

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

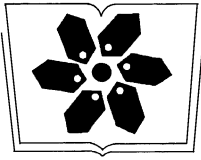
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第5期 Vol.32 No.5 **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 5 期 2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

淀山湖富营养化过程的统计学特征	程 曦, 李小平, 陈小华 (1355)
拟水狼蛛对食物中镉的吸收和排泄及生物学响应	张征田, 张光铎, 张虎成, 等 (1363)
接种后共培养时间对丛枝菌根喜树幼苗喜树碱含量的影响	于 洋, 于 涛, 王 洋, 等 (1370)
沙尘暴发生日数与空气湿度和植物物候的关系——以民勤荒漠区为例	常兆丰, 王耀琳, 韩福贵, 等 (1378)
西藏牦牛 mtDNA D-loop 区的遗传多样性及其遗传分化	张成福, 徐利娟, 姬秋梅, 等 (1387)
红松阔叶混交林林隙土壤水分分布格局的地统计学分析	李 猛, 段文标, 陈立新, 等 (1396)
黄土丘陵区子午岭不同植物群落下土壤氮素及相关酶活性的特征	邢肖毅, 黄懿梅, 黄海波, 等 (1403)
毛竹高速生长期土壤碳氮动态及其微生物特性	王雪芹, 张奇春, 姚槐应 (1412)
长期 N 添加对典型草原几个物种叶片性状的影响	黄菊莹, 余海龙, 袁志友, 等 (1419)
接种 AMF 对菌根植物和非菌根植物竞争的影响	张宇亭, 王文华, 申 鸿, 等 (1428)
福州大叶榕隐头果内的小蜂群落结构与多样性	吴文珊, 陈友铃, 蔡美满, 等 (1436)
不同生境朝鲜淫羊藿生长与光合特征	张永刚, 韩 梅, 韩忠明, 等 (1442)
基于日均温度的华山松径向生长敏感温度研究	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (1450)
长江三峡库区蝶类群落的等级多样性指数	马 琦, 李爱民, 邓合黎 (1458)
甜瓜幼苗叶片光合变化特性	韩瑞锋, 李建明, 胡晓辉, 等 (1471)
双季稻田种植不同冬季作物对甲烷和氧化亚氮排放的影响	唐海明, 肖小平, 帅细强, 等 (1481)
古尔班通古特沙漠西部地下水位和水质变化对植被的影响	曾晓玲, 刘 彤, 张卫宾, 等 (1490)
流溪河水库颗粒有机物及浮游动物碳、氮稳定同位素特征	宁加佳, 刘 辉, 古滨河, 等 (1502)
采用本土蔬菜种子替代水藓评价污泥有机腐熟度	刘颂颂, 许田芬, 吴启堂, 等 (1510)
人为营养物质输入对汉丰湖不同营养级生物的影响——稳定 C、N 同位素分析	李 斌, 王志坚, 金 丽, 等 (1519)
流沙湾海草床海域浮游植物的时空分布及其影响因素	张才学, 陈慧妍, 孙省利, 等 (1527)
福寿螺的过冷却研究	赵本良, 章家恩, 罗明珠, 等 (1538)
水稻生育期对褐飞虱和白背飞虱卵巢发育及起飞行为的影响	陈 宇, 傅 强, 赖凤香, 等 (1546)
绿盲蝽越冬卵的耐寒能力	卓德干, 李照会, 门兴元, 等 (1553)
陆桥岛屿环境下社鼠种群数量的估算方法	张 旭, 鲍毅新, 刘 军, 等 (1562)
北京市居民食物消费碳足迹	吴 燕, 王效科, 逯 非 (1570)
社会经济系统磷物质流分析——以安徽省含山县为例	傅银银, 袁增伟, 武慧君, 等 (1578)
内陆河流域试验拍卖水权定价影响因素——以黑河流域甘州区为例	邓晓红, 徐中民 (1587)
专论与综述	
台风对森林的影响	刘 斌, 潘 澜, 薛 立 (1596)
海洋酸化对珊瑚礁生态系统的影响研究进展	张成龙, 黄 晖, 黄良民, 等 (1606)
三种外来入侵斑潜蝇种间竞争研究进展	相君成, 雷仲仁, 王海鸿, 等 (1616)
沉积物生源要素对水体生态环境变化的指示意义	于 宇, 宋金明, 李学刚, 等 (1623)
异化 Fe(III) 还原微生物研究进展	黎慧娟, 彭静静 (1633)
问题讨论	
锡林郭勒盟生态脆弱性	徐广才, 康慕谊, Marc Metzger, 等 (1643)
研究简报	
哥斯达黎加外海夏季表层浮游动物种类组成及分布	刘必林, 陈新军, 贾 涛, 等 (1654)



封面图说: 气候变暖下的北极冰盖——自从 1978 年人类对北极冰盖进行遥感监测以来, 北极冰正以平均每年 8.5% 的速度持续缩小, 每年 1500 亿吨的速度在融化。这使科学家相信, 冰盖缩小的根本原因是全球变暖。北极的冰盖消失, 让更大面积的深色海水暴露出来, 使海水吸收更多太阳热辐射反过来又加剧冰盖融化。由于北极冰的加速融化, 北冰洋的通航已经成为 21 世纪初全球最重要的自然地理事件和生态事件。从这张航片可以看到北极冰缘正在消融、开裂崩塌的现状。

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

DOI: 10.5846/stxb201101120061

李斌, 王志坚, 金丽, 江星, 徐丹丹, 刘晓蕾, 陈大庆, 张耀光. 人为营养物质输入对汉丰湖不同营养级生物的影响——稳定 C、N 同位素分析. 生态学报, 2012, 32(5): 1519-1526.

Li B, Wang Z J, Jin L, Jiang X, Xu D D, Liu X L, Chen D Q, Zhang Y G. Effects of anthropogenic nutrient input on organisms from different trophic levels in Hanfeng Lake: Evidence from stable carbon and nitrogen isotope analysis. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(5): 1519-1526.

人为营养物质输入对汉丰湖不同营养级生物的影响 ——稳定 C、N 同位素分析

李 斌¹, 王志坚¹, 金 丽¹, 江 星¹, 徐丹丹¹, 刘晓蕾¹, 陈大庆², 张耀光^{1,*}

(1. 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 水产科学重庆市市级重点实验室, 西南大学生命科学学院, 重庆 400715;

2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 武汉 430223)

摘要:以长江一级支流小江上游的汉丰湖为研究对象, 设置了 4 个采样点(影响组: A, B; 对照组: C, D), 应用碳、氮稳定性同位素探讨人类生活污水和农业面源污染对汉丰湖水生生态系统中不同营养级水平生物类群的影响。结果表明: 影响组 POM(颗粒有机物)和螺类碳、氮稳定性同位素比值范围分别为 $-25.93‰$ — $-24.63‰$, $4.12‰$ — $9.86‰$, $-14.28‰$ — $-21.60‰$, $7.97‰$ — $19.99‰$; 对照组 POM(颗粒有机物)和螺类碳、氮稳定性同位素比值范围分别为 $-25.62‰$ — $-22.51‰$, $0.01‰$ — $6.56‰$, $-22.96‰$ — $-19.21‰$, $6.75‰$ — $8.89‰$; 不同组间 POM 和初级消费者螺类碳同位素比值无明显空间变化($P>0.05$), 而氮稳定性同位素比值空间变化显著($P<0.05$)。因此, 在汉丰湖食物网中, 氮稳定性同位素特征更好地反应了营养物质(人为输入)吸收和富集的信息。与固着藻类、鱼类等相比, POM 和软体动物螺类更适合作为环境评价的指示物。影响组 A、B 样点的部分生物类群已经受到了人为营养物质输入的影响, 影响强度 B 样点区域>A 样点区域。结果建议加强汉丰湖水环境保护, 控制污水排放量及提高污水处理水平, 对于保护小江和三峡库区水质具有十分重要的意义。

关键词: 稳定同位素; POM; 螺类; 汉丰湖

Effects of anthropogenic nutrient input on organisms from different trophic levels in Hanfeng Lake: evidence from stable carbon and nitrogen isotope analysis

LI Bin¹, WANG Zhijian¹, JIN Li¹, JIANG Xing¹, XU Dandan¹, LIU Xiaolei¹, CHEN Daqing², ZHANG Yaoguang^{1,*}

1 Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development (Ministry of Education), Chongqing; Key Laboratory of Aquatic Science of Chongqing; School of Life Science Southwest University, Chongqing 400715, China

2 Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Wuhan 430223, China

Abstract: The carbon and nitrogen stable isotope analysis have been used to study the aquatic ecological system and trophic ecology since the early 1970s. With the increasing of human activities, many kinds of pollution, such as industrial waste water, widespread pollution from the overuse of fertilizers, and domestic sewage and rubbish, were discharged into rivers and lakes, causing aquatic eutrophication, which has resulted in many severe ecological consequences like the disappearance of aquatic plants and the decrease in biodiversity. Therefore, it is vital to monitor the eutrophication as early as possible. The carbon and nitrogen stable isotope analysis are a good method of checking and evaluating the trophic conditions of aquatic ecology. Moreover, many studies were conducted with regard to the organic materials in human sewage

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费资助(200903048-08); 中央高校基本科研业务费专项资金项目资助(XDJK2009C196)

收稿日期: 2011-01-12; **修订日期:** 2011-06-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangyg@swu.edu.cn

as well as the influences of the input of nutrient materials on the aquatic ecology environment. And the organisms of the Hanfeng Lake have been also faced with the threats of domestic sewage water and widespread pollution from the overuse of fertilizers produced by surrounding residents. In the present study, the stable isotope approach was used and we compared the difference of isotopic signatures of the same species between the impacted areas (A and B sites) and the control areas (C and D sites). So the aims of the present study were trying to investigate the effects of human sewage and agricultural non-point source input in organisms from the different trophic levels (primary producers and primary consumers) in the Hanfeng Lake, an upper reaches of the Yangtze River. The results showed that the carbon and nitrogen stable isotope values of POM and snail samples were various in different groups. In impact groups, the values of POM samples were -25.93‰ — -24.63‰ for $\delta^{13}\text{C}$ and 4.12‰ — 9.86‰ for $\delta^{15}\text{N}$, the values of snail samples ranged from -14.28‰ — -21.60‰ ($\delta^{13}\text{C}$) and 7.97‰ — 19.99‰ ($\delta^{15}\text{N}$); In control groups, the values of both POM and snails samples were -25.62 — -22.51‰ ($\delta^{13}\text{C}$), 0.01 — 6.56‰ ($\delta^{15}\text{N}$), -22.96 — -19.21‰ ($\delta^{13}\text{C}$), 6.75 — 8.89‰ ($\delta^{15}\text{N}$), respectively;. The $\delta^{13}\text{C}$ values for either POM and snails (primary consumers) were not significantly different between different sampling groups ($P>0.05$), while the change of $\delta^{15}\text{N}$ in different sampling groups varied greatly ($P<0.05$). The relative trophic position of primary producer, such as periphytic algae, POM (mainly composed of phytoplankton) and primary consumers (snails), are higher in impact groups than in those of control groups, whereas there is no significant difference in the relative trophic levels of the other higher trophic level consumers, such as carp (*Cyprinus carpio*), crucian (*Carassius auratus*) and Amur catfish (*Silurus asotus*). Therefore, the nitrogen stable isotope signature was proved to better describe the information on the absorption and enrichment of anthropogenically derived material in food webs of the Hanfeng Lake. Compared with the other organisms (e. g. periphytic algae and fish), POM and snails were more sensitive to pollution than other species, and could be more appropriate to serve as an indicator of assessing the quality of environment. Moreover, the organisms from both impacted groups (site A and site B) in the Hanfeng Lake have been profoundly influenced by anthropogenic inputs of nutrient matter, and site B received a more stronger interference than site A. In conclusion, it has important significance to strengthen the protection of the environment of the Hanfeng Lake, and control the effluent discharge amount for protecting the water quality of the Xiaojiang River and even the Three Gorges Reservoir Area.

Key Words: stable isotope; particulate organic matter; snail; Hanfeng Lake

20 世纪 70 年代以来,稳定碳、氮同位素分析开始应用于研究水生生态系统营养生态学。随后该方法广泛用于水生生态系统中食物网结构、食物来源、消费者个体发育过程中食性转变及鱼类洄游等方面的研究^[1-3]。

随着人类活动的增加,工业废水、农业面源污染、生活污水和垃圾等被排放到河流、湖泊、河口和沿海,对水域环境和水生生物造成了严重的威胁。水体富营养化可导致水体中有毒藻类(水华)的爆发、水生植物的消失以及水生生物多样性降低等严重后果^[4-5]。因此,水体富营养化的早期监测就显得尤为重要。而碳、氮稳定性同位素方法已经成功用于评估和监测水生生态系统营养状况^[6-7]。从近几年的文献报道可知,关注人类生活污水中有机物及营养物质输入对水生生态系统环境影响的论文越来越多^[8-10]。该方法用于评估和监测水生生态环境质量主要基于污染区和非污染区生物间同位素比值具有显著差异。通常人类生活污水中氮同位素比值较高为 10‰ — 20‰ ,大气沉降的氮同位素比值为 2‰ — 8‰ ,农业化肥中氮同位素比值为 -3‰ — 3‰ ^[6]。目前,稳定性同位素方法在国内的应用已经起步^[11-16],但尚无应用稳定同位素探讨人为营养物质输入对三峡库区水生生物影响的报道。

汉丰湖(图 1)位于长江一级支流小江的上游。近年来,汉丰湖周边居民(开县县城)产生的生活污水和垃圾、农业面源污染等对汉丰湖水生环境安全产生潜在的威胁。本研究目的:应用碳氮稳定性同位素评估人为营养物质输入对汉丰湖水域不同营养级水平生物的影响,以为汉丰湖水生生态环境的保护提供理论依

据;同时也可作为研究模式为三峡库区相关研究提供参考。

1 研究方法

1.1 研究地点

本研究设置了 A、B、C 和 D 共 4 个样点(图 1 和表 1)。A 样点距汉丰湖大坝约 1.0 km,位于消落带农业生产区附近;B 样点位于污水排放口处,距 A 样点约 2.0 km;C 样点位于 B 样点的上游约 5.0 km 处,远离人口密集的开县县城及农业生产区;D 样点位于汉丰湖大坝下游,距 A 样点约 10.0 km,远离城镇和农业生产区。A、B 样点可能受到县城生活污水及附近农业面源污染的潜在影响,故作为影响组,C、D 样点远离该区域作为对照组。

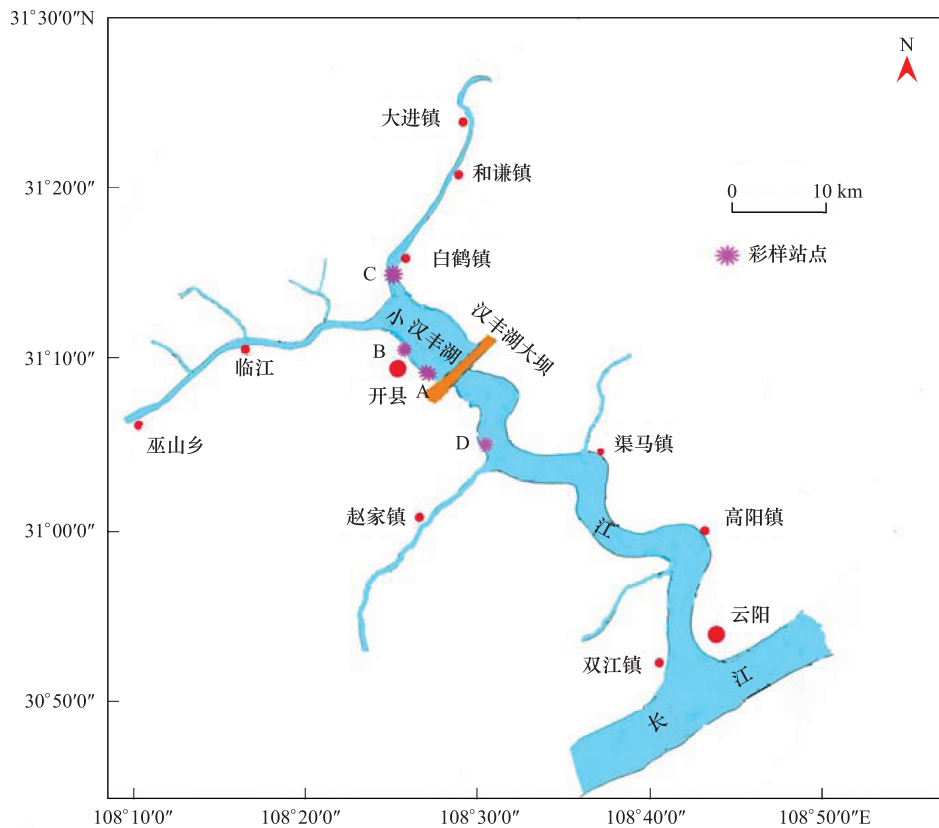


图 1 采样站点分布图

Fig. 1 location of study sites

表 1 汉丰湖各采样点生境特征

Table 1 The habitat characteristics of each sampling site in Hanfeng Lake

采样站点 Sampling site	经度 Longitude	纬度 Latitude	水流 Water flow	透明度 Transparency	取样水温 Water temperature	pH	
影响组 Impact group	A	108°27'214"	31°11'131"	缓流	20 cm	25.8	7.61
	B	108°26'104"	31°11'004"	静水	<10 cm	29.4	7.25
对照组 Control group	C	108°26'124"	31°14'644"	流水	40 cm	25.8	7.60
	D	108°29'651"	31°08'121"	流水	30 cm	29.9	7.64

1.2 样品采集及处理

采样时间为 2010 年 7 月 3 日到 6 日(三峡库区水位 145 m 左右)。在每个样点徒手采集优势水生植物,用清水除去表面附着物。POM(水中颗粒有机物,代表浮游植物)采集方法如下:取上层湖水,先通过浮游动物网过滤后水样经预烧的玻璃纤维滤膜(GF/C Whatman)过滤获得含有颗粒有机物样品滤膜用锡箔纸包裹,

存放于封口袋中。POM 主要成分由静水隐杆藻 (*Aphanothece stagnina*)、粗双菱藻 (*Surirella robusta*) 等浮游植物组成;固着藻类从沿岸的石头、船体上刮取,挑出易区分的杂质,过滤到滤膜上(GF/C whatman),处理方法同 POM。徒手采集软体动物铜锈环棱螺 (*Bellamyia aeruginosa*)、福寿螺 (*Pomacea canaliculata*) 和耳萝卜螺 (*Radiu auricularia*),并将其放置于充分曝气的蒸馏水中过夜,使其肠含物排空。每个采样点,每种螺类至少采集 30 个个体混合为 1 个样品(3 个福寿螺混为 1 个样品),去除其外壳获取软组织。鱼类样品通过电捕设备获得,取其背部肌肉。由于影响组 A、B 样点距离较近,不易区分渔获物,故 A、B 样点的渔获物混为一体进行分析,C 样点未采集渔获物。所有样品通过移动冰箱运回到实验室于-20 °C 低温保存备用。用于碳稳定性同位素分析的滤膜先用 1 mol/L 的盐酸处理,然后用蒸馏水冲洗干净。所有样品在 60 °C 烘干至恒重,用研钵研磨成均一粉末,放入干燥器保存待测。

1.3 同位素测定

所有样品的稳定性同位素比值均在西南大学地理科学学院地球化学与同位素实验室测定,稳定同位素质谱仪为菲尼根 Flash EA112 元素分析仪与菲尼根 DELT plus XP 稳定同位素质谱仪相连而成。稳定 C、N 同位素的自然丰度表示为:

$$\delta X = \left(\frac{R_{\text{样品}}}{R_{\text{标准}}} - 1 \right) \times 1000\text{‰}$$

式中,X 是¹³C 或¹⁵N,R 是¹³C/¹²C 或¹⁵N/¹⁴N。^{δ¹³C} 值是相对于国际 PDB 标准,^{δ¹⁵N} 值是相对于空气氮气的丰度。分析精度 ^{δ¹³C} < 0.20‰, ^{δ¹⁵N} < 0.30‰。

1.4 统计分析

应用 SPSS 16.0 和 Statistica 6.0 软件对实验数据进行统计分析。不同采样站点 POM 和螺类的 ^{δ¹³C} 和 ^{δ¹⁵N} 数据进行单因素方差分析(One way analysis of variance, ANOVA),若发现各采样站点间存在显著差异则以最小显著差数法(LSD)进行多重比较。所有统计值均以平均值±标准误(Mean ± SE)表示,显著水平定为 P < 0.05。

2 结果

2.1 碳、氮稳定性同位素组成

表 2 显示了 4 个样点初级生产者、POM 和消费者碳氮稳定同位素比值组成。初级生产者 ^{δ¹³C} 值变幅大,变化范围从喜旱莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*) ^{δ¹³C} 值 -28.43‰ 到狗牙根 (*Cynodon dactylon*) (C₄ 植物) ^{δ¹³C} 值 -11.20‰;与初级生产者相比,消费者 ^{δ¹³C} 值变化范围相对较小,从光泽黄颡鱼 (*Pelteobagrus nitilus*) ^{δ¹³C} 值 -28.19‰ 到福寿螺 ^{δ¹³C} 值 -17.38‰。

表 2 不同生物类群 ^{δ¹³C} 值 (^{δ¹³C} ± SE)‰、^{δ¹⁵N} 值 (^{δ¹⁵N} ± SE)‰
Table 2 The ^{δ¹³C} (^{δ¹³C} ± SE)‰, ^{δ¹⁵N} (^{δ¹⁵N} ± SE)‰ value of different organisms

	影响组 Impact					n
	A		n	B		
	^{δ¹³C} /‰	^{δ¹⁵N} /‰		^{δ¹³C} /‰	^{δ¹⁵N} /‰	
初级生产者 Primary producer						
喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	-28.43	8.03	1	-28.28	9.29	1
浮萍 <i>Lemna minor</i>	-25.62	3.71	1	-24.93	9.69	1
狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>				-11.2		1
狗尾草 <i>Setaria faberii</i>				-13.19		1
POM	-24.77 ± 0.19	4.45 ± 0.42	3	-25.74 ± 0.20	8.84 ± 0.94	3
固着藻类 Periphytic algae	-23.01	5.15	1	-17.91	15.3	1
消费者 Consumers						
铜锈环棱螺 <i>Bellamyia aeruginosa</i>	-21.13 ± 1.09	9.52 ± 0.27	3	-21.39 ± 0.19	16.00 ± 0.60	3
福寿螺 <i>Pomacea canaliculata</i>	-17.38 ± 1.34	8.30 ± 0.29	3	-20.31 ± 1.01	17.75 ± 3.12	3
耳萝卜螺 <i>Radiu auricularia</i>						
鲤鱼 <i>Carassius auratus</i>	-21.39 ± 0.34	10.87 ± 0.75	3	-21.39 ± 0.34	10.87 ± 0.75	3
鲫鱼 <i>Cyprinus (Cyprinus) carpio</i>	-20.23 ± 0.28	9.24 ± 0.27	3	-20.23 ± 0.28	9.24 ± 0.27	3

续表

	影响组 Impact					
	A			B		
	$\delta^{13}C/\text{‰}$	$\delta^{15}N/\text{‰}$	<i>n</i>	$\delta^{13}C/\text{‰}$	$\delta^{15}N/\text{‰}$	<i>n</i>
银鮠 <i>Squalulus argentatus</i>	-21.9±0.52	11.00±0.32	3	-21.9±0.52	11.00±0.32	3
光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitilus</i>	-28.18±0.49	11.69±0.08	3	-28.18±0.49	11.69±0.08	3
鲇 <i>Silurus asotus</i>	-22.20±0.84	11.35±1.62	3	-22.20±0.84	11.35±1.62	3
	对照组 Control					
	C			D		
	$\delta^{13}C/\text{‰}$	$\delta^{15}N/\text{‰}$	<i>n</i>	$\delta^{13}C/\text{‰}$	$\delta^{15}N/\text{‰}$	<i>n</i>
V 初级生产者 Primary producer						
喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>				-28.41	5.02	1
菹草 <i>Potamogeton crispus</i>	-18.9	8.66	1			
POM	-23.37±0.65	3.09±0.67	3	-24.54±0.79	2.70±2.69	3
固着藻类 Periphytic algae	-19.44	4.48	1	-24.55	4.17	1
消费者 Consumers						
铜锈环棱螺 <i>Bellamya aeruginosa</i>				-23.51±1.37	8.39±0.48	3
福寿螺 <i>Pomacea canaliculata</i>				-22.96±0.51	8.05±0.37	3
耳萝卜螺 <i>Radiu auricularia</i>	-19.37±0.22	6.82±0.09	3			
鲤鱼 <i>Carassius auratus</i>				-24.58±1.18	10.89±1.01	3
鲫鱼 <i>Cyprinus (Cyprinus) carpio</i>				-23.07±0.74	11.03±0.87	3
银鮠 <i>Squalulus argentatus</i>				-23.28±0.80	11.56±0.49	3
光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitilus</i>				-20.96±0.92	12.05±0.37	3
鲇 <i>Silurus asotus</i>				-20.43±0.27	12.85±0.58	3

初级生产者和 POM $\delta^{15}N$ 值轻于消费者。初级生产者中,不同物种甚至同一物种在不同样点间其 $\delta^{15}N$ 值也存在较大差异,如喜旱莲子草和浮萍 (*Lemna minor*) (表 2)。初级生产者中, $\delta^{15}N$ 最大值和最小值的种类均是浮萍(9.69‰,3.71‰)。消费者中,肉食性鱼类,鲇 (*Silurus asotus*) $\delta^{15}N$ 值(约 12‰)和光泽黄颡鱼 $\delta^{15}N$ 值(约 11‰)高于其它鱼类。

不同组间的初级生产者、POM 和消费者碳氮稳定性同位素比值组成的方差分析显示(表 3)。在水生生物碳稳定性同位素比值组成方面,除了消费者鲫鱼 (*Carassius auratus*) 之外,影响组中其它生物类群 $\delta^{13}C$ 值组成与对照组相比均无显著性空间差异,如初级生产者水生植物(喜旱莲子草、浮萍、菹草 (*Potamogeton crispus*) 和固着藻类),初级消费者螺类及肉食性鱼光泽黄颡鱼、鲇等。在水生生物氮稳定性同位素比值组成方面,不同组间只有 POM 和螺类 $\delta^{15}N$ 值组成存在显著性空间差异,其它类群均无显著性差异。

表 3 影响组与对照组不同类群生物之间同位素比值组成的方差分析

Table 3 The different organisms Variance analysis of between in impact group and control group

		$\delta^{13}C$			$\delta^{15}N$		
		S.S	F	P	S.S	F	P
食物源	水生植物 Aquatic plant	11.37	0.67	0.440	19.60	1.62	0.230
Food source	POM Particulate organic matte	5.22	4.49	0.060	32.83	5.51	0.047
消费者	螺类 Snail	29.5	3.51	0.080	105.8	7.64	0.014
Consumers	鲫鱼 <i>Cyprinus (Cyprinus) carpio</i>	23.01	19.21	0.012	4.84	3.89	0.120
	鲤鱼 <i>Carassius auratus</i>	4.20	4.20	0.110	4.08	2.48	0.191
	银鮠 <i>Squalulus argentatus</i>	0.17	0.30	0.671	0.38	1.02	0.380
	光泽黄颡 <i>Pelteobagrus nitilus</i>	17.81	16.33	0.056	0.13	0.93	0.436
	鲇 <i>Silurus asotus</i>	3.77	6.13	0.09	2.70	1.14	0.364

单因素方差分析显示(图 2),不同样点间(A、B、C 和 D)POM 碳稳定性同位素比值无显著性差异($F=3.75, P=0.068$),然而螺类碳稳定性同位素比值却有明显的差异($F=4.34, P=0.023$);不同样点间 POM($F=7.33, P=0.019$)和螺类($F=62.65, P=0.001$)氮稳定性同位素比值组成具有显著性差异,其中 B 样点 POM

和螺类氮稳定性同位素比值(分别为 $(8.84 \pm 0.94)\%$ 、 $(16.99 \pm 1.90)\%$)明显高于 A、C 和 D 样点。

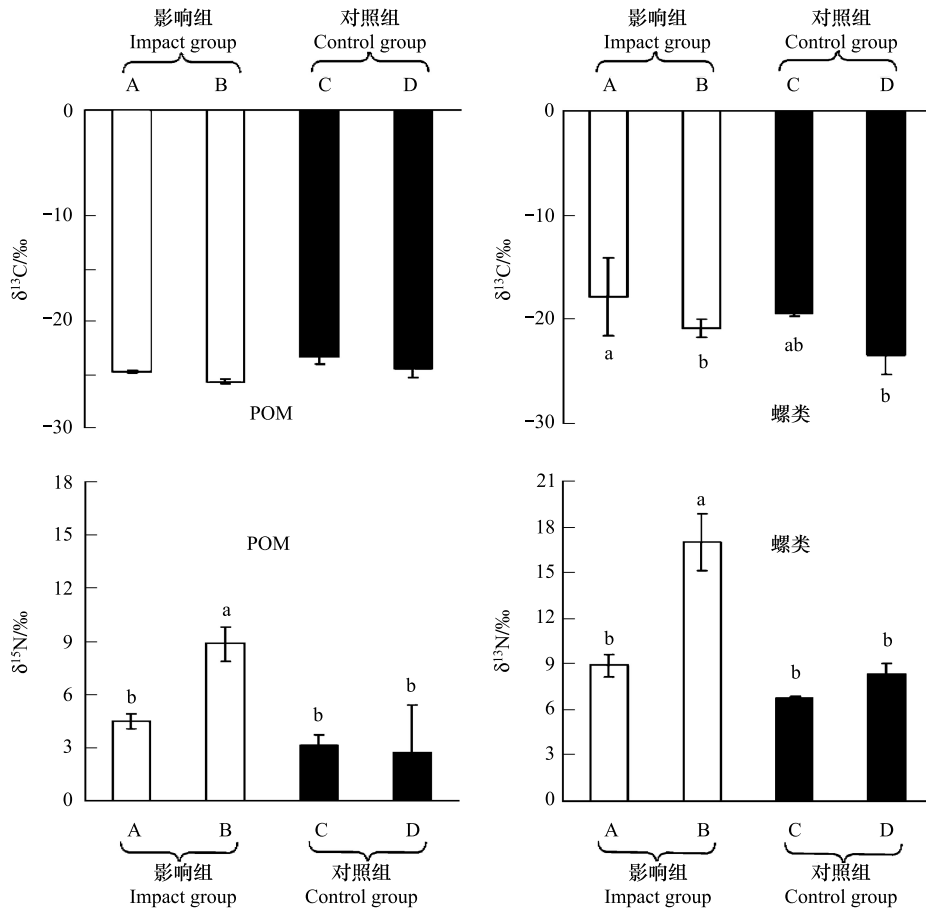


图2 不同样点之间 POM 和螺 $\delta^{15}\text{N}$ 值 $\delta^{13}\text{C}$ 值(平均数 \pm 标准误)分布图

Fig. 2 Mean (\pm SE) $\delta^{15}\text{N}\%$, $\delta^{13}\text{C}\%$ value for POM and Snail in different sampling sites; The data with the same superscript were not significantly different ($P < 0.05$)

不同上标字母的数据表示差异显著($P < 0.05$)

2.2 营养位置

营养关系是群落内各生物成员之间最重要的联系,是了解生态系统能量流动的核心,也是群落赖以生存的基础。消费者和食物之间的氮稳定性同位素分馏值伴随着营养级增加 $\delta^{15}\text{N}$ 值不断增加,不同营养级间的 $\delta^{15}\text{N}$ 富集值的平均值为 3.4% ^[17]。图3显示了 POM 和初级消费者螺类在不同组间食物网中的营养级位置,影响组中的 POM、固着藻类和螺类营养级位置明显高于对照组;而其它类群的营养级位置在不同组间的差异不大。

3 讨论

3.1 生物氮稳定性同位素比值与环境关系

关于人为营养物质输入对沿海、河口等水域环境影响的研究多有报道,在研究内容方面更多的关注一种污染源对环境的影响^[18-20]。然而,人类生产生活水平提高的同时也伴随多种污染源的产生,准确评价多种污染源对水域环境的影响并非易事。

不同外来营养物质的输入对研究区域 POM 和各生物类群碳氮稳定性同位素比值产生的影响不同。本研究中, POM 和初级消费者螺类 $\delta^{13}\text{C}$ 值空间变化不明显,而 $\delta^{15}\text{N}$ 值变化幅度较大。这一结果与诸多文献报道一致^[20,9,21],即在水生生态系统食物网中,与碳稳定性同位素相比,氮稳定性同位素特征更好地反应了营养物质(人为输入)吸收和富集的信息。通常,生活污水中具有较高的 $\delta^{15}\text{N}$ ^[6],可能是引起影响组 B 样点 POM

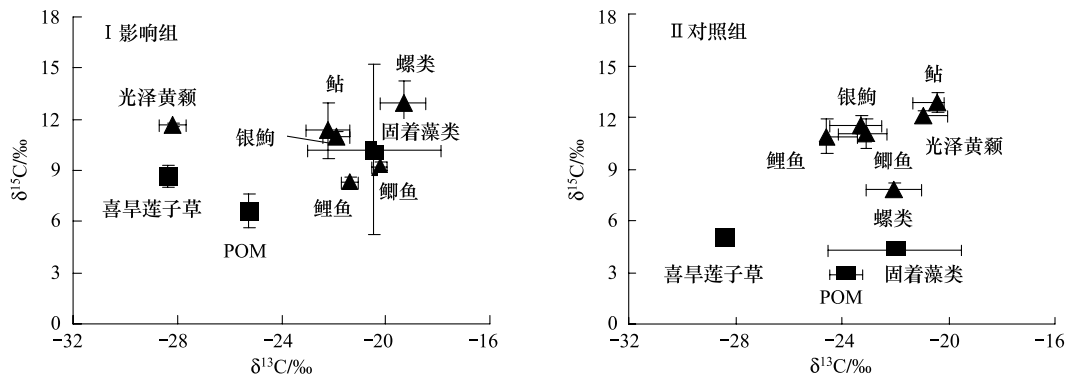


图3 不同生物类群在简化食物网模型中的营养级位置

Fig. 3 The trophic position of the different organisms in simple food web model

和螺类¹⁵N 富集的原因;影响组 A 样点距 B 样点近(2.0 km),受到上游 B 样点污水及农田面源污染(人工化肥和有机肥具有不同的 $\delta^{15}\text{N}$ 值^[22-23])的双重影响,很难区分哪种污染源对该区域 POM 和螺类等生物贡献更大,这也解释了其 $\delta^{15}\text{N}$ 值介于影响组 B 样点和对照组 C、D 样点之间的原因(表 2 和图 2);对照组 C、D 样点远离 B 样点,受人为干扰因素少,其 POM 和各生物类群同位素比值更接近于自然丰度。

3.2 生物相对营养位置

通过对不同营养级水平生物稳定性同位素比值组成分析可知,影响组中初级生产者固着藻类和 POM 的营养级位置明显高于对照组(图 3),表明影响组 POM(主要成分浮游植物)和初级生产者固着藻类吸收了富含¹⁵N 的氮源。大量文献报道,初级生产者在吸收和去除污水氮源方面具有重要作用。如, Vizzini 和 Mazzola^[24]指出水产养殖污水对附近水体初级生产者(主要是藻类)产生了明显影响,同时发现初级生产者具有富集和减少水体中营养物质(人为输入)的作用;Costanzo 等^[25]利用大型藻类同位素比值示踪污染物的扩散范围及评价了对环境的影响。初级消费者螺类相对营养级位置在影响组和对照组的差异程度比初级生产者固着藻类和 POM 更加显著(图 3),表明底栖软体动物螺类更适合于区分样点之间的污染程度,这可能与人类活动产生大量营养物质输入影响了沿岸水体底质的化学组成、物理特征和生物学特征^[26-27]有关。然而,不同组间消费者鱼类营养级位置无明显差异(图 3),表明影响组鱼类暂时未受到外来营养物质输入的影响,或者是受到的影响较小,这可能与鱼类活动范围大,迁移能力强,整合了不同区域的食物来源有关。

综上所述,本文的研究结果支持其他学者^[6,28-29]研究结论:氮稳定性同位素比值可作为人为营养物质输入的指示剂。与其它类群相比,POM 和软体动物螺类更适合作为环境评价的指示物,而且能准确区分“影响组”和“对照组”。本研究中,影响组 A、B 样点部分生物类群已经受到了人为营养物质输入的影响,影响程度,B 样点区域>A 样点区域;而对照组 C、D 样点生物类群受到人为干扰相对较少。目前,虽然影响组中鱼类暂未受到人为营养物质输入的影响,但随着汉丰湖蓄水时间的增加、水体滞留时间延长及大量生活污水和农业面源污染的持续增多,通过食物链的传递作用必将对汉丰湖鱼类产生影响,最终威胁到人类自己健康。因此,建议控制生产生活污水排放量并提高污水处理水平,有效控制农业面源污染,保护汉丰湖水生生物不受影响,进而有效保护三峡库区水环境质量势在必行。

致谢: 本实验室李凤杰和黄小铭在样品的采样和处理过程中给予的帮助;彭作刚教授和全为民博士对写作给予帮助;西南大学地理科学学院地球化学与同位素实验室杨勋林老师、张月明和冯慧文同学对同位素测定提供帮助,特此致谢。

References:

- [1] Fry B, Scalan R S, Parker P L. Stable carbon isotope evidence for two sources of organic matter in coastal sediments: seagrasses and plankton. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997, 41(12): 1875-1877.

- [2] Kneib R T, Stiven A E. Stable carbon isotope ratios in *Fundulus heteroclitus* (L.) muscle tissue and gut contents from a North Carolina *Spartina* marsh. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1980, 46(1): 89-98.
- [3] Moncreiff C A, Sullivan M J. Trophic importance of epiphytic algae in subtropical seagrass beds: evidence from multiple stable isotope analyses. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, 215: 93-106.
- [4] Pohle D G, Bricelj V M, Garcia-Esquivel Z. The eelgrass canopy: an above-bottom refuge from benthic predator for juvenile bay scallops *Argopecten irradians*. *Marine Ecology Progress Series*, 1991, 74: 45-59.
- [5] Duarte C M. Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. *Ophelia*, 1995, 41: 87-112.
- [6] McClelland J W, Valiela I, Michener R H. Nitrogen-stable isotope signatures in estuarine food webs: a record of increasing urbanization in coastal watersheds. *Limnology and Oceanography*, 1997, 42(5): 930-937.
- [7] Umezawa Y, Miyajima T, Yamamuro M, Kayanne H, Koike I. Fine-scale mapping of land-derived nitrogen in coral reefs by $\delta^{15}\text{N}$ in macroalgae. *Limnology and Oceanography*, 2002, 47(5): 1405-1416.
- [8] Tucker J, Sheats N, Giblin A E, Hopkinson C S, Montoya J P. Using stable isotopes to trace sewage-derived material through Boston Harbor and Massachusetts Bay. *Marine Environmental Research*, 1999, 48(4/5): 353-375.
- [9] Heikoop J M, Risk M J, Lazier A V, Edinger E N, Jompa J, Limmon G V, Dunn J J, Browne D R, Schwarcz H P. Nitrogen-15 signals of anthropogenic nutrient loading in reef corals. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, 40(7): 628-636.
- [10] Gartner A, Lavery P, Smit A J. Use of $\delta^{15}\text{N}$ signatures of different functional forms of macroalgae and filter-feeders to reveal temporal and spatial patterns in sewage dispersal. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 235: 63-73.
- [11] Xu J, Xie P. Studies on the food web structure of Lake Donghu using stable carbon and nitrogen isotope ratios. *Journal of Freshwater Ecology*, 2004, 19(4): 645-650.
- [12] Xu J, Xie P, Zhang M, Yang H. Variation in stable isotope signatures of seston and a zooplanktivorous fish in a eutrophic Chinese lake. *Hydrobiologia*, 2005, 541(1): 215-220.
- [13] Zhang L, Xu J, Xie P, Zang X, Qiu G, Zeng J. Stable isotope variations in particulate organic matter and a planktivorous fish in the Yangtze River. *Journal of Freshwater Ecology*, 2007, 22(3): 82-86.
- [14] Cai D L, Hong X G, Mao X H, Zhang S F, Han Y B, Gao S L. Preliminary studies on trophic structure of tidal zone in the Laoshan Bay by using carbon stable isotopes. *Acta Oceanologica Sinica*, 2001, 23(4): 41-47.
- [15] Wan Y, Hu J Y, An L H, An W, Yang M. Determination of trophic relationships within a Bohai Bay food web using stable $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 35(2): 123-130.
- [16] Wang Y Y, Yu X B, Zhang L, Xu J. Food web structure of Poyang Lake during the dry season by stable carbon and nitrogen isotopes analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1181-1188.
- [17] Post D M. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*, 2002, 83(3): 703-718.
- [18] Alongi D M, Chong V C, Dixon P, Sasekumar A, Tirendi F. The influence of fish cage aquaculture on pelagic carbon flow and water chemistry in tidally dominated mangrove estuaries of peninsular Malaysia. *Marine Environmental Research*, 2003, 55(4): 313-333.
- [19] Kress N, Herut B, Galil B S. Sewage sludge impact on sediment quality and benthic assemblages off the Mediterranean coast of Israel—a long-term study. *Marine Environmental Research*, 2004, 57(3): 213-233.
- [20] McClelland J W, Valiela I. Changes in food web structure under the influence of increased anthropogenic nitrogen inputs to estuaries. *Marine Ecology Progress Series*, 1998, 168: 259-271.
- [21] Risk M J, Erdmann M V. Isotopic composition of nitrogen in Stomatopod (Crustacea) tissues as an indicator of human sewage impacts on Indonesian coral reefs. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, 40(1): 50-58.
- [22] Högberg P. Forests losing large quantities of nitrogen have elevated ^{15}N : ^{14}N ratios. *Oecologia*, 1990, 84(2): 229-231.
- [23] Anderson C, Cabana G. Does $\delta^{15}\text{N}$ in river food webs reflect the intensity and origin of N loads from the watershed? *Science of the Total Environment*, 2006, 367(2/3): 968-978.
- [24] Vizzini S, Mazzola A. Stable isotope evidence for the environmental impact of a land-based fish farm in the western Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 49(1/2): 61-70.
- [25] Costanzo S D, O'Donohue M J, Dennison W C, Loneragan N R, Thomas M. A new approach for detecting and mapping sewage impacts. *Marine Pollution Bulletin*, 2001, 42(2): 149-156.
- [26] Pergent G, Mendez s, Pergent-Martini C, Pasqualini V. Preliminary data on the impact of fish farming facilities on *Posidonia oceanica* meadows in the Mediterranean. *Oceanologica Acta*, 1999, 22(1): 95-107.
- [27] Terlizzi A, Fraschetti S, Guidetti P, Boero F. The effects of sewage discharge on shallow hard substrate sessile assemblages. *Marine Pollution Bulletin*, 2002, 44(6): 544-550.
- [28] Cabana G, Rasmussen J B. Comparison of aquatic food chains using nitrogen isotopes. *Proceedings of the National Academy Sciences of the United States of America*, 1996, 93(20): 10844-10847.
- [29] Lake J L, McKinney R A, Osterman F A, Pruell R J, Kiddon J, Ryba S A, Libby A D. Stable nitrogen isotopes as indicators of anthropogenic activities in small freshwater systems. *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences*, 2001, 58: 870-878.

参考文献:

- [16] 王玉玉, 于秀波, 张亮, 徐军. 应用碳、氮稳定同位素研究鄱阳湖枯水末期水生食物网结构. *生态学报*, 2009, 29(3): 1181-1188.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 5 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

- Statistical characteristics of eutrophication process in Dianshan Lake CHENG Xi, LI Xiaoping, CHEN Xiaohua (1355)
- Cadmium assimilation and elimination and biological response in *Pirata subpiraticus* (Araneae: Lycosidae) fed on Cadmium diets
..... ZHANG Zhengtian, ZHANG Guangduo, ZHANG Hucheng, et al (1363)
- Effect of co-cultivation time on camptothecin content in *Camptotheca acuminata* seedlings after inoculation with arbuscular
mycorrhizal fungi YU Yang, YU Tao, WANG Yang, et al (1370)
- Relationship between frequency of sandstorms and air humidity as well as plant phenology: a case study from the Minqin desert
area CHANG Zhaofeng, WANG Yaolin, HAN Fugui, et al (1378)
- Genetic diversity and evolution relationship on mtDNA D-loop in Tibetan yaks
..... ZHANG Chengfu, XU Lijuan, JI Qiumei, et al (1387)
- Geostatistical analysis on spatiotemporal distribution pattern of soil water content of forest gap in *Pinus koraiensis* dominated
broadleaved mixed forest LI Meng, DUAN Wenbiao, CHEN Lixin, et al (1396)
- Soil nitrogen and enzymes involved in nitrogen metabolism under different vegetation in Ziwuling mountain in the Loess Plateau,
China XING Xiaoyi, HUANG Yimei, HUANG Haibo, et al (1403)
- Soil carbon, nitrogen and microbiological characteristics during bamboo high-speed growth
..... WANG Xueqin, ZHANG Qichun, YAO Huaiying (1412)
- Effects of long-term increased soil N on leaf traits of several species in typical Inner Mongolian grassland
..... HUANG Juying, YU Hailong, YUAN Zhiyou, et al (1419)
- Influence of arbuscular mycorrhizal associations on the interspecific competition between mycorrhizal and non-mycorrhizal plants
..... ZHANG Yuting, WANG Wenhua, SHEN Hong, et al (1428)
- Structure and biodiversity of fig wasp community inside syconia of *Ficus virens* Ait. var. *sublanceolata* (Miq.) Corner in Fuzhou ...
..... WU Wenshan, CHEN Youling, CAI Meiman, et al (1436)
- Growth and photosynthetic characteristics of *Epimedium koreanum* Nakai in different habitats
..... ZHANG Yonggang, HAN Mei, HAN Zhongming, et al (1442)
- The critical temperature to Huashan Pine (*Pinus armandi*) radial growth based on the daily mean temperature
..... FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (1450)
- The analysis of grade diversity indices of butterfly community in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River
..... MA Qi, LI Aimin, DENG Heli (1458)
- Research on dynamic characteristics of photosynthesis in muskmelon seedling leaves
..... HAN Ruifeng, LI Jianming, HU Xiaohui, et al (1471)
- Effects of different winter covering crops cultivation on methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) emission fluxes from double-
cropping paddy field TANG Haiming, XIAO Xiaoping, SHUAI Xiqiang, et al (1481)
- Variations in groundwater levels and quality and their effects on vegetation in the western Grubantonggut Desert
..... ZENG Xiaoling, LIU Tong, ZHANG Weibin, et al (1490)
- Carbon and nitrogen stable isotope characteristics of particulate organic matter and zooplankton in Liuxihe Reservoir
..... NING Jiajia, LIU Hui, GU Binhe, et al (1502)
- Selection of vegetable seeds native in China instead of the cress seed for evaluating the maturity of biosolids
..... LIU Songsong, XU Tianfen, WU Qitang, et al (1510)
- Effects of anthropogenic nutrient input on organisms from different trophic levels in Hanfeng Lake: evidence from stable carbon
and nitrogen isotope analysis LI Bin, WANG Zhijian, JIN Li, et al (1519)
- Temporal and spatial distribution of phytoplankton in Liusha Bay ZHANG Caixue, CHEN Huiyan, SUN Xingli, et al (1527)
- Study on the supercooling of golden apple snail (*Pomacea canaliculata*)
..... ZHAO Benliang, ZHANG Jia'en, LUO Mingzhu, et al (1538)
- The effects of rice growth stages on the ovarian development and take-off of *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*
..... CHEN Yu, FU Qiang, LAI Fengxiang, et al (1546)
- Cold tolerance of the overwintering egg of *Apolygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae)
..... ZHUO Degan, LI Zhaohui, MEN Xingyuan, et al (1553)
- A suggestion on the estimation method of population sizes of *Niviventer confucianus* in Land-bridge island
..... ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (1562)
- The carbon footprint of food consumption in Beijing WU Yan, WANG Xiaoke, LU Fei (1570)
- Anthropogenic phosphorus flow analysis of Hanshan County in Anhui Province
..... FU Yinyin, YUAN Zengwei, WU Huijun, et al (1578)
- A laboratory study of auctions for water rights transactions in inland river basin: a case study of irrigation areas of Heihe river
basin DENG Xiaohong, XU Zhongmin (1587)
- Review and Monograph**
- A review of the effect of typhoon on forests LIU Bin, PAN Lan, XUE Li (1596)
- Research progress on the effects of ocean acidification on coral reef ecosystems
..... ZHANG Chenglong, HUANG Hui, HUANG Liangmin, et al (1606)
- Interspecific competition among three invasive *Liriomyza* species
..... XIANG Juncheng, LEI Zhongren, WANG Haihong, et al (1616)
- Indicative significance of biogenic elements to eco-environmental changes in waters
..... YU Yu, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (1623)
- Recent advances in studies on dissimilatory Fe(III)-reducing microorganisms
..... LI Huijuan, PENG Jingjing (1633)
- Discussion**
- Ecological vulnerability research for Xilingol League, Northern China XU Guangcai, KANG Muye, Marc Metzger, et al (1643)
- Scientific Note**
- Spatial distribution and species composition of zooplanktons in the eastern tropical Pacific Ocean off Costa Rica
..... LIU Bilin, CHEN Xinjun, JIA Tao, et al (1654)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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 5 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 5 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:100071	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100071, 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:100071 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100071, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.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