供细菌和浮游植物利用,与微食物环具有重要的链接作用。

2 纺锤水蚤不同种的摄食研究现状

纺锤水蚤为世界性近岸优势种,以往的摄食研究多以西北太平洋沿岸的优势种—汤氏纺锤水蚤为对象,针对其食物组成、摄食选择性、摄食机制及同化效率等开展了系统研究。目前国内还未开展此方面的系统研究,对于常见的近岸优势种的研究多是基础生物学研究,如形态、生态分布、种群密度、室内摄食等 (表2),集

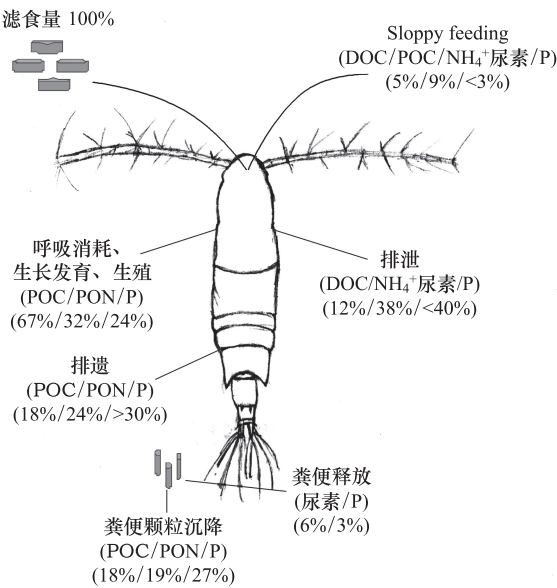


图 1 纺锤水蚤摄食威氏海链藻后 C、N、P 的利用途径及效率^[5,41]

Fig.1 The C/N/P flow of *Acartia* feeding on *Thalassiosira weissflogii*^[5,41]

表 2 纺锤水蚤不同种的摄食研究状况

Table 2 Feeding studies of common *Acartia* species

种名 Species	海区 Region	研究内容 Research contents	参考文献 References
汤氏纺锤水蚤 <i>A. tonsa</i>	Atlantic coast	食物种类、摄食行为 (摄食策略、选择性等)、同化效率等	[13, 17, 26-27, 41]
克氏纺锤水蚤 <i>A. clausi</i>	Adriatic Sea regions	食物质量、发育期对其摄食的影响,摄食节律及硅藻水华对其生长的影响	[18, 25, 36, 40]
<i>A. sinjiensis</i>	Queensland, Australian	不同培养条件 (饵料、个体密度、光周期等) 对生长及繁殖的影响	[9-11]
<i>A. grani</i>	Barcelona, Spain	对有毒甲藻的摄食反应;摄食活动	[21, 43]
<i>A. hudsonica</i>	North West Atlantic	对低浓度赤潮藻的摄食研究	[44]
刺尾纺锤水蚤 <i>A. spinicauda</i>	大鹏湾 & 室内实验	对有毒赤潮藻-亚历山大藻的摄食研究	[32]
太平洋纺锤水蚤 <i>A. bifilosa</i>	厦门港海区	温度、盐度、食物浓度、生理状态等因素对摄食的影响	[26]
双刺纺锤水蚤 <i>A. erythraea</i>	胶州湾海域 & 室内实验	饵料类型对双刺纺锤水蚤雌体繁殖及幼体存活的影响	[4, 30]
红纺锤水蚤	香港海域 & 珠江口	对不同饵料的摄食研究及同化效率	[5, 8]
<i>A. hongii</i>	Gyeonggi Bay, Yellow Sea (in situ bottle incubation)	对浮游植物和微型浮游动物的摄食	[14]

中在太平洋纺锤水蚤、刺尾纺锤水蚤、红纺锤水蚤^[5-6,32], 现场摄食研究仅有 *A. hongii*^[14]。

3 研究展望

3.1 摄食研究应关注纺锤水蚤不同发育阶段

目前对于纺锤水蚤的摄食多以成体为研究对象, 其整个生命周期包括六期无节幼虫和五期桡足幼体, 不同发育阶段个体大小、摄食能力都不同, 因此采取的摄食策略也不同, 纺锤水蚤成体的摄食研究结论不能完全适用于幼体。幼体期由于摄食能力差, 对食物变化更为敏感, 且幼体的存活率直接影响到纺锤水蚤种群动态, 应该充分考虑到各种因子对于摄食过程的影响, 关注幼体期摄食研究。

3.2 关注自然现场的摄食研究

目前的研究主要以一些易于培养的甲藻、硅藻、纤毛虫等进行室内摄食实验, 这些研究可以得出在人为可控条件下特定饵料被摄食与同化的效率, 但仍然无法确切回答自然环境中纺锤水蚤的生态作用与功能。纺锤水蚤生活的近岸生态系统环境复杂, 食物种类和浓度不均匀, 室内研究所用的混合饵料在自然状况下并不一定同时共存于一个摄食环境, 即使使用自然状况下的饵料混合物也难以模拟自然现场, 如水动力状况、空间尺度等。纺锤水蚤不能适应食物资源的较大波动, 对营养环境的变化相对较敏感。近海环境受人类活动影响显著, 环境条件的变化必然会对其摄食行为产生影响, 这种变化有可能会引起其摄食行为的适应性改变。因此, 要明确纺锤水蚤在近岸生态系统中的地位, 研究其食物多样性及摄食传递效率, 必须以自然环境中的纺锤水蚤为研究对象。但是目前由于方法的限制, 还无法定量研究自然状态下它们对不同食物类型的选择性和摄食量^[1]。

3.3 摄食研究方法的改进

目前关于纺锤水蚤摄食生态学的认识都是基于传统的浮游动物摄食研究方法, 现场摄食率的获得往往以现场的浮游生物浓缩后作为饵料进行现场或者船载培养的方法^[17,20], 而且食物种类和摄食量的确定往往依赖于显微镜检和计数, 比较费时而且不够精确。分子生物学手段应用于摄食研究是比较有效的方法, Haley 等(2011) 以饵料特异性引物成功地运用 PCR 技术检测到 *A. hudsonica* 摄食的低浓度的 *Alexandrium fundyense*, 显示了分子生物学手段在摄食研究中的应用潜力^[43]。今后应结合室内实验与分子生物学方法, 研究其食物多样性、选择性及定量。

References:

- [1] Nejstgaard J C, Frischer M E, Raule C L, Gruebel R, Kohlberg K E, Verity P G. Molecular detection of algal prey in copepod guts and fecal pellets. *Limnology and Oceanography-Methods*, 2003, 1: 29-38.
- [2] Saiz E, Calbet A, Atienza D, Alcaraz M. Feeding and production of zooplankton in the Catalan Sea (NW Mediterranean). *Progress in Oceanography*, 2007, 74(2/3): 313-328.
- [3] Zhang W C, Zhao N, Tao Z C, Zhang C X. An Illustrated Guide to Marine Planktonic Copepods in China Seas. Beijing: Science Press, 2010: 137-147.
- [4] Zhang Z, Sun S, Li J, Tao Z C. Different unialgal diets affects the reproduction of *Acartia bifilosa*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2008, 39(6): 612-618.
- [5] Liu S, Li T, Huang H, Guo Z L, Huang L M, Wang W X. Feeding efficiency of a marine copepod *Acartia erythraea* on eight different algal diets. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(1): 22-26.
- [6] Gao Y H, Lin B. Effects of some factors on feeding rates of *Acartia pacifica*. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 1999, 38(5): 751-757.
- [7] Liu S, Wang W X. Feeding and reproductive responses of marine copepods in South China Sea to toxic and nontoxic phytoplankton. *Marine Biology*, 2002, 140: 595-603.
- [8] Liu S, Wang W X, Huang L M. Phosphorus dietary assimilation and efflux in a marine copepod *Acartia erythraea*. *Marine Ecology Progress Series*, 2006, 321: 193-202.
- [9] Camus T, Zeng C S. Effects of photoperiod on egg production and hatching success, naupliar and copepodite development, adult sex ratio and life expectancy of the tropical calanoid copepod *Acartia sinjiensis*. *Aquaculture*, 2008, 280(1/4): 220-226.

- [10] Milione M, Zeng C. The effects of algal diets on population growth and egg hatching success of the tropical calanoid copepod, *Acartia sinjiensis*. *Aquaculture*, 2007, 273:656-664.
- [11] Camus T, Zeng C. The effects of stocking density on egg production and hatching success, cannibalism rate, sex ratio and population growth of tropical calanoid copepod *Acartia sinjiensis*. *Aquaculture*, 2009, 287: 145-151.
- [12] Bollens G C R, Penry D L. Feeding dynamics of *Acartia* spp. Copepods in a large, temperate estuary (San Francisco Bay, CA). *Marine Ecology Progress Series*, 2003, 257: 139-158.
- [13] Roman M R. Utilization of detritus by the copepod, *Acartia tonsa*. *Limnology and Oceanography*, 1984, 29(5): 949-959.
- [14] Yang E J, Ju S J, Choi J K. Feeding activity of the copepod *Acartia hongii* on phytoplankton and micro-zooplankton in Gyeonggi Bay, Yellow Sea Estuarine. *Coastal and Shelf Science*, 2010, 88(2): 292-301.
- [15] Kiørboe T, Saiz E, Viitasalo M. Prey switching behaviour in the planktonic copepod *Acartia tonsa*. *Marine Ecology Progress Series*, 1996, 143: 65-75.
- [16] Vargas C A, González H E. Plankton community structure and carbon cycling in a coastal upwelling system. I. Bacteria, microprotozoans and phytoplankton in the diet of copepods and appendicularians. *Aquatic Microbial Ecology*, 2004, 34: 151-164.
- [17] Calliari D, Britos A, Conde D. Testing the relationship between primary production and *Acartia tonsa* grazing pressure in an estuarine lagoon. *Journal of Plankton Research*, 2009, 31(9): 1045-1058.
- [18] Dutz J, Peters J. Importance and nutritional value of large ciliates for the reproduction of *Acartia clausi* during the post spring-bloom period in the North Sea. *Aquatic Microbial Ecology*, 2008, 50: 261-277.
- [19] Tan Y H, Huang L M, Chen Q C, Huang X P. Seasonal variation in zooplankton composition and grazing impact on phytoplankton standing stocking in the Pearl River Estuary, China. *Continental Shelf Research*, 2004, 24: 1949-1968.
- [20] Irigoien X, Castel J. Feeding rates and productivity of the copepod *Acartia bifilosa* in a highly turbid estuary; the Gironde (SW France). *Hydrobiologia*, 1995, 311: 115-125.
- [21] Costa da R M, Fernandez F. Feeding and survival rates of the copepods *Euterpina acutifrons* Dana and *Acartia grani* Sars on the dinoflagellates *Alexandrium minutum* Balech and *Gyrodinium corsicum* Paulmier and the Chryptophyta *Rhodomonas baltica* Karsten. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2002, 273:131-142.
- [22] Zheng Z, Li S J, Lian G S. The Biology of Marine Planktonic Copepod. Xiamen: Xiamen University Press, 1992: 175-184.
- [23] Calbet A, Carlotti F, Gaudy R. The feeding ecology of the copepod *Centropages typicus* (Kroyer). *Progress in Oceanography*, 2007, 72(1): 137-150.
- [24] Saiz E, Kirboe T. Predatory and suspension feeding of the copepod *Acartia tonsa* in turbulent environments. *Marine Ecology Progress Series*, 1995, 122(1/3): 147-158.
- [25] Takahashi K, Tiselius P. Ontogenetic change of foraging behaviour during copepodite development of *Acartia clausi*. *Marine Ecology Progress Series*, 2005, 303(1): 213-223.
- [26] Swadling KM, Marcus NH. Selectivity in the natural diets of *Acartia tonsa* dana (copepoda: calanoida): comparison of juveniles and adults. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1994, 181(1): 91-103.
- [27] Thor P. Elevated respiration rates of the neritic copepod *Acartia tonsa* during recovery from starvation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2003, 283(1/2): 133-143.
- [28] Berggreen U B, Hansen B, Kiørboe T. Food size spectra, ingestion and growth of the copepod *Acartia tonsa* during development: implications for determination of copepod production. *Marine Biology*, 1988, 99(1): 341-352.
- [29] Li J, Sun S, Li C L, Zhang Z, Pu X M. Effects of different diets on the reproduction and naupliar development of the copepod *Acartia bifilosa*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2008, 355(2): 95-102.
- [30] Li J, Li C L, Pu X M, Zhan Z. Effects of diatom diets on the reproduction of *Acartia bifilosa*. *Marine Fisheries Research*, 2008, 29(4): 84-90.
- [31] Reeve M R, Walter M A. Observations on the existence of lower threshold and upper critical food concentrations for the copepod *Acartia tonsa* Dana. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1977, 29(3): 211-221.
- [32] Jiang T J, Qi S. The grazing of *Acartia spinicauda* Giesbrecht on *Alexandrium catenella* Taylor in Dapen Bay, Guangdong. *Journal of Jinan University (Natural Science)*, 1994, 15(3): 99-104.
- [33] Jonsson P R, Tiselius P. Feeding behaviour, prey detection and capture efficiency of the copepod *Acartia tonsa* feeding on planktonic ciliates. *Marine Ecology Progress Series*, 1990, 60:35-44.
- [34] Shin K, Jang M C, Jang P K, Ju S J, Lee T K, Chang M. Influence of food quality on egg production and viability of the marine planktonic copepod *Acartia omorii*. *Progress in Oceanography*, 2003, 57(3/4): 265-277.
- [35] Kleppel G S. On the diets of calanoid copepods. *Marine Ecology Progress Series*, 1993, 99: 183-195.

- [36] Miralto A, Guglielmo L, Zagami G, Buttino I, Granata A, Ianorra A. Inhibition of population growth in the copepods *Acartia clausi* and *Calanus helgolandicus* during diatom blooms. *Marine Ecology Progress Series*, 2003, 254:253-268.
- [37] Ismar S M H, Hansen T, Sommer U. Effect of food concentration and type of diet on *Acartia* survival and naupliar development. *Marine Biology*, 2008, 154(2): 335-343.
- [38] Holste L, Peck M A. The effects of temperature and salinity on egg production and hatching success of Baltic *Acartia tonsa* (Copepoda: Calanoida): a laboratory investigation. *Marine Biology*, 2006, 148: 1061-1070.
- [39] Stearns D E. Copepod grazing behavior in simulated natural light and its relation to nocturnal feeding. *Marine Ecology Progress Series*, 1986, 30: 65-76.
- [40] Kouassi E M, Pagano M, Saint-Jean L, Arfi R, Bouvy M. Vertical Migrations and Feeding Rhythms of *Acartia clausi* and *Pseudodiaptomus hessei* (Copepoda: Calanoida) in a Tropical Lagoon (Ebrié, Côte d'Ivoire). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2001, 52(6): 715-728.
- [41] Sara GK, Steinberg DK, Bronk DA. The relative importance of sloppy feeding, excretion, and fecal pellet leaching in the release of dissolved carbon and nitrogen by *Acartia tonsa* copepods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2011, 404:47-56.
- [42] Møller E F. Production of dissolved organic carbon by sloppy feeding in the copepods *Acartia tonsa*, *Centropages typicus*, and *Temora longicornis*. *Limnology and Oceanography*, 2007, 52(1): 79-84.
- [43] Henriksen C I, Saiz E, Calbet A, Hansen B W. Feeding activity and swimming patterns of *Acartia grani* and *Oithona davisae* nauplii in the presence of motile and non-motile prey. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, 331: 119-129.
- [44] Haley S T, Juhl A R, Kerfer B A, Anderson D M, Dyhrman S T. Detecting copepod grazing on low-concentration populations of *Alexandrium fundyense* using PCR identification of ingested prey. *Journal of Plankton Research*, 2011, 33(6): 927-936.

参考文献:

- [3] 张武昌, 赵楠, 陶振铎, 张翠霞编著. 中国海浮游桡足类图谱. 北京: 科学出版社, 2010:137-147.
- [4] 张展, 孙松, 李捷, 陶振铎. 几种单胞藻对双刺纺锤水蚤雌体繁殖的影响. *海洋与湖沼*, 2008, 39(6): 612-618.
- [6] 高亚辉, 林波. 几种因素对太平洋纺锤水蚤摄食率的影响. *厦门大学学报(自然科学版)*, 1999, 38(5): 751-757.
- [22] 郑重, 李少菁, 连光山编著. 海洋桡足类生物学. 厦门: 厦门大学出版社, 1992: 175-184.
- [30] 李捷, 李超伦, 蒲新明, 张展. 不同饵料对双刺纺锤水蚤繁殖的影响研究. *海洋水产研究*, 2008, 29(4): 84-90.
- [32] 江天久, 杞桑. 广东深圳大鹏湾的桡足类腹刺纺锤水蚤对链状亚历山大藻摄食的研究. *暨南大学学报(自然科学版)*, 1994, 15(3): 99-104.

CONTENTS

Hyperspectral characteristics of typical subtropical trees at different levels of simulated acid rain	SHI Qilong, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (5621)
Wind fields and the development of wind corridors in the urban metropolis of the Pearl River Delta	SUN Wu, WANG Yiming, WANG Yuelei, et al (5630)
Dynamics of canopy structure and understory light in montane evergreen broadleaved forest following a natural disturbance in North Guangdong	OU Yudian, SU Zhiyao (5637)
The influence of 4 species of preys on the development and fecundity of <i>Orius similis</i> Zheng	ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (5646)
Woody seedling regeneration in secondary succession of monsoon broad-leaved evergreen forest in Puer, Yunnan, Southwest China	LI Shuaifeng, LIU Wande, SU Jianrong, et al (5653)
Scale-dependent spatial variation of species abundance and richness in two mixed evergreen-deciduous broad-leaved karst forests, Southwest China	ZHANG Zhonghua, HU Gang, ZHU Jiedong, et al (5663)
The spatial heterogeneity of soil nutrients in a mid-subtropical <i>Castanopsis kawakamii</i> natural forest	SU Songjin, LIU Jinfu, HE Zhongsheng, et al (5673)
Effects of <i>Vetiveria zizanioides</i> L. growth on chemical and biological properties of copper mine tailing wastelands	XU Decong, ZHAN Jing, CHEN Zheng, et al (5683)
Effects of different irrigation regimes on characteristics of transpiring water-consumption of three desert species	SHAN Lishan, LI Yi, ZHANG Ximing, et al (5692)
The response of euhalophyte <i>Salicornia europaea</i> L. to different nitrogen forms	NIE Lingling, FENG Juanjuan, LÜ Sulian, et al (5703)
Dynamic analysis on spatial pattern of dominant tree species of cold-temperate coniferous forest in the succession process in the Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, BI Runcheng, ZHANG Jintun, et al (5713)
Effects of AM fungi on the growth and nutrients of <i>Salvia miltiorrhiza</i> Bge. under different soil water and fertilizer conditions	HE Xueli, MA Li, MENG Jingjing, et al (5721)
The dynamics of soil respiration in a winter wheat field with plastic mulched-ridges and unmulched furrows	SHANGGUAN Yuxian, SHI Ripeng, HAN Kun, et al (5729)
Cattle dung composted by different methods had different effects on the growth and quality of soybean	GUO Liyue, LIU XueMei, ZHAN Lijie, et al (5738)
Nitrogen budget modelling at the headwaters of Urumqi River Based on the atmospheric deposition and runoff	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (5747)
Evaluating the ecosystem sustainability of circular agriculture based on the energy theory: a case study of the Xingyuan circular agriculture demonstration site in Fuqing City, Fujian	ZHONG Zhenmei, WENG Boqi, HUANG Qinlou, et al (5755)
Effects of cold exposure and recovery on viability and energy consumption in the sub-adult female giant spiny frogs (<i>Paa spinosa</i>)	LING Yun, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (5763)
A comparison of night-interruption on diapause-averting among two populations of the cotton bollworm, <i>Helicoverpa armigera</i>	CHEN Yuansheng, TU Xiaoyun, CHEN Chao, et al (5770)
Effects of soil erosion control measures on soil organic carbon and total nitrogen in a small watershed	ZHANG Yanjun, GUO Shengli, NAN Yafang, et al (5777)
Comparative analysis of Lugu Lake watershed ecosystem function under different management authorities	DONG Rencai, GOU Yaqing, LI Siyuan, et al (5786)
Relationship between fish community diversity and environmental factors in the Lianjiang River, Guangdong, China	LI Jie, LI Xinhui, JIA Xiaoping, et al (5795)
Effect of dissolved oxygen level on metabolic mode in juvenile crucian carp	ZHANG Wei, CAO Zhendong, FU Shijian (5806)
Community composition of net-phytoplankton and its relationship with the environmental factors at artificial reef area in Xiangshan Bay	JIANG Zhibing, CHEN Quanzhen, SHOU Lu, et al (5813)
Emergency appraisal on the loss of ecosystem service caused by marine reclamation: a case study in the Taozi Bay	LI Ruiqian, MENG Fanping (5825)
Assessing the visual quality of urban waterfront landscapes: the case of Hefei, China	YAO Yumin, ZHU Xiaodong, XU Yingbi, et al (5836)
Review and Monograph	
Advances in ecological genomics	SHI Yongbin, LI Junmin, JIN Zexin (5846)
Advances in studies of ecological effects of ocean acidification	WANG Siru, YIN Kedong, CAI Weijun, et al (5859)
Advances in feeding ecology of <i>Acartia</i>	HU Simin, LIU Sheng, LI Tao, et al (5870)
Research progress on ammonia-oxidizing microorganisms in estuarine ecosystem	ZHANG Qiufang, XU Jirong, SU Jianqiang, et al (5878)
Recent progress in research on neutrophilic, microaerophilic iron(II)-oxidizing bacteria	LIN Chaofeng, GONG Jun (5889)
A comparison study on primary production in typical low-latitude seas (South China Sea and Bay of Bengal)	LIU Huaxue, SONG Xingyu, HUANG Honghui, et al (5900)
Advances in leaf maximum carboxylation rate and its response to environmental factors	ZHANG Yanmin, ZHOU Guangsheng (5907)
10-years of bird habitat selection studies in mainland China: a review	JIANG Aiwu, ZHOU Fang, QIN Yue, et al (5918)
Scientific Note	
The effects of incubation temperature on embryonic metabolism and hatchling behavior in the Red-banded Snake, <i>Dinodon rufonotatum</i>	SUN Wenjia, YU Xiao, CAO Mengjie, et al (5924)
Sensitivity analysis and dynamics of soil microbial biomass carbon, nitrogen and related parameters in red-yellow soil of tea garden with different fertilization practices	WANG Limin, QIU Shanlian, LIN Xinjian, et al (5930)
Effect of fertilizers on Cd uptake of two edible amaranthus herbs	LI Ningyu, LI Zhian, ZHUANG Ping, et al (5937)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 18 期 (2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 18 (September, 2012)

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:1000717	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