

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

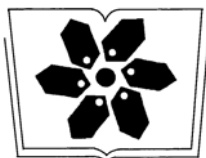
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 20 期 Vol.33 No.20 **2013**

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 33 卷 第 20 期 2013 年 10 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 中小尺度下西北太平洋柔鱼资源丰度的空间变异..... 杨铭霞,陈新军,冯永玖,等 (6427)
- 水分和温度对若尔盖湿地和草甸土壤碳矿化的影响..... 王 丹,吕瑜良,徐 丽,等 (6436)
- 荒漠啮齿动物群落对开垦干扰的响应及其种群生态对策..... 袁 帅,付和平,武晓东,等 (6444)
- 转 Bt 基因棉花对烟粉虱天敌昆虫龟纹瓢虫的影响 周福才,顾爱祥,杨益众,等 (6455)
- 微地形改造的生态环境效应研究进展..... 卫 伟,余 韵,贾福岩,等 (6462)

个体与基础生态

- 丹顶鹤春迁期觅食栖息地多尺度选择——以双台河口保护区为例..... 吴庆明,邹红菲,金洪阳,等 (6470)
- 新疆石河子南山地区表土花粉研究..... 张 卉,张 芸,杨振京,等 (6478)
- 鄱阳湖湿地两种优势植物叶片 C、N、P 动态特征 郑艳明,尧 波,吴 琴,等 (6488)
- 基于高分辨率遥感影像的森林地上生物量估算..... 黄金龙,居为民,郑 光,等 (6497)
- 异质性光照下匍匐茎草本狗牙根克隆整合的耗益..... 陶应时,洪胜春,廖咏梅,等 (6509)
- 湘潭锰矿废弃地栎树人工林微量元素生物循环..... 罗赵慧,田大伦,田红灯,等 (6517)
- 接种彩色豆马勃对模拟酸沉降下马尾松幼苗生物量的影响 陈 展,王 琳,尚 鹤 (6526)
- 生物炭对不同土壤化学性质、小麦和糜子产量的影响 陈心想,何绪生,耿增超,等 (6534)
- 延河流域植物功能性状变异来源分析 张 莉,温仲明,苗连朋 (6543)
- 榆紫叶甲赤眼蜂基础生物学特性及其实验种群生命表..... 王秀梅,臧连生,林宝庆,等 (6553)
- 几种生态因子对拟目乌贼胚胎发育的影响 彭瑞冰,蒋霞敏,于曙光,等 (6560)

种群、群落和生态系统

- 海南铜鼓岭灌木林稀疏规律..... 周 威,龙 成,杨小波,等 (6569)
- 青海三江源区果洛藏族自治州草地退化成因分析..... 赵志平,吴晓蕾,李 果,等 (6577)
- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物基质质量的影响..... 肖银龙,涂利华,胡庭兴,等 (6587)
- 基于光合色素的钦州湾平水期浮游植物群落结构研究 蓝文陆,黎明民,李天深 (6595)
- 基于功能性状的常绿阔叶植物防火性能评价..... 李修鹏,杨晓东,余树全,等 (6604)
- 北京西山地区大山雀与其它鸟类种群间联结分析..... 董大颖,范宗骥,李扎西姐,等 (6614)
- 被动式电子标签用于花鼠种群动态研究的可行性 杨 慧,马建章,戎 可 (6634)

景观、区域和全球生态

- 华北冬小麦降水亏缺变化特征及气候影响因素分析..... 刘 勤,梅旭荣,严昌荣,等 (6643)
- 基于 FAHP-TOPSIS 法的我国省域低碳发展水平评价 胡林林,贾俊松,毛端谦,等 (6652)
- 河漫滩湿地生态阈值——以二卡自然保护区为例..... 胡春明,刘 平,张利田,等 (6662)
- 应用 Le Bissonnais 法研究黄土丘陵区植被类型对土壤团聚体稳定性的影响 刘 雷,安韶山,黄华伟 (6670)
- 不同人为干扰下纳帕海湖滨湿地植被及土壤退化特征..... 唐明艳,杨永兴 (6681)

资源与产业生态

近 10 年北京极端高温天气条件下的地表温度变化及其对城市化的响应 李晓萌,孙永华,孟 丹,等 (6694)

三峡库区小江库湾鱼类食物网的稳定 C、N 同位素分析 李 斌,徐丹丹,王志坚,等 (6704)

研究简报

北京奥林匹克森林公园绿地碳交换动态及其环境控制因子..... 陈文婧,李春义,何桂梅,等 (6712)

植被恢复对洪雅县近 15 年景观格局的影响 王 鹏,李贤伟,赵安玖,等 (6721)

高盐下条斑紫菜光合特性和 S-腺苷甲硫氨酸合成酶基因表达的变化 ... 周向红,易乐飞,徐军田,等 (6730)

学术信息与动态

生态系统服务研究进展——2013 年第 11 届国际生态学大会 (INTECOL Congress) 会议述评 房学宁,赵文武 (6736)

生态系统服务评估——2013 年第 6 届生态系统服务伙伴国际学术年会述评 巩 杰,岳天祥 (6741)

回顾过去,引领未来——2013 年第 5 届国际生态恢复学会大会 (SER 2013) 简介..... 彭少麟,陈宝明,周 婷 (6744)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 320 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 33 * 2013-10



封面图说: 荒漠旱獭——旱獭属啮齿目、松鼠科、旱獭属,是松鼠科中体型最大的一种。旱獭多栖息于平原、山地和荒漠草原地带,集群穴居,挖掘能力甚强,洞道深而复杂,多挖在岩石坡和沟谷灌丛下,从洞中推出的大量沙石堆在洞口附近,形成旱獭丘。荒漠啮齿动物是荒漠生态系统的重要成分,农业开垦对功能相对脆弱的荒漠生态系统的干扰极大,往往导致栖息地破碎化,对动植物种产生强烈影响,啮齿动物受到开垦干扰后对环境的响应及其群落的生态对策,是荒漠生态系统生物多样性及其功能维持稳定的重要基础。

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

DOI: 10.5846/stxb201301210122

李斌, 徐丹丹, 王志坚, 岳兴建, 张耀光. 三峡库区小江库湾鱼类食物网的稳定 C、N 同位素分析. 生态学报, 2013, 33(20): 6704-6711.

Li B, Xu D D, Wang Z J, Yue X J, Zhang Y G. Stable isotope (^{13}C and ^{15}N) analysis of fish food web of the Xiaojiang Bay in Three Gorges Reservoir. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(20): 6704-6711.

三峡库区小江库湾鱼类食物网的 稳定 C、N 同位素分析

李 斌^{1, 2}, 徐丹丹², 王志坚², 岳兴建¹, 张耀光^{1, 2, *}

(1. 长江上游鱼类资源保护与利用四川省重点实验室, 内江师范学院生命科学学院, 内江 641112;

2. 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 西南大学, 重庆 400715)

摘要:应用稳定碳($\delta^{13}\text{C}$)、氮($\delta^{15}\text{N}$)同位素分析了三峡库区一级支流小江库湾枯水期(2010.7)和丰水期间(2010.12)鱼类食物网。颗粒有机物(POM, 平均 $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ 值为 $(-24.85 \pm 0.38)\text{‰}$, $(5.46 \pm 1.29)\text{‰}$)和固着藻类(平均 $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ 值为 $(-22.19 \pm 1.33)\text{‰}$, $(4.71 \pm 0.18)\text{‰}$)构成了小江库湾鱼类食物网的主要碳源, 其中丰水期陆源营养物质输入是其食物网能量基础的重要补充。根据消费者的 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 可将小江库湾常见鱼类区分为杂食偏植物食性、杂食偏动物食性及动物食性。在枯水期和丰水期小江库湾鱼类食物网均有 3 个营养级并且存在 4 种主要营养路径, 表明了在三峡工程运行初期小江库湾已经形成了相对稳定的食物网结构。研究为小江库湾鱼类资源管理及生态系统恢复提供了一定的指导意义。

关键词:稳定同位素; 食物网; 小江库湾; 三峡库区

Stable isotope (^{13}C and ^{15}N) analysis of fish food web of the Xiaojiang Bay in Three Gorges Reservoir

LI Bin^{1, 2}, XU Dandan², WANG Zhijian², YUE Xingjian¹, ZHANG Yaoguang^{1, 2, *}

1 Key Laboratory of Sichuan Province for Fishes Conservation and Utilization in the Upper Reaches of the Yangtze River, School of Life Sciences, Neijiang Normal University, Neijiang, Neijiang 641112, China

2 Key Laboratory of freshwater Fish Reproduction and Development (Ministry of Education), Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: The Xiaojiang River is a tributary of Three Gorges Reservoir (TGR). In the past few years, the fish biodiversity and resources in Xiaojiang Bay decreased due to anthropic activities such as dam construction, overfishing, and environmental pollution. Therefore, it is vital to study the food web structure to understand the consequences of biodiversity and resource changes in Xiaojiang Bay. The traditional gut contents analyses required many samples and do not always reflect exactly the trophic relationships among organisms in the food webs. In the present study, the food webs structure in Xiaojiang Bay were investigated during the dry and wet seasons in 2010 by using stable carbon and nitrogen isotopes. The values of particulate organic matter (POM) and periphytic algae samples varied from -23.33‰ to -21.05‰ (mean $(-24.85 \pm 0.38)\text{‰}$), from -25.13‰ to -24.54‰ (mean $(-22.19 \pm 1.33)\text{‰}$) for $\delta^{13}\text{C}$ and 3.99‰ — 6.25‰ (mean $(5.46 \pm 1.29)\text{‰}$), 4.64‰ — 4.79‰ (mean $(4.71 \pm 0.18)\text{‰}$) for $\delta^{15}\text{N}$, respectively. The fish food webs in the Xiaojiang Bay was fuelled by the primary producers (POM and periphytic algae) in both dry and wet seasons. Moreover, the terrestrial carbon sources was an important supplementary carbon flow pathway for the fish food webs' energy with the impoundment's processed of the TGR in wet season. There were three trophic groups for 17 fish species in Xiaojiang Bay including plant-

基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费资助(200903048-08)

收稿日期:2013-01-21; 修订日期:2013-04-18

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

based omnivorous, animal-based omnivorous and carnivores. An average trophic enrichment factor 3.4‰ was used to calculate the trophic levels based on average values for $\delta^{15}\text{N}$ among primary consumer (sails and bivalve) and its diet. The results indicated a food web having three TLs in dry or wet seasons in Xiaojiang Bay, which suggested that the aquatic ecosystem has formed a relatively stable food webs structure in the early running period of the Three Gorges Project. Stable isotope signatures suggested that the fish food web of Xiaojiang Bay passed on emerges from the primary producers to the higher predators through four main trophic pathways. These findings have important implications for the fish resources' management and the ecological restoration in Xiaojiang Bay and other tributaries in TGR.

Key Words: carbon and nitrogen stable isotope; food webs; Xiaojiang Bay; Three Gorges Reservoir

小江是长江北岸重要的一个一级支流,渔业资源丰富。三峡大坝蓄水后,三峡库区从以前的河流生态系统逐渐向水库生态系统演变,同期小江成为库区淹没面积最大、消落区域面积最广的一个一级支流,其生态环境的保护直接影响到三峡库区的生态状况。三峡大坝蓄水(145—175 m)后,小江形成了长约 40 km 的永久静水区域,被称为小江库湾(Xiaojiang Bay)。蓄水以来水文情势的改变、捕捞强度的增加、航运加剧、环境污染、水土流失等诸多因素的影响下,小江库湾鱼类生物多样性和资源量锐减^[1]。近年来,小江的研究多集中在水体的富营养化、浮游植物及鱼类资源概况方面^[1-4],对水生生态系统营养结构及功能方面的研究还未见报道。因此,为了了解蓄水对三峡库区支流水生生态系统的影响,选择以小江库湾作为一个研究区域进行鱼类食物网结构的研究有着十分重要的意义。由于水生生态系统食物网自身结构的复杂性^[5-8]及研究方法的有限性,传统胃含物分析法很难准确解释清楚水生生态系统食物网结构及营养关系^[9]。

近 20 年来,稳定碳($\delta^{13}\text{C}$)、氮($\delta^{15}\text{N}$)同位素技术作为胃含物分析方法的补充,在描述消费者与其食物之间的营养关系方面独树一帜。消费者的 $\delta^{13}\text{C}$ 值与其食源相似,平均富集度约为 0‰—1‰之间,是食物来源良好的示踪指标^[10-11]; $\delta^{15}\text{N}$ 在营养级的传递过程中富集度约为 3.4‰,通常用来指示生物所处的营养级^[12]。目前,稳定碳、氮同位素技术已经广泛应用于水域生态系统食物网结构及营养关系的研究^[13-23]。本文以三峡库区支流小江库湾为研究对象,应用 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 技术探讨鱼类食物网的主要碳源及其营养路径,以为小江库湾渔业资源恢复和管理提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 研究区地点

小江流域(30°49′—31°42′N, 107°56′—108°54′E)总面积 5172 km²,干流全长 182 km,是三峡库区中段北岸流域面积最大的支流。2010 年 10 月三峡库区蓄水到 175 m 后,小江回水区延伸至开县县城(汉丰湖)境内,长约 75 km。但考虑回水区末端受到 175—145 m 水位涨落的影响,本研究选择在 145 m 以下的永久回水区域,即小江库湾(从双江口镇到渠口镇下游,长约 40 km(图 1)。为全面反映小江库湾鱼类食物网结构的情况,并综合三峡库区水位调节变化规律(175—145 m)的影响,该研究分别于枯水期(7 月份)和丰水期(12 月份)进行了样品采集工作(受三峡库区水位调节的影响每年的 5—8 月份为枯水期,9 月至翌年 4 月为丰水期):POM(颗粒有机物)和固着藻类设置了 3 个采样点(图 1);水生植物(仅在枯水期采集到样品)、软体动物和消落带陆生植物沿小江库湾随机采集其优势种类;鱼

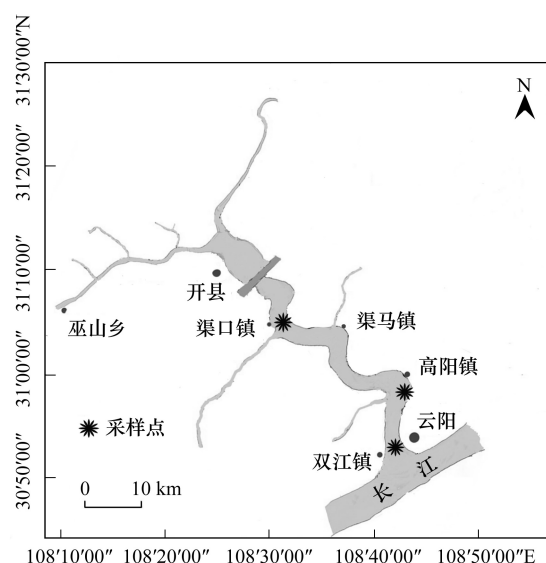


图 1 研究地点位置和采样站点

Fig.1 Location of the Xiaojaing Bay and sampling sites

类样品主要在渠口到双江镇水域采集。

1.2 样品采集及处理

徒手采集优势水生植物(水蓼 *Polygon hydropiper* 和喜旱莲子草 *Alternanthera philoxeroides*) 和沿岸优势陆生植物(苍耳 *Xanthium sibiricum*、狗尾草 *Setaria faberii* 和狗牙根 *Cynodon dactylon*) 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:取上层水,先通过浮游动物网(网目 112 μm) 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。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。每一样点 POM 和固着藻类样品至少有 3 个重复样混合而成。徒手采集软体动物铜锈环棱螺(*Bellamya aeruginosa*) 和大瓶螺(*Pomacea canaliculata*),并将其放置于充分曝气的蒸馏水中过夜,使其肠含物排空。每个采样点铜锈环棱螺样品至少由 30 个个体混合而成,去除其外壳获取软组织。鱼类样品通过聘请渔民电捕获得,取其背侧肌肉。所有样品通过移动冰箱运回到实验室于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温保存备用。用于稳定碳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 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 稳定性同位素测试

所有样品的稳定 C 和 N 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 DELTA 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:

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

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

营养级计算公式:

$$\text{TP} = \left[(\delta^{15}\text{N}_{\text{consumer}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{baseline}}) / \Delta\delta^{15}\text{N}\text{‰} \right] + \lambda$$

式中, $\Delta\delta^{15}\text{N} = 3.4\text{‰}$; 当 baseline 是生产者时, $\lambda = 1$; 当 baseline 初级消费者是, $\lambda = 2$ 。

1.4 统计分析

应用 SPSS 17.0 软件对小江库湾枯水期和丰水期间共有的生物类群的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值进行了方差分析(ANOVA); 以不同时期鱼类 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值作为双重因对鱼类食性类型进行了聚类分析。

2 结果

2.1 稳定碳、氮同位素比值

表 1 显示了小江库湾枯水期和丰水期间初级生产者和消费者稳定碳、氮同位素比值。初级生产者中沼泽区陆生 C_4 植物狗牙根和狗尾草拥有最高的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 分别为 -12.62‰ 、 -11.54‰ ; 水生维管束植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值(-29.60‰ — -29.62‰) 最低; 固着藻类和 POM 样品 $\delta^{13}\text{C}$ (平均值分别为 $(-24.85 \pm 0.38)\text{‰}$ 、 $(-22.19 \pm 1.33)\text{‰}$) 值差异显著($P < 0.05$), 且枯水期和丰水期间没有显著性差异(表 2, $P > 0.05$)。初级生产者固着藻类和 POM 样品的 $\delta^{15}\text{N}$ 值变化幅度大于其 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 为 3.99‰ — 6.25‰ , 但不同时期差异并不显著($P > 0.05$); 消费者大眼鲈 *Siniperca kneri* 拥有最高的 $\delta^{15}\text{N}$ 值(13.65‰), 其次是蒙古鲌 *Erythroculter mongolicus* 和翘嘴鲌 *Erythroculter ilishaeformis*。甲壳类秀丽白虾 *Leander modestus* 和日本沼虾 *Macrobrachium nipponensis* $\delta^{15}\text{N}$ 值较高, 分别为 12.09‰ — 13.50‰ , $(12.16 \pm 0.44)\text{‰}$; 除了鲤 *Cyprinus carpio*、似鳊 *Pseudobrama simoni* 和瓦氏黄颡鱼 *Pelteobagrus vachelli* 的 $\delta^{15}\text{N}$ 值在枯水期和丰水期具有显著性差异外(表 2, $P < 0.05$), 其它类群均无显著性差异(表 2, $P > 0.05$)。

2.2 食物网结构及营养路径

基于 $\delta^{15}\text{N}$ 值在营养级传递过程中相对稳定的富集规律(3.4‰) 计算了小江库湾鱼类的营养级(表 1)。不同时期(枯水期和丰水期)小江库湾食物网均有 3 个营养级, 其中 POM、固着藻类及水生植物(初级生产

表 1 小江库湾初级生产者和消费者稳定 C、N 同位素比值(平均数±标准误)

Table 1 The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values (mean±SE) of the primary producers and consumers in the Xiaojiang Bay

物种 Species	代码 Codes	枯水期 Dry season				丰水期 Wet season			
		$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	TP	<i>n</i>	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	TP	<i>n</i>
初级生产者 Primary producers									
POM (Particulate organic matter)	POM	-24.54±0.79	3.99±2.02		3	-25.17±0.18	6.25±2.13		3
固着藻类 Periphytic algae	P.algae	-23.33±0.61	4.64±0.75		3	-21.05±2.68	4.79±1.58		3
陆生植物 Plant									
苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	X.sibir	-27.87							
狗尾草 <i>Setaria faberii</i>	S.faber	-11.54							
狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	C.dacty	-12.62							
水生植物 Macrophyte (aquatic plant)									
水蓼 <i>Polygonum hydropiper</i>	P.hydro	-29.6	1.42		1				
喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	A.philo	-29.35	1.10		1				
无脊椎动物 Invertebrates									
秀丽白虾 <i>Leander modestus</i>	L.modes	-23.62±0.11	13.50±0.65		3	-21.99	12.09		1
日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponensis</i>	M.mippo	-23.21±1.19	12.16±0.44		3				
铜锈环棱螺 <i>Bellamya aeruginosa</i>	B.aerug	-23.51±1.37	8.39±0.48		>30				
大瓶螺 <i>Pomacea canaliculata</i>	P.canal	-22.96	8.05		>10				
背角无齿蚌 <i>Anodonta woodiana</i>	A.woodi	-27.18	9.18		1				
鱼类 Fish									
鲫 <i>Carassius auratus</i>	C.AU	-23.07±0.74	11.03±0.87	2.78	3	-18.35±0.87	9.28±1.29	2.26	3
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	C.CA	-24.58±1.18	10.89±1.01	2.74	3	-18.92±1.69	7.81±0.52	1.83	3
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	H.MO	-21.17	10.27	2.55	1	—	—		
鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>	A.NO	-22.24	12.28	3.14	1	—	—		
赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	S.CU	-21.64	9.72	2.39	1	—	—		
中华倒刺鲃 <i>Spinibarbus sinensis</i>	S.SI	-21.13	11.05	2.78	1	—	—		
蒙古鲃 <i>Erythroculter mongolicus</i>	E.MO	-24.22±0.13	13.31±0.29	3.45	21	-22.62±0.59	12.42±0.56	3.19	3
翘嘴鲃 <i>Erythroculter ilishaeformis</i>	E.IL	-24.52±0.29	13.04±0.25	3.37	3	-23.52	11.78	3.00	1
蛇鲃 <i>Saurogobio dabryi</i>	S.DA	-26.8	12	3.06	1	-26.22	10.67	2.67	1
黑尾鲈 <i>Hemniculter tchangii</i>	H.TC	-26.07	11.66	2.96	1	-24.94±0.17	11.35±0.38	2.87	3
铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	C.HE	—	—			-27.72±1.22	10.48±0.77	2.61	2
似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	P.SI	-22.56±0.69	11.08±0.09	3.00	3	-26.59±1.48	7.07±0.25	1.61	3
银鲃 <i>Squalulus argentatus</i>	S.AR	-23.28±0.80	11.56±0.49	2.93	3	-19.91±0.67	10.53±0.66	2.63	3
鲇 <i>Silurus asotus</i>	S.AS	-22.20±0.84	11.35±1.62	2.87	2	-19.73	9.99	2.47	1
瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	P.VA	-21.99±0.83	9.50±0.50	2.19	2	-22.98±0.21	11.80±0.32	3.00	
光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitilus</i>	P.NI	-25.18±0.49	11.69±0.08	2.97	2	-25.81±0.46	12.18±0.45	3.11	
大眼鲈 <i>Siniperca kneri</i>	S.KN	-22.96	13.65	3.55	1	-22.26	13.24	3.43	1.

表 2 枯水期与丰水期不同类群生物之间同位素比值组成的方差分析

Table 2 The different organisms Variance analysis of between in dry season and wet season

种类 Species		$\delta^{13}\text{C}$			$\delta^{15}\text{N}$		
		S.S	F	P	S.S	F	P
食源	POM (Particulate organic matte)	0.61	0.62	0.586	7.68	0.59	0.476
Potential sources	固着藻类 Periphytic algae	7.81	0.69	0.451	0.04	0.01	0.931
消费者 Consumers	鲫 <i>C. carpio</i>	33.46	17.02	0.023	4.61	1.27	0.316
	鲤 <i>C. auratus</i>	48.05	7.53	0.052	14.23	7.29	0.040
	银鲃 <i>S. argentatus</i>	13.64	10.24	0.039	1.26	1.21	0.352
	似鳊 <i>P. simoni</i>	24.40	6.09	0.067	24.10	223.92	0.000
	光泽黄颡 <i>P. nitilus</i>	0.40	0.91	0.441	0.24	1.18	0.386
	瓦氏黄颡 <i>P. vachelle</i>	0.98	1.35	0.355	3.11	29.05	0.025
	蒙古鲃 <i>E. mongolicus</i>	3.72	6.48	0.061	4.88	6.73	0.063

者)位于食物网的底层,鱼类位于食物网的上层,而无脊椎动物(背角无齿蚌 *Anodonta woodiana* 和螺类)介于两者之间(图2和图3)。在小江库湾鱼类食物网中蒙古鲌、翘嘴鲌及大眼鲈等位于第三营养级,其中以大眼鲈营养级最高(3.43—3.55),多数鱼类介于第二和第三营养级之间。小江库湾不同时期鱼类营养功能类群的聚类分析图显示(图4和图5)枯水期与丰水期小江库湾鱼类食性类型主要可分为3种,分别为杂食偏植食性类群(I)、杂食偏动物食性类群(II)和动物食性类群(III)(图4和图5)。根据稳定C、N同位素数据和已有鱼类的胃含物分析结果^[24]推测可知,小江库湾鱼类食物网主要通过4种营养途径经过2—3个环节进行碳源的传递。第一种营养路径,以POM为碳源经过浮游动物(未采集)到摄食浮游动物鱼类(接近第三营养级)如鳊 *Aristichthys nobilis*、鲢 *Hypophthalmichthys molitrix*,最终到顶端捕食者(接近第四营养级)。第二种和第三种营养路径,以底栖固着藻类为碳源,经过无脊椎动物(秀丽白虾、日本沼虾等)到浮游食物链中偏动物食性鱼类(第三营养级)如蒙古鲌、翘嘴鲌;或经过无脊椎动物(螺类)到底栖杂食偏动物性鱼类(接近第三营养级),最终传递到高级捕食者(接近第四营养级),如大眼鲈。第四种营养路径,以外源营养物质输入为碳源,通过以腐殖质为营养来源的水生昆虫(未采集)到底栖偏动物食性鱼类,最终进入顶端捕食者。

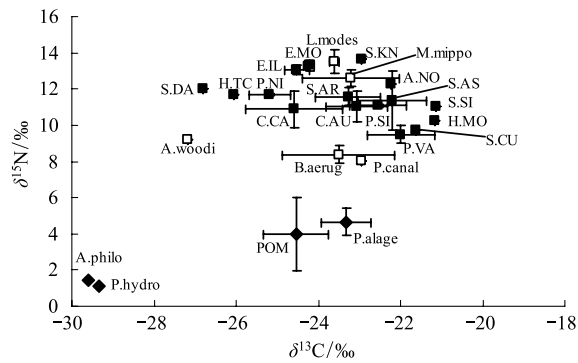


图2 枯水期小江库湾食物网结构模式图(2010-07)

Fig.2 The food web structure's model of the Xiaojang Bay in the dry season

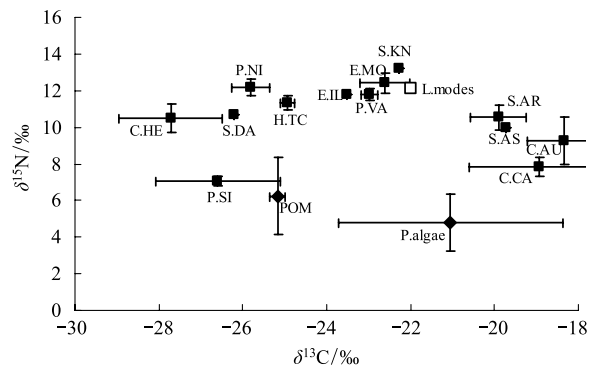


图3 丰水期小江库湾食物网结构模式图(2010-12)

Fig.3 The food web structure's model of the Xiaojang Bay in the wet season

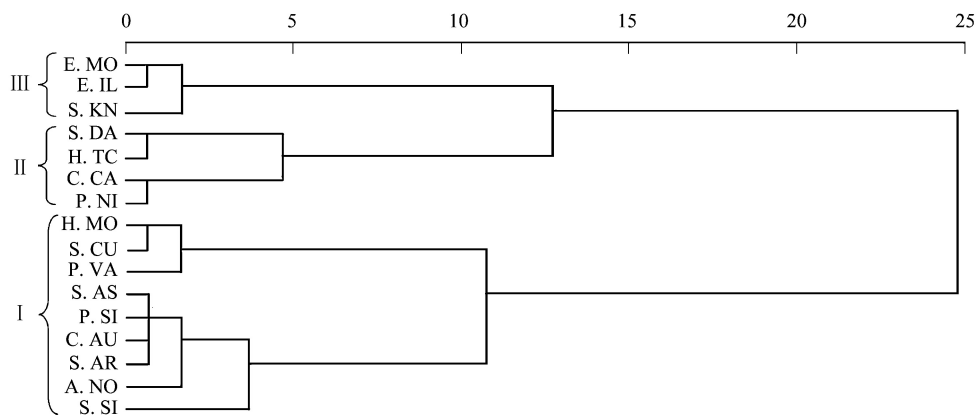


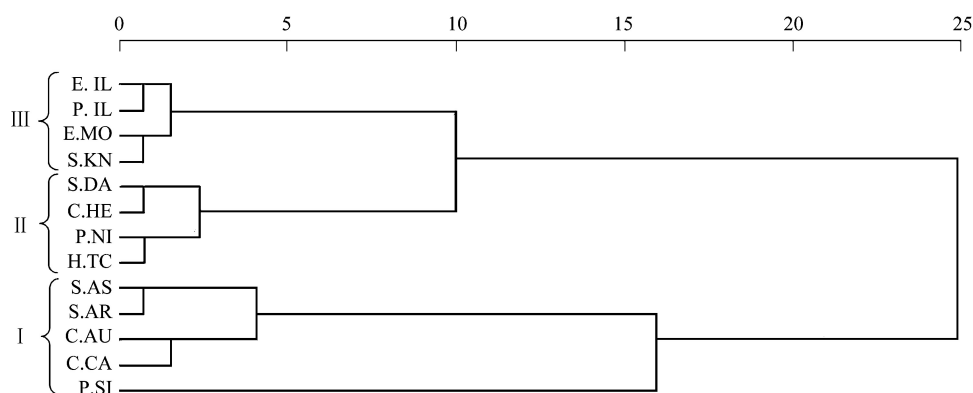
图4 枯水期间基于小江库湾16种鱼类 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值的聚类分析

Fig.4 Cluster analysis of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values for 16 fish species in dry season from the Xiaojang Bay

3 讨论

3.1 基线值的确定

不同水域食物网中 $\delta^{15}\text{N}$ 基线值差异较大,确定消费者营养级关键在于寻找合适 $\delta^{15}\text{N}$ 基线值^[25]。David^[26]指出生活周期较长,个体较大的螺类和双壳类 $\delta^{15}\text{N}$ 值能有效的反映研究区域中初级生产者、碎屑及

图 5 枯水期间基于小江库湾 13 种鱼类 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值的聚类分析Fig.5 Cluster analysis of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values for 16 fish species in wet season from the Xiaojiang Bay

有机物等同位素特征。因此,它们的 $\delta^{15}\text{N}$ 值作为基线值已经广泛用于评价次级消费者和高营养级生物的营养级位置^[27]。该研究未能在丰水期采集到软体动物螺类或双壳类,但已有研究表明它们 $\delta^{15}\text{N}$ 值组成不易受季节变化的影响^[26]。因此,采用枯水期间铜锈环棱螺和背角无齿蚌 $\delta^{15}\text{N}$ 值的平均值作为基线值分别计算小江库湾枯水期和丰水期间鱼类营养级。

3.2 小江库湾鱼类能量源

固着藻类、POM、水生植物和消落带陆生植物等构成了小江库湾食物网中消费者在不同时期(枯水期和丰水期)的潜在食源,其 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值(陆生植物未测定 $\delta^{15}\text{N}$ 值)差异显著。枯水期,绝大多数消费者 $\delta^{13}\text{C}$ 值落在 POM 和固着藻类的 $\delta^{13}\text{C}$ 值范围中,表明了 POM 和固着藻类是小江库湾消费者(鱼类)重要食物来源;与 POM、固着藻类不同,水生植物具有特别贫乏的 $\delta^{13}\text{C}$ 值,进一步证明颗粒有机物(POM)和固着藻类在支持小江库湾枯水期间食物网碳源驱动中的重要性。与枯水期相比,丰水期经历了三峡库区的蓄水过程(小江库湾水位从 145 m 左右上升到 175 m),蓄水致使两岸陆生 C_4/C_3 植物、农田有机物及陆生昆虫等大量的陆生营养物质进入水体,为消费者提供了多元化的潜在食源^[28-29],致使似鳊(P.SI)、铜鱼 *Coreius heterodon* (C.HE)、鲫(C.AU)和鲤(C.CA)等消费者有机会摄食了 $\delta^{13}\text{C}$ 值更为贫乏或更为富集的食源,同时暗示了陆生碳源输入对消费者能量贡献的重要性。

在鱼类群落中,摄食策略是影响稳定同位素数据分析鱼类复杂食物网营养关系的重要因素^[30]。小江库湾银鲌、蛇鲌和瓦氏黄颡鱼等多种鱼类的 $\delta^{13}\text{C}$ 值较为相近,暗示了它们的食物来源重叠度高;鲫、鲤不同时期(枯水期和丰水期) $\delta^{13}\text{C}$ 值差异显著,可能与它们摄食策略的改变相关(摄食了不同的食源)^[31-33]。聚类分析显示了丰水期间似鳊(P.SI)单独聚类为一支,但胃含物分析显示其食物主要来源于藻类、植物碎屑等,综合考虑其食性类型为杂食偏植物食性更为准确。已有肠含物分析表明瓦氏黄颡鱼 *Pelteobagrus vachelli* (P.VA) 为杂食偏植物食性鱼类^[34],但聚类分析显示(图 5)瓦氏黄颡鱼(P.VA)和大眼鲈(S.KN)、蒙古鲌(E.MO)等动物食性鱼类聚为一支。研究结果建议,稳定碳、氮同位素在分析鱼类食物来源及营养关系时需结合肠含物分析结果才能更准确的理解同位素数值的意义。

3.3 食物网结构和营养级

在不同时期小江库湾大眼鲈(动物食性鱼类)均位于食物网的顶端。杂食性鱼类的营养级在不同时期变化不大,与 Chassot 等^[35]得出杂食性鱼类的营养级不容易受到时间变化的影响这一结论一致。通常,湖泊生态系统中平均食物链长度为 4.0 个营养级^[36]。与湖泊生态系统不同,小江库湾属于河流型水库生态系统,在枯水期和丰水期间均有 3.0 个营养级;但与枯水期相比,丰水期小江库湾食物网营养级长度略有下降,可能与蓄水过程中鱼类潜在食源(陆生输入)的种类增多有关,因为陆生营养物质拥有相对低的 ^{15}N ^[37]。小江库湾食物链长度的相对稳定性可能暗示了该水域食物网结构的稳定性。Persson 等^[34]指出食物网营养级长度与生

境中生产率或生境的复杂性有关;另有观点表明食物链的长度与生态系统大小呈正相关关系^[39],但生态系统大小对食物链长度影响有多大,目前仍不清楚^[39]。

总体而言,在三峡工程运行初期小江库湾已经形成了相对稳定的食物网结构,但随着三峡库区运行时间的增加,小江库湾鱼类食物网结构和营养关系将如何变化? 仍需长期的监测。

致谢:感谢西南大学彭作刚教授在论文写作过程中给予的帮助。

References:

- [1] Li B, Jiang X, Wang Z J, Jin L, Duan X B, Zhang Y G. The current situation of fishery resources in the Xiaojiang River of the Three Gorges Reservoir. *Freshwater Fisheries (Chinese)*, 2011, 41(6): 37-42.
- [2] Li Z, Fang F, Guo J S, Chen J, Zhang C, Tian G. Spring algal bloom and nutrients characteristics in Xiaojiang River backwater area, Three Gorges Reservoir, 2007. *Journal of Lake Sciences*, 2009, 21(1): 36-44.
- [3] Guo J S, Chen J, Li Z, Fang F, Zhang C, Tian G. Investigation of phytoplankton and assessment of Algal diversity on Backwater Area of Xiaojiang River in Three Gorges Reservoir after its initiate impounding to the water level of 156 m in Spring. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2008, 29(10): 2710-2715.
- [4] Pan X J, Peng J H, Zhang Z Y, Zheng Z W. The annual characteristics of phytoplankton Communities in Pengxi River. *Environmental Science & Technology*, 2009, 32(Special): 95-101.
- [5] Post D M. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*, 2002, 83(3): 703-718.
- [6] Gray E V, Boltz J M, Kellogg K A, Stauffer J R. Food resource partitioning by nine sympatric darter species. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1997, 126(5): 822-840.
- [7] Scott S, Pardo R, Vila I. Trophic niche overlap between two Chilean endemic species of *Trichomycterus* (Teleostei:Siluriformes). *Revista Chilena De Historia Natural*, 2007, 80(4): 431-437.
- [8] Norkko A, Thrush S F, Cummings V J, Gibbs M M, Andrew N L, Norkko J M, Schwarz A M. trophic structure of coastal Antarctic food webs associated with changes in sea ice and food supply. *Ecology*, 2007, 88(11): 2810-2820.
- [9] Jones J I, Waldron S. Combined stable isotope and gut contents analysis of food webs in plant-dominated, shallow lakes. *Freshwater Biology*, 2003, 48(8): 1396-1407.
- [10] Gu B, Schelske C L, Hoyer M V. Stable isotopes of carbon and nitrogen as indicators of diet and trophic structure of the fish community in a shallow hypereutrophic lake. *Journal of Fish Biology*, 1996, 49(6): 1233-1243.
- [11] Persic A, Roche H, Ramade F. Stable carbon and nitrogen isotope quantitative structural assessment of dominant species from the Vaccares lagoon trophic web (Camargu Biosphere Reserve, France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, 60(2): 261-272.
- [12] DeNiro M J, Epstein S. Influence of diet on the distribution of nitrogen in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1978, 42(5): 341-355.
- [13] Hasson S, Hobbie J E, Elmgren R, Larsson U, Fry B, Johansson S. The stable nitrogen isotope ratio as a marker of foodweb interactions and fish migration. *Ecology*, 1997, 78(7): 2249-2257.
- [14] Kohzu A, Tayasu I, Yoshimizu C, Maruyama A, Kohmatsu Y, Hyodo F, Onoda Y, Igetaa A, Matsui K, Nakano T. Nitrogen-stable isotopic signatures of basal food items, primary consumers and omnivores in rivers with different levels of human impact. *Ecological Research*, 2009, 24(1): 127-136.
- [15] Karube Z, Okada N, Tayasu I. Sulfur stable isotope signature identifies the source of reduced sulfur in benthic communities in macrophyte zones of Lake Biwa, Japan. *Limnology*, 2012, 13(3): 269-280.
- [16] Hoekman D, Bartrons M, Gratton C. Ecosystem linkages revealed by experimental lake-derived isotope signal in heathland food webs. *Oecologia*, 2012, 170(3): 735-745.
- [17] Sun Z G, Mou X J, Li X H, Wang L L, Song H L, Jiang H H. Application of stable isotope techniques in studies of carbon and nitrogen biogeochemical cycles of ecosystem. *Chinese Geographical Science*, 2011, 21(2): 129-148.
- [18] 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 Ecology Sinica*, 2009, 29(3): 1181-1188.
- [19] 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 Ecology Sinica*, 2012, 32(5): 1519-1526.
- [20] Mao Z G, Gu X H, Zeng Q F, Zhou L H, Sun M B. Food web structure of a shallow eutrophic lake (Lake Taihu, China) assessed by stable isotope analysis. *Hydrobiologia*, 2012, 683(1): 173-183.

- [21] Quan W M. Food Web Analysis of Salt Marshes of the Yangtze River Estuary by Using Stable Isotopes. Fudan University Shanghai, 2007.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Zhang L. A stable carbon and nitrogen isotope study of fishes from the Three Gorges riverine section of the Yangtze River. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences Wuhan, 2007.
- [25] Vander Zanden M J, Rasmussen J B. Primary consumer $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ and the trophic position of aquatic consumers. Ecology, 1999, 80(4): 1395-1404.
- [26] David M, Post. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions[J]. Ecology, 2002, 83(3): 703-718.
- [27] Vander Zanden M J, Chandra S, Allen B C, Reuter J E, Goldman C R. Historical food web structure and the restoration of native aquatic communities in the Lake Tahoe (California-Nevada) basin. Ecosystems, 2003, 6(3): 274-288.
- [28] Smith B N, Epstein S. Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. Plant Physiology. 1971, 47(3): 380-384.
- [29] 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(7): 1301-1346.
- [30] Davenport S R, Bax N J. A trophic study of a marine ecosystem of Southeastern Australia using stable isotopes of carbon and nitrogen. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2002, 59(3): 514-530.
- [31] Hansona C E, Hyndesa G A, Wang S F. Differentiation of benthic marine primary producers using stable isotopes and fatty acids: implications to food webs studies. Aquatic Botany, 2010, 93(2): 114-122.
- [32] Coat S, Monti D, Bouchon C, Lepoint G. Trophic relationships in a tropical stream food web assessed by stable isotope analysis. Freshwater Biology, 2009, 54(5): 1028-1041.
- [33] Eisner L, Hillgruber N, Martinson E, Maselko J. Pelagic fish and zooplankton species assemblages in relation to water mass characteristics in the northern Bering and southeast Chukchi seas. Polar Biology, 2013, 36(1): 87-113.
- [34] Chassot E, Rouyer T, Trenkel V M, Gascuel D. Investigating trophic-level variability in Celtic Sea fish predators. Journal of Fish Biology, 2008, 73(4): 763-781.
- [35] Vander Zanden M J, Fetzner W W. Global patterns of aquatic food chain length. Oikos, 2007, 116(8): 1378-1388.
- [36] Wangtzen K M, Machado F A, Voss M. Seasonal isotopic shifts in fish of the Pantanal wetland, Brazil. Aquatic Sciences, 2002, 64(3): 239-251.
- [37] Persson L, Didhl S, Johansson L, Andersson G, Hamrin S F. Trophic interactions in temperate lake ecosystems—a test of food-chain theory. The American Naturalist, 1992, 140(1): 59-68.
- [38] Vander Zanden M J, Shuter B J, Lester N, Rasmussen J B. Patterns of food chain length in lakes: a stable isotope study. The American Naturalist, 1999, 154(4): 406-416.
- [39] Post D M. The long and short of food-chain length. Trends in Ecology & Evolution, 2002, 17(6): 269-277.

参考文献:

- [1] 李斌, 江星, 王志坚, 金丽, 段辛斌, 张耀光. 三峡库区蓄水后小江鱼类资源现状. 淡水渔业, 2011, 41(6): 37-42.
- [2] 李哲, 方芳, 郭劲松, 陈杰, 张超, 田光. 三峡小江回水区段 2007 年春季水华与营养盐特征. 湖泊科学, 2009, 21(1): 36-44.
- [3] 郭劲松, 陈杰, 李哲, 方芳, 张超, 田光. 156m 蓄水后三峡水库小江回水区春季浮游植物调查及多样性评价. 环境科学, 2008, 29(10): 2710-2715.
- [4] 潘晓洁, 彭建华, 张志永, 郑志伟. 澎溪河浮游植物群落结构的周年变化特征. 环境科学与技术, 2009, 21(1): 36-44.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [18] 全为民. 长江口盐沼湿地食物网的初步研究: 稳定同位素分析. 上海: 复旦大学, 2007.
- [30] 张亮. 长江三峡江段鱼类碳、氮稳定性同位素研究. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2007.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.20 Oct., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Spatial variability of small and medium scales' resource abundance of *Ommastrephes bartramii* in Northwest Pacific YANG Mingxia, CHEN Xinjun, FENG Yongjiu, et al (6427)
- The effect of moisture and temperature on soil C mineralization in wetland and steppe of the Zoige region, China WANG Dan, LV Yuliang, XU Li, et al (6436)
- Response and population bionomic strategies of desert rodent communities towards disturbance of cultivation YUAN Shuai, FU Heping, WU Xiaodong, et al (6444)
- Effects of Bt-cotton on *Propylea japonica*, an Enemy Insect of *Bemisia tabaci* (Gennadius) ZHOU Fucui, GU Aixiang, YANG Yizhong, et al (6455)
- Research progress in the ecological effects of micro-landform modification WEI Wei, YU Yun, JIA Fuyan, et al (6462)

Autecology & Fundamentals

- A multi-scale feeding habitat selection of Red-crowned crane during spring migration at the Shuangtaihekou Nature Reserve, Liaoning Province, China WU Qingming, ZOU Hongfei, JIN Hongyang, et al (6470)
- Surface pollen research of Nanshan region, Shihezi City in Xinjiang ZHANG Hui, ZHANG Yun, YANG Zhenjing, et al (6478)
- Dynamics of leaf carbon, nitrogen and phosphorus of two dominant species in a Poyang Lake wetland ZHENG Yanming, YAO Bo, WU Qin, et al (6488)
- Estimation of forest aboveground biomass using high spatial resolution remote sensing imagery HUANG Jinlong, JU Weimin, ZHENG Guang, et al (6497)
- Cost-benefits of the clonal integration of *Cynodon dactylon*, a stolon herbaceous plant, under heterogeneous lighting condition TAO Yingshi, HONG Shengchun, LIAO Yongmei, et al (6509)
- Biological cycling of *Koeleria paniculata* plantation microelements in Xiangtan Manganese Mine wasteland LUO Zhaohui, TIAN Dalun, TIAN Hongdeng, et al (6517)
- Effects of ectomycorrhizal fungi (*tinctorius* (Pers.) Coker & Couch) on the biomass of masson pine (*Pinus massoniana*) seedlings under simulated acid rain CHEN Zhan, WANG Lin, SHANG He (6526)
- Effects of biochar on selected soil chemical properties and on wheat and millet yield CHEN Xinxiang, HE Xusheng, GENG Zengchao, et al (6534)
- Source of variation of plant functional traits in the Yanhe river watershed: the influence of environment and phylogenetic background ZHANG Li, WEN Zhongming, MIAO Lianpeng (6543)
- The general biology and experimental population life table about *Asynacta ambrostomae* WANG Xiumei, ZANG Liansheng, LIN Baoqing, et al (6553)
- Effect of several ecological factors on embryonic development of *Sepia lycidas* PENG Ruibing, JIANG Xiamin, YU Shuguang, et al (6560)

Population, Community and Ecosystem

- The thinning regular of the the shrubbery at Tongguling National Nature Reserve on Hainan Island, China ZHOU Wei, LONG Cheng, YANG Xiaobo, et al (6569)
- The cause of grassland degradation in Golog Tibetan Autonomous Prefecture in the Three Rivers Headwaters Region of Qinghai Province ZHAO Zhiping, WU Xiaopu, LI Guo, et al (6577)
- Effects of simulated nitrogen deposition on substrate quality of litterfall in a *Pleioblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (6587)
- Phytoplankton community structure based on pigment composition in Qinzhou bay during average water period LAN Wenlu, LI Mingmin, LI Tianshen (6595)
- Functional trait-based evaluation of plant fireproofing capability for subtropical evergreen broad-leaved woody plants LI Xiupeng, YANG Xiaodong, YU Shuquan, et al (6604)
- Interspecific associations between *Parus major* and other bird communities in Beijing Xishan region DONG Daying, FAN Zhongji, LI Zhaxijie, et al (6614)

- Feasibility analysis of passive integrated transponders in population ecology studies of Siberian chipmunk
..... YANG Hui, MA Jianzhang, RONG Ke (6634)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Dynamic variation of water deficit of winter wheat and its possible climatic factors in Northern China
..... LIU Qin, MEI Xurong, YAN Changrong, et al (6643)
- Study on the levels' evaluation of provincial low-carbon development in China based on the FAHP-TOPSIS method
..... HU Linlin, JIA Junsong, MAO Duanqian, et al (6652)
- An investigation of the safety threshold of a floodplain wetland: a case study of the Er-Ka Nature Reserve, China
..... HU Chunming, LIU Ping, ZHANG Litian, et al (6662)
- Application of le bissonnais method to study soil aggregate stability under different vegetaion on the loess plateau
..... LIU Lei, AN Shaoshan, Huang Huawei (6670)
- Analysis of vegetation and soil degradation characteristics under different human disturbance in lakeside wetland, Napahai
..... TANG Mingyan, YANG Yongxing (6681)

Resource and Industrial Ecology

- Changes of land surface temperature and its response to urbanization under the extreme high-temperature background in recent
ten years of Beijing LI Xiaomeng, SUN Yonghua, MENG Dan, et al (6694)
- Stable isotope (^{13}C and ^{15}N) analysis of fish food web of the Xiaojiang Bay in Three Gorges Reservoir
..... LI Bin, XU Dandan, WANG Zhijian, et al (6704)

Research Notes

- Dynamics of CO_2 exchange and its environmental controls in an urban green-land ecosystem in Beijing Olympic Forest Park
..... CHEN Wenjing, LI Chunyi, HE Guimei, et al (6712)
- Effects of vegetation restoration on landscape pattern of Hongya Country in recent 15 years
..... WANG Peng, LI Xianwei, ZHAO Anjiu, et al (6721)
- Photosynthetic characteristics and SAMS gene expression in the red alga *Porphyra yezoensis* Ueda under high salinity
..... ZHOU Xianghong, YI Lefei, XU Juntian, et al (6730)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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

本期责任副主编 宋金明

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 33 卷 第 20 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 20 (October, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元