

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

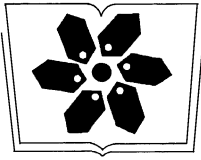
Acta Ecologica Sinica



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堇评价污泥有机肥腐熟度	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/stxb201101100037

宁加佳, 刘辉, 古滨河, 刘正文. 流溪河水库颗粒有机物及浮游动物碳、氮稳定同位素特征. 生态学报, 2012, 32(5): 1502-1509.

Ning J J, Liu H, Gu B H, Liu Z W. Carbon and nitrogen stable isotope characteristics of particulate organic matter and zooplankton in Liuxihe Reservoir. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(5): 1502-1509.

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¹, 刘 辉¹, 古滨河^{1,2}, 刘正文^{1,3,*}

(1. 暨南大学水生生物研究所, 广州 510632; 2. 美国佛罗里达大学水和土壤科学系, 佛罗里达 32611;

3. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘要: 为了解影响流溪河水库颗粒有机物 (POM) 碳和氮稳定同位素 ($\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$) 变化的主要因素, 及其与浮游动物 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 之间的关系, 于 2008 年 5 月至 12 月份对 POM 及浮游动物的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 进行了研究。颗粒有机物碳稳定同位素 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$) 和氮稳定同位素 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$) 的季节性变化幅度分别为 5.1‰ 和 2.2‰, 5 月和 7 月份 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 较高, 而在 10 月和 12 月份降低, 这主要与降雨将大量外源有机物带入水库而引起的外源及内源有机物在 POM 组成上发生变化有关。 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 总体呈上升趋势, 可能是由降雨引起的外源负荷、初级生产力、生物固氮等因素共同作用的结果。浮游动物的 $\delta^{13}\text{C}$ 及 $\delta^{15}\text{N}$ 总的变化趋势与 POM 的相似, 也具有明显的季节性变化, 食物来源的季节变化可能是造成其变化的主要原因。在 5 月份, 浮游动物的食物来源为 POM 中 $\delta^{13}\text{C}$ 较高的部分, 也就是外源有机物, 而在 10 月及 12 月份, 其食物则可能主要为浮游植物。

关键词: 颗粒有机物; 降雨; 浮游动物; $\delta^{13}\text{C}$; $\delta^{15}\text{N}$

Carbon and nitrogen stable isotope characteristics of particulate organic matter and zooplankton in Liuxihe Reservoir

NING Jiajia¹, LIU Hui¹, GU Binhe^{1,2}, LIU Zhengwen^{1,3,*}

1 Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China

2 Soil and Water Sciences Department, University of Florida, Gainesville 32611, USA

3 Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

Abstract: Particulate organic matter (POM) in lakes originates from autochthonous (macrophytes and phytoplankton) and allochthonous (terrestrial detritus) inputs into the surface water of lakes. There are many factors that can influence the composition of POM, such as rainfall, temperature, solar radiation, water velocity, hydrological retention time. Because the carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) stable isotope ratios of the terrestrial detritus fraction in POM is often different from algal fraction, the isotopic compositions of POM reflect the relative proportions of terrestrial and aquatic contributions. In addition, many factors in lakes influence the values of $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ and $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$: these include primary productivity, trophic state, external loading, and isotopic composition of dissolved inorganic carbon and nitrogen. Zooplankton can graze on a wide range of food sources (i. e. phytoplankton, detritus, and bacteria). As a result, phytoplankton- and terrestrial-derived C may be conveyed to zooplankton and hence to higher trophic levels, along several direct and indirect pathways. Because the isotope ratios of consumers reflect those of their diet, the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of zooplankton will be affected when isotopic composition of POM changes over time. In order to understand the factors influencing the seasonal variations in

基金项目: NSFC-广东联合基金资助项目 (U0733007)

收稿日期: 2011-01-10; 修订日期: 2011-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zliu@niglas.ac.cn

carbon and nitrogen stable isotopes of POM and zooplankton and to assess relationship between POM and zooplankton, especially the relative importance of autochthonous and allochthonous materials to zooplankton, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of POM and zooplankton were analyzed in Liuxihe Reservoir from May to December in 2008. As the results of relatively stable solar energy inputs and low trophic state, the seasonal amplitudes of $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ and $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ in Liuxihe Reservoir were small, displaying seasonal variations of 5.1‰ and 2.2‰ due to the monsoon climate and summer storms. $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ was high in May and July and then decreased dramatically. Precipitation had significant positive correlation with $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$, but there were no significant correlations between $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ and TN, TP and Chl *a*. Rainfall brought abundant allochthonous organic matters into the reservoir, resulting in high $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ in the wet period (May to July). The low $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ in the dry period (October and December) was likely attributed to the low growth rate of phytoplankton in these cold months. Conversely, there was a seasonal increase in $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ in general. Precipitation, TN, TP and Chl *a* have insignificant correlations with $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$. We speculated that external loadings, primary productivity and nitrogen fixation by cyanobacteria were likely responsible for the seasonal variation in $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ in Liuxihe Reservoir. The variations of zooplankton $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ signatures were similar to POM, and there was a significant positive correlation between $\delta^{13}\text{C}$ in zooplankton and $\delta^{13}\text{C}$ in POM as well as between $\delta^{15}\text{N}$ in zooplankton and $\delta^{15}\text{N}$ in POM, which indicated that zooplankton used POM as their major food source. $\delta^{13}\text{C}$ in zooplankton was 2.2‰ higher than $\delta^{13}\text{C}$ in POM in May suggesting that zooplankton fed more ^{13}C -enriched fraction (terrestrial detritus) in POM. However, $\delta^{13}\text{C}$ in zooplankton was lower than $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ from July to December, implying that zooplankton selectively fed more on phytoplankton.

Key Words: particulate organic matter; rainfall; zooplankton; $\delta^{13}\text{C}$; $\delta^{15}\text{N}$

颗粒有机物(POM)是水生态系统中许多消费者的重要食物来源^[1],从来源上看主要由内源有机物(如大型水生植物、浮游植物等)及外源有机物(如陆生植物碎屑等)组成^[2]。影响内源及外源有机物在POM组成中的因素有很多,例如,有研究表明,在富营养化水体中,POM的组成主要为浮游植物^[3],而在贫营养化水体中,主要为外源有机物^[2,4]。Chen和Jia发现,由于降雨将大量的外源有机物带入水体中,POM的组成主要为外源有机物^[5]。Schindler及Rasmussen等人通过研究指出,流域面积与水面面积之比较大的湖泊外源有机物的输入量要大于流域面积与水面面积之比较小的湖泊^[6-7]。此外,温度、光照、水流速度及水力滞留时间等能影响大型水生植物及浮游植物的因素也均能影响POM的组成。由于内外源有机物常常具有不同的碳和氮稳定同位素($\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$)特征^[8-10],因此颗粒有机物碳稳定同位素($\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$)及氮稳定同位素($\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$)会随着POM组成的不同而发生改变, $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 反映了外源与内源有机物在POM中的相对比例^[11]。除了以上所述的因素外,影响 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 的因素还有纬度、外源负荷、浮游植物的种类的组成、初级生产力及可溶性无机碳和氮的来源、同位素特征及浓度等^[2, 9, 12-13]。

传统的研究认为,浮游动物主要以浮游植物为食,如人们常常把浮游动物当做生物操纵的工具,用其牧食富营养化湖泊中的浮游植物^[14]。然而近期研究发现,浮游动物可以直接利用外源有机物^[15],或是间接的通过摄食细菌及其他异养微生物来利用外源有机物^[16-17]。但Hessen等人的研究表明,浮游动物对外源有机物的吸收效率很低^[15],因此,POM在组成上发生变化是否会对浮游动物的碳、氮稳定同位素造成影响,值得关注。近年来,外源有机物的重要性在食物网研究中虽已被人们认识^[18],但还没被广泛接受^[19]。而浮游动物作为水生态系统中的次级生产者,在食物网中起到承上启下的作用^[20-21]。因此,研究POM与浮游动物的关系对人们进一步认识外源有机物在食物网中的迁移和转化途径具有重要意义。

流溪河水库(23°45'N,113°46'E)地处热带和亚热带的交界处,是广东省一座大型供水水库。水库最大水深73 m,平均水深21.3 m,水面面积15.25km²,水库水面面积与流域面积之比约1:41。水库来水主要来自两条比较大的河流:吕田河和玉溪河。水库全年表层水温在14.9—31.6℃之间,水柱热分层开始于3月初,一

直持续到12月份。水库多年平均降水量2078 mm,多年平均水力滞留时间为125d,受亚热带季风气候的影响,降雨主要集中在丰水期(4—9月份),导致丰水期水力滞留时间比枯水期短。水库周边森林覆盖率为86%,植被主要是常绿阔叶林和马尾松林。由于流域土壤相对比较贫乏,森林覆盖率比较高,水库营养水平处于贫—中营养水平。流域氮、磷营养盐向水库的输送有明显的季节性,主要发生在枯水期的末期和丰水期的早期。这时流域上强的降水周期比较容易引发地表径流及表层流(壤中流),经过降雨的冲刷,造成水土流失,陆生植物碎屑及土壤随径流进入水库,营养盐也随之进入。由于水土流失导致水体颗粒物较多,近期研究表明,在丰水期的4至9月份,月均水体颗粒物浓度为29.8mg/L,而在枯水期,仅为3.1 mg/L,透明度处于一年中的最低值。浮游植物以硅藻为主要优势种群,密度分布与水流流速和透明度的相关程度明显高于与营养盐和温度的相关程度,丰水期稍低于枯水期。从以上所述可知,影响流溪河水库 POM 和浮游动物碳、氮稳定同位素的潜在因素很多。本实验对流溪河水库 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 及 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 的特征进行了研究,同时对 POM 与浮游动物 $\delta^{13}\text{C}$ 及 $\delta^{15}\text{N}$ 之间的关系进行了分析,以分析 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 及 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 特征及其影响因子,并探讨内外源有机物对浮游动物食物的贡献。

1 研究方法

1.1 采样点设置

采样工作于2008年的5月、7月、10月和12月份进行。根据流溪河水库的形态结构和吞吐流特征,在水库支流吕田河及玉溪河处分别设置吕田及玉溪采样点(S1及S2),两条河流汇合处设置汇水采样点(S3)和大坝处设置大坝采样点(S4)(图1)。

1.2 样品的采集与测定

用 YSI-85 型水质分析仪现场测定水温,并采集水下1m水样,分析总氮(TN)和总磷(TP)含量,其方法依据《湖泊生态调查观测与分析》^[22],叶绿素 a(Chl a)浓度的测定采用改进的反复冻融-浸提法进行^[23]。降雨量数据由流溪河水电站提供。POM 样品是采集水下1m水样,水样经112 μm 浮游生物网过滤后,抽滤到预先灼烧(500 $^{\circ}\text{C}$ 4h)的 Whatman GF/C 玻璃纤维薄膜



图1 流溪河地理位置及采样点分布图

Fig. 1 Map of Liuxihe Reservoir and location of sampling sites

上获得。浮游动物样品采用浮游生物网进行垂直拖网,所得浮游动物用蒸馏水清养3h后,再经150 μm 筛网过滤,将大于150 μm 的浮游动物样品用于稳定同位素分析。将上述 POM 及浮游动物样品在60 $^{\circ}\text{C}$ 下烘48h至恒重,用研钵研磨成均匀的粉末,样品经 Flash EA1112 元素分析仪燃烧,所得的 CO_2 和 N_2 气体分别送入 Finnigan MAT 公司的 Delta^{plus} advantage 型稳定同位素比值质谱计上测定。稳定同位素比值用 δ 表示: $\delta X(\text{‰}) = (R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}} - 1) \times 1000$,其中, $X = ^{13}\text{C}$ 或 ^{15}N ; $R = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 或 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 。碳同位素标准采用 VPDB,氮同位素标准则采用大气氮。碳氮稳定同位素比值精密密度为 $\pm 0.2\text{‰}$ 。

2 结果

2.1 环境因子及其与 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 的关系

在采样的5月、7月、10月及12月份,流溪河水库的水温为14.9—30.3 $^{\circ}\text{C}$,最高值出现在7月份,而最低值出现在12月份。受亚热带季风气候的影响,水库的降雨量具有明显的季节性变化,5月和7月份正值雨季,降雨量大,10月和12月份减小,并呈下降趋势。TN的变化趋势与降雨量相似,5月和7月份高于10月和12月份。而TP和叶绿素a变化幅度较小且没有明显的季节性变化趋势(表1)。

表 1 流溪水库水体部分理化参数(平均值±标准误)

Table 1 Selected parameters of water quality from the sampling sites in Liuxihe Reservoir (Mean ± SE)

	降雨量/mm Precipitation	水温/°C Water temperature	总氮/(mg/L) Total nitrogen	总磷/(mg/L) Total phosphorus	叶绿素 a/(μg/L) Chl a
5 月份 May	427	25.7	0.657±0.028	0.019±0.005	3.3±2.5
7 月份 July	243	30.3	0.579±0.141	0.021±0.014	2.3±1.7
10 月份 October	88	27.6	0.421±0.087	0.017±0.003	4.7±2.9
12 月份 December	20	14.9	0.432±0.076	0.025±0.005	3.1±1.5

相关分析表明,δ¹³C_{POM} 与叶绿素 a ($r = -0.216, P = 0.500, n = 12$)、TN ($r = 0.169, P = 0.600, n = 12$) 及 TP ($r = -0.323, P = 0.306, n = 12$) 之间的均没有显著的相关关系,而与降雨量之间具有极其显著的相关关系 ($r = 0.702, P < 0.01, n = 16$) (图 2)。δ¹⁵N_{POM} 与叶绿素 a ($r = 0.082, P = 0.810, n = 11$)、TN ($r = -0.167, P = 0.625, n = 11$)、TP ($r = 0.106, P = 0.963, n = 11$) 及降雨量 ($r = -0.245, P = 0.379, n = 15$) 之间均不存在显著的相关关系。

2.2 δ¹³C_{POM} 与浮游动物 δ¹³C 的时间变化

由于 4 个样点之间的 POM 与浮游动物的 δ¹³C 及 δ¹⁵N 均不存在显著性差异,将数据合并后进行分析。δ¹³C_{POM} 的平均值为 (-26.5 ± 2.4)‰,变化范围为 (-24.9 ± 1.2)‰—(-30.0 ± 1.2)‰,季节性变化幅度为 5.1‰。5 月与 7 月份的 δ¹³C_{POM} 较接近,分别为 (-25.0 ± 0.6)‰及 (-24.9 ± 1.2)‰,10 月份降为 (-26.2 ± 1.5)‰,12 月份则出现大幅下降,降到最低值 (-30.0 ± 1.2)‰。浮游动物 δ¹³C 在 (-22.8 ± 3.6)‰—(-34.9 ± 1.5)‰之间,平均值为 (-28.9 ± 5.0)‰。浮游动物 δ¹³C 除了在 10 月份有所升高外,从总体上看呈下降趋势(图 3),其变化趋势与 δ¹³C_{POM} 相似,它们之间存在着极其显著的相关关系 ($r = 0.732, P < 0.01, n = 16$) (图 4),5 月份,浮游动物的 δ¹³C 高于 δ¹³C_{POM},但从 7 月份开始,浮游动物的 δ¹³C 均低于 δ¹³C_{POM}。

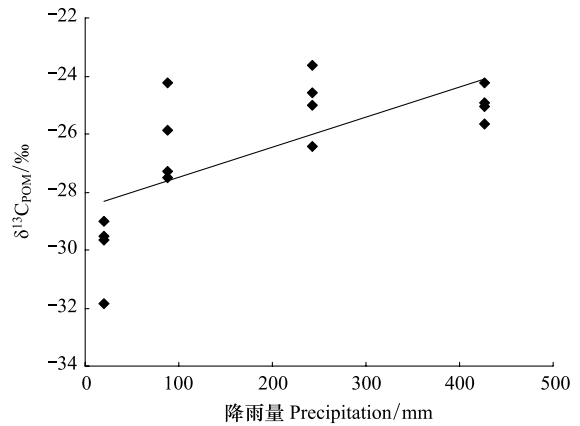


图 2 δ¹³C_{POM} 与降雨量的关系

Fig. 2 Relationship between δ¹³C_{POM} and precipitation

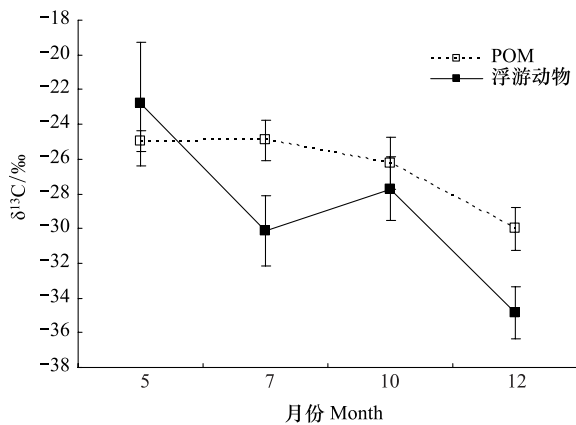


图 3 δ¹³C_{POM} 及浮游动物 δ¹³C 的时间变化(平均值±标准误)

Fig. 3 Temporal variation in δ¹³C of POM and zooplankton (Mean±SE)

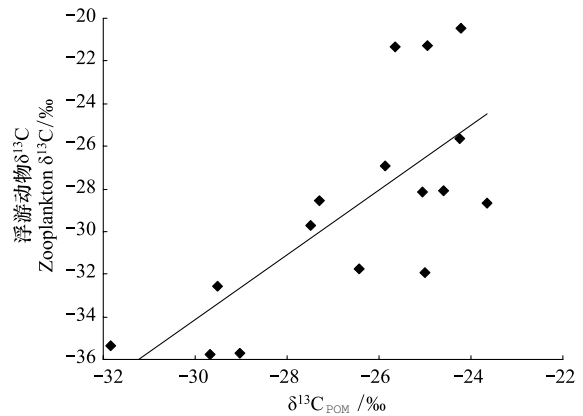


图 4 δ¹³C_{POM} 与浮游动物 δ¹³C 的关系

Fig. 4 Relationship between δ¹³C_{POM} and zooplankton δ¹³C

2.3 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 与浮游动物 $\delta^{15}\text{N}$ 的时间变化

$\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 的平均值为 $(5.9 \pm 1.2)‰$, 变化范围在 $(5.0 \pm 0.5)‰$ — $(7.2 \pm 1.0)‰$ 之间, 季节性变化幅度为 $2.2‰$ 。5 月份, $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 为 $(6.2 \pm 0.5)‰$, 最低值出现在 7 月份, 为 $(5.0 \pm 0.5)‰$, 在 10 月份有所增加, 为 $(5.3 \pm 1.1)‰$, 最高值出现在 12 月份, 达到 $(7.2 \pm 1.0)‰$ 。浮游动物 $\delta^{15}\text{N}$ 在 $(7.5 \pm 0.7)‰$ — $(11.2 \pm 0.9)‰$ 之间, 平均值为 $(8.6 \pm 2.2)‰$ 。从总体上看, 浮游动物的 $\delta^{15}\text{N}$ 呈上升趋势, 与 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 十分相似 (图 5), 两者之间存在着极其显著的相关关系 ($r=0.707, P<0.01, n=15$) (图 6)。另外, 从图 5 可以看出, 浮游动物的 $\delta^{15}\text{N}$ 在各个时期均高于 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$, 而且随着时间的推移, 它们之间的差值在不断增大。

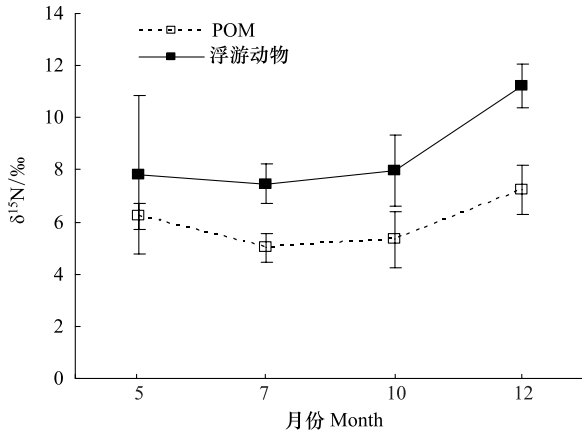


图 5 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 及浮游动物 $\delta^{15}\text{N}$ 的时间变化 (平均值 \pm 标准误)

Fig. 5 Temporal variation in $\delta^{15}\text{N}$ of POM and zooplankton (Mean \pm SE)

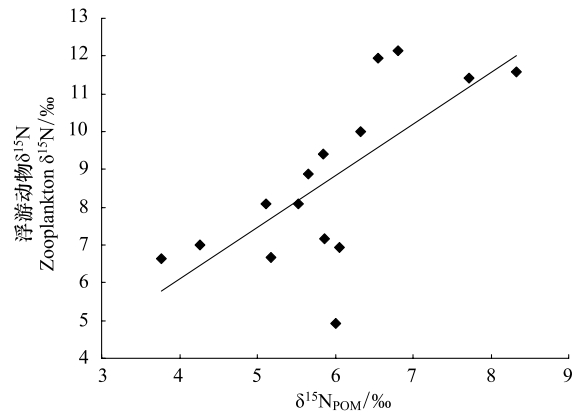


图 6 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 与浮游动物 $\delta^{15}\text{N}$ 之间的关系

Fig. 6 Relationship between $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ and zooplankton $\delta^{15}\text{N}$

3 讨论

在流溪水库没有发现大型水生植物, 因此本研究采集的表层 POM 主要是由浮游植物和外源有机物组成。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 及 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 的季节性变化幅度分别为 $5.1‰$ 和 $2.2‰$, 均小于温带和寒带的一些湖泊^[2, 13]。Gu 等人对分布于全球各地湖泊 POM 稳定同位素综合分析研究发现, 由于受纬度及 POM 组成的影响, $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 及 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 的季节性变化幅度在高纬度的富营养化湖泊较大, 而在低纬度的贫营养化湖泊较小^[2, 13]。流溪水库位于热带和亚热带的交界处, 周年光照和温度较温带和寒带相对稳定, 同时流溪水库属于贫中营养型水体^[24], 而 POM 在贫中营养型水体中非生物有机物所占的比例较高^[2], 对环境因子的变化不敏感, 因此 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 及 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 的季节性变化幅度较小。

$\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 具有明显的季节性变化, 5 月与 7 月份较高, 10 月和 12 月份则明显降低, 从总体上看呈下降趋势。虽然本研究没有直接测量初级生产力, 但有研究指出, Chl a 的变化可以反映水体初级生产力的变化^[25-26]。一些研究认为, $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 的季节性变化与初级生产力有关^[3, 27], 如 Gu 等人发现, 随着初级生产力的提高, 水体中可溶性无机碳 (DIC) 浓度降低, 导致碳的同位素分馏降低使 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 升高^[3]。然而本研究结果显示, Chl a 变化幅度较小, 并没有明显的季节性变化。相关分析表明, $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 与 Chl a 之间没有显著的相关关系, 因此初级生产力不可能成为流溪水库 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 季节性变化的主导因素, 另外 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 与 TN 及 TP 之间的也不存在显著的相关关系, Gu 等人认为, POM 组成也是影响 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 的主要原因之一, 尤其是在贫营养湖泊中^[13]。本研究显示, $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 与降雨量之间具有极其显著的相关关系。5 月和 7 月份, 流溪水库降雨量很大, 分别达到了 427 mm 及 243 mm, 由于流域面积与水面面积之比高达 41:1, 因此积存在流域范围内大量的外源有机物被降雨冲刷后带入水库。近期研究表明, 在丰水期 5 月和 7 月份, 水体颗粒物浓度分别为 46.6 mg/L 和 2.5 mg/L, 同时降雨造成水库透明度大为降低, 5 月和 7 月份分别仅为 0.4 m 和 2.5 m, 水流速度加快。有报

道指出,较低的透明度明显抑制浮游植物生长^[28],较快的水流速度使浮游植物平流损失量大为增加^[29],从而导致外源有机物对 POM 的贡献较大,类似的情况在飞来峡水库也有报道^[5]。有研究表明,POM 中外源有机物的 $\delta^{13}\text{C}$ 比浮游植物的高^[9-10, 30],因此 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 在 5 月和 7 月份较高可能与较高的外源有机物比例有关。而 10 月和 12 月份,正值流溪水库的枯水期,降雨量剧减为 88 mm 和 20 mm,进入水库的外源有机物大量减少,水体颗粒物浓度均下降为 2.3 mg/L,虽然随之输入水库的营养盐较丰水期也大量减少,浮游植物的主要优势种群生长明显受营养盐限制,但因水流速度较慢,平流损失量也大为减少,再加上透明度分别增加为 2.9 m 和 3.4 m,因此浮游植物主要优势种群的丰度比丰水期反而有所上升^[31],叶绿素 a 也有所升高。另外,流溪水库水力滞留时间在枯水期与丰水期之间差异较大,枯水期是丰水期的 4 倍^[24],而较长的水力滞留时间是水库浮游植物增长的原因之一^[32],从而使 10 月和 12 月份浮游植物对 POM 的贡献增加, $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 随之降低。由此可见,由降雨引发的 POM 在组成上发生改变是 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 季节性变化的主要原因。

$\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 在 5 月份为 6.2‰,而在 12 月份为 7.2‰,总体呈上升趋势。 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 与叶绿素 a、降雨量、TN 及 TP 之间均不存在显著的相关关系,因此 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 的升高可能是以下因素共同作用的结果。首先,由于流溪水库周围存在着农业用地,降雨能将大量的化肥带入水库,丰水期的 5 月份氨氮浓度为 0.068 mg/L,枯水期的 12 月份则降为 0.032 mg/L,而化肥的 $\delta^{15}\text{N}$ 接近于 0‰^[33],在经浮游植物吸收利用后导致 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 降低,因此随着降雨的减少使 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 不断升高。其次,有研究表明,POM 中藻类部分的 $\delta^{15}\text{N}$ 比外源有机物的高^[10]。因此, $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 的升高还可能与浮游植物贡献增加、生产力提高有关。一方面,当水体生产力较高时,水中含氧量减少,促进了反硝化过程使富含¹⁵N 的硝酸盐留在水中;同时,这也造成水体中可溶性无机氮(DIN)库的减小,氮的同位素分馏降低, $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 升高^[5]。而 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 在 7 月份最低,除了与其生产力较低外,可能还与蓝藻有关。在流溪水库,蓝藻的丰度在水温较高的 6—8 月份要远高于其他月份^[31],Patoine 等人对北美的 6 个湖泊研究后发现,随着蓝藻丰度的增大, $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 降低,蓝藻的生物固氮作用是主要原因^[34]。

浮游动物的 $\delta^{13}\text{C}$ 及 $\delta^{15}\text{N}$ 总的变化趋势与 POM 的相似,也具有明显的季节变化。在 5 月份,浮游动物的 $\delta^{13}\text{C}$ 较高,与 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 的差值为 2.2‰。根据消费者的 $\delta^{13}\text{C}$ 可以反映其消化吸收食物的 $\delta^{13}\text{C}$,之间的差值在 0—1‰ 变化这一规律^[35],说明浮游动物的食物来源可能为 POM 中 $\delta^{13}\text{C}$ 较高的部分,也就是外源有机物。而在 7 月、10 月及 12 月份,浮游动物的 $\delta^{13}\text{C}$ 均较低,且低于 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 。有研究指出,在淡水生态系统中浮游动物的 $\delta^{13}\text{C}$ 通常低于 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$,原因有三:首先,浮游动物可能选择性的摄食了 POM 中 $\delta^{13}\text{C}$ 较低的藻类^[36-37]。其次,浮游动物可能储存大量含有 $\delta^{13}\text{C}$ 较低的油滴^[38]。另外,浮游动物垂直迁移并摄食了水体中下层 $\delta^{13}\text{C}$ 较低的藻类^[37]。本研究结果表明,浮游动物的 $\delta^{13}\text{C}$ 及 $\delta^{15}\text{N}$ 分别与 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 及 $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ 存在着极其显著的相关关系,因此可以判断浮游动物的 $\delta^{13}\text{C}$ 低于 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 应与油滴的储存无关,而是与食物来源有关。舌状叶镖水蚤在生物量上是流溪水库浮游动物的主要优势种,也是大型的滤食者^[39],随着浮游植物在 POM 中的相对贡献逐渐增加,滤食浮游植物的比例相应增大应该是本研究中浮游动物 $\delta^{13}\text{C}$ 在 10 月及 12 月份低于 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ 的主要原因,此外,浮游动物与 POM 之间 $\delta^{15}\text{N}$ 的差值不断增大也证明了这一结论。类似的现象在 Grey 等人的研究也有报道,他们在对一个贫营养湖泊研究后发现,浮游动物在藻类生物量较低的冬季和早春主要依靠 POM 中的外源有机物为食,而在夏天则转而利用藻类^[40]。浮游动物的 $\delta^{13}\text{C}$ 在 7 月份也低于 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$,具体原因有待研究。

References:

- [1] Wetzel R G. Limnology: Lake and river ecosystems. 3rd ed. Academic Press, 2001.
- [2] Gu B. Variations and controls of nitrogen stable isotopes in particulate organic matter of lakes. *Oecologia*, 2009, 160: 421-431.
- [3] Gu B, Chapman A D, Schelske C L. Factors controlling seasonal variations in stable isotope composition of particulate organic matter in a soft water eutrophic lake. *Limnology and Oceanography*, 2006, 51: 2837-2848.
- [4] Jones R I, Grey J, Arvola L. Stable isotope analysis of zooplankton carbon nutrition in humic lakes. *Oikos*, 1999, 86: 97-104.

- [5] Chen F, Jia G. Spatial and seasonal variations in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of particulate organic matter in a dam-controlled subtropical river. *River Research and Applications*, 2009, 25: 1169-1176.
- [6] Schindler D W. A hypothesis to explain differences and similarities among lakes in the experimental lakes area, northwestern Ontario. *Journal Fisheries Research Board of Canada*, 1971, 28: 295-301.
- [7] Rasmussen J B, Godbout L, Schallenberg M. The humic content of lake water and its relationship to watershed and lake morphometry. *Limnology and Oceanography*, 1989, 34: 1336-1343.
- [8] France R L, Del Giorgio P A, Westcott K A. Productivity and heterotrophy influences on zooplankton $\delta^{13}\text{C}$ in northern temperate lakes. *Aquatic Microbial Ecology*, 1997, 12: 85-93.
- [9] Grey J, Jones R I, Sleep D. Seasonal changes in the importance of the source of organic matter to the diet of zooplankton in Loch Ness, as indicated by stable isotope analysis. *Limnology and Oceanography*, 2001, 46: 505-513.
- [10] Delong M D, Thorp J H. Significance of instream autotrophs in trophic dynamics of the Upper Mississippi River. *Oecologia*, 2006, 147: 76-85.
- [11] Kendall C, Silva S R, Kelly V J. Carbon and nitrogen isotopic compositions of particulate organic matter in four large river systems across the United States. *Hydrological Processes*, 2001, 15: 1301-1346.
- [12] Falkowski P G. Species variability in the fractionation of ^{13}C and ^{12}C by marine phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 1991, 13: 21-28.
- [13] Gu B, Schelske C L, Waters M N. Patterns and controls of seasonal variability of carbon stable isotopes of particulate organic matter in lakes. *Oecologia*, 2011, 165: 1083-1094.
- [14] Moss B. The scope for biomanipulation in improving water quality // Sutcliffe D W, Jones J G, eds. *Eutrophication: research and application to water supply*. Ambleside: Freshwater Biological Association, 1992: 73-81.
- [15] Hessen D O, Andersen T, Lyche A. Carbon metabolism in a humic lake: pool sizes and cycling through zooplankton. *Limnology and Oceanography*, 1990, 35: 84-99.
- [16] Gifford D J. The Protozoan-metazoan trophic link in pelagic ecosystems. *Journal of Protozoology*, 1991, 38: 81-86.
- [17] Cole J J, Carpenter S R, Kitchell J F, Pace M L. Pathways of organic carbon utilization in small lakes: results from a whole-lake ^{13}C addition and coupled model. *Limnology and Oceanography*, 2002, 47: 1664-1675.
- [18] Wetzel R G. Death, detritus, and energy flow in aquatic ecosystems. *Freshwater Biology*, 1995, 33: 83-89.
- [19] Polis G A, Anderson W B, Holt R D. Toward an integration of landscape and food web ecology: the dynamics of spatially subsidized food webs. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1997, 28: 289-316.
- [20] Dumont H, Negrea S. Introduction to the class Brachiopoda, guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world. Backhuys Publishers, Leiden, 2002.
- [21] Thorp J H, Covich A P. Ecology and classification of North American freshwater invertebrates. 2nd eds. San Diego, San Francisco: Academic Press, 2001.
- [22] Huang X F. Survey, observation and analysis of lake ecology. Beijing: Standards Press of China, 1999: 72-79.
- [23] Lin S J, He L J, Huang P S, Han B P. Comparison and improvement on the extraction method for chlorophyll a in phytoplankton. *Ecological Science*, 2005, 24(1): 9-11.
- [24] Lin G E, Wang T, Lin Q Q, Han B P. Spatial pattern and temporal dynamics of limnological variables in Liuxihe Reservoir, Guangdong. *Journal of Lake Sciences*, 2009, 21(3): 387-394.
- [25] Smith V H. Nutrient dependence of primary productivity in lakes. *Limnology and Oceanography*, 1979, 24: 1051-1064.
- [26] Beaver J R, Crisman T L. Importance of latitude and organic color on phytoplankton primary productivity in Florida lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1991, 48: 1145-1150.
- [27] Rau G H, Takahashi T, Des Marais D J. Latitudinal variations in plankton $\delta^{13}\text{C}$: Implications for CO_2 and productivity in past oceans. *Nature*, 1989, 341: 516-518.
- [28] Kimmel B L, Lind O T, Paulson L J. Reservoir primary production // Thornton K W, Kimmel B L, Payne F E, eds. *Reservoir limnology: Ecological perspectives*. New York: John Wiley, Sons Inc, 1990.
- [29] Straskraba M, Tundisi J G, Ducan A. State-of-the-art of reservoir limnology and water quality management // Straskraba M, Tundisi J G, Duncan A, eds. *Comparative reservoir limnology and water quality management*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1993.
- [30] Hamilton S K, Lewis Jr W M. Stable carbon and nitrogen isotopes in algae and detritus from the Orinoco River floodplain, Venezuela. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1992, 56: 4237-4246.
- [31] Lin Q Q, Hu R, Han B P. Effect of hydrodynamics on nutrient and phytoplankton distribution in Liuxihe Reservoir. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2278-2284.
- [32] Kawara O, Yura E, Fujii S, Matsumoto T. A study on the role of hydraulic retention time in eutrophication of the Asahi River Dam Reservoir.

Water Sciences Technology, 1998, 37: 245-252.

- [33] Heaton T H E. Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere: a review. *Chemical Geology*, 1986, 59: 87-102.
- [34] Patoine A, Graham M D, Leavitt P R. Spatial variation of nitrogen fixation in lakes of the northern Great Plains. *Limnology and Oceanography*, 2006, 51: 1665-1677.
- [35] DeNiro M J, Epstein S. Influence of the diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1978, 42: 495-506.
- [36] Gu B, Schell D M, Alexander V. Stable carbon and nitrogen isotopic analysis of the plankton food web in a subarctic lake. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1994, 51: 1338-1344.
- [37] Del Giorgio P A, France R L. Ecosystem-specific patterns in the relationship between zooplankton and POM or microplankton $\delta^{13}\text{C}$. *Limnology and Oceanography*, 1996, 41: 359-365.
- [38] Matthews B, Mazumder A. Temporal variation in body composition (C: N) helps explain seasonal patterns of zooplankton $\delta^{13}\text{C}$. *Freshwater Biology*, 2005, 50: 502-515.
- [39] Xiao L J, Wang T, Han B P. Grazing of *Daphnia galeata* and *Phyllodiaptomus tunguidus* on phytoplankton in Liuxihe Reservoir, South China: in *situ* bottle experiments. *Ecological Science*, 2008, 27(5): 362-367.
- [40] Parks S J, Baker L A. Source and transport of organic carbon in an Arizona river-reservoir system. *Water Research*, 1997, 31: 1751-1759.

参考文献:

- [22] 黄祥飞. 湖泊生态调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 1999: 72-79.
- [23] 林少君, 贺立静, 黄沛生, 韩博平. 浮游植物中叶绿素 a 提取方法的比较与改进. *生态科学*, 2005, 24(1): 9-11.
- [24] 林国恩, 望甜, 林秋奇, 韩博平. 广东流溪河水库湖沼学变量的时空动态特征. *湖泊科学*, 2009, 21(3): 387-394.
- [31] 林秋奇, 胡韧, 韩博平. 流溪河水库水动力学对营养盐和浮游植物分布的影响. *生态学报*, 2003, 23(11): 2278-2284.
- [39] 肖利娟, 望甜, 韩博平. 流溪河水库的盔形溞和舌状叶镖水蚤对浮游植物的牧食影响研究. *生态科学*, 2008, 27(5): 362-367.

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: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:1000717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, 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