

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 1 期
Vol.31 No.1
2011



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 1 期 2011 年 1 月 (半月刊)

目 次

青藏高原东缘林线杜鹃-岷江冷杉原始林的空间格局	缪 宁, 刘世荣, 史作民, 等 (1)
季风常绿阔叶林不同恢复阶段藤本植物的物种多样性比较	李帅锋, 苏建荣, 刘万德, 等 (10)
越冬和复苏时期太湖水体蓝藻群落结构的时空变化	顾婷婷, 孔繁翔, 谭 啸, 等 (21)
海南新村湾海草床主要鱼类及大型无脊椎动物的食源	樊敏玲, 黄小平, 张大文, 等 (31)
广西涠洲岛造礁珊瑚种群结构的空间分布	梁 文, 张春华, 叶祖超, 等 (39)
宽窄行栽植模式下三倍体毛白杨根系分布特征及其与根系吸水的关系	席本野, 王 烨, 贾黎明, 等 (47)
干旱河谷-山地森林交错带土壤水分与养分特征	刘 彬, 罗承德, 张 健, 等 (58)
信号分子水杨酸减缓干旱胁迫对紫御谷光合和膜脂过氧化的副效应	易小林, 杨丙贤, 宗学凤, 等 (67)
UV-B 辐射对南方红豆杉生活史型和紫杉烷类含量的影响	于景华, 李德文, 庞海河, 等 (75)
模拟氮沉降对石栎和苦槠幼苗土壤呼吸的影响	李 凯, 江 洪, 由美娜, 等 (82)
环渤海湾地区连作苹果园土壤中酚酸类物质变化	孙海兵, 毛志泉, 朱树华 (90)
不同施肥方法对马来沉香和土沉香苗期根系生长的影响	王 冉, 李吉跃, 张方秋, 等 (98)
秋华柳和枫杨幼苗对镉的积累和耐受性	贾中民, 魏 虹, 孙晓灿, 等 (107)
祁连山北坡退化林地植被群落的自然恢复过程及土壤特征变化	赵成章, 石福习, 董小刚, 等 (115)
中国北方农牧交错带 C3 草本植物 $\delta^{13}\text{C}$ 与温度的关系及其对水分利用效率的指示	刘贤赵, 王国安, 李嘉竹, 等 (123)
不同退耕模式细根(草根)分解过程中 C 动态及土壤活性有机碳的变化	荣 丽, 李守剑, 李贤伟, 等 (137)
黑龙江省完达山东部林区东北虎猎物生物量	周绍春, 张明海, 孙海义 (145)
生态保护项目对大熊猫栖息地的影响	张玉波, 王梦君, 李俊清 (154)
石灰和 EM 处理条件下土壤动物群落在落叶分解中的变化	高梅香, 张雪萍 (164)
基于 EPG 的麦长管蚜、麦二叉蚜和禾谷缢管蚜取食行为比较	苗 进, 武予清, 郁振兴, 等 (175)
对映-贝壳杉烷型二萜类化合物对土壤纤毛虫群落的毒性效应	宁应之, 杜海峰, 王红军 (183)
红脂大小蠹种群空间格局地统计学分析及抽样技术	潘 杰, 王 涛, 宗世祥, 等 (195)
山西不同生态型大豆种质资源蛋白亚基的变异	王燕平, 李贵全, 郭数进, 等 (203)
施肥和覆膜垄沟种植对旱地小麦产量及水氮利用的影响	李廷亮, 谢英荷, 任苗苗, 等 (212)
近 40a 甘肃省气候生产潜力时空变化特征	罗永忠, 成自勇, 郭小芹 (221)
基于 GIS 的农村住区生态重要性空间评价及其分区管制——以兴国县长冈乡为例	谢花林, 李秀彬 (230)
农户收入差异对生活用能及生态环境的影响——以江汉平原为例	杨 振 (239)
河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因	王 千, 金晓斌, 周寅康, 等 (247)
土地利用对石漠化地区土壤团聚体有机碳分布及保护的影响	罗友进, 魏朝富, 李 渝, 等 (257)
专论与综述	
景观格局-土壤侵蚀研究中景观指数的意义解释及局限性	刘 宇, 吕一河, 傅伯杰 (267)
美国煤矿废弃地的生态修复	张成梁, B. Larry Li (276)
农田土壤食物网管理的原理与方法	陈云峰, 胡 诚, 李双来, 等 (286)
学术信息与动态	
旱地、荒漠和荒漠化: 探寻恢复之路 —— 第三届国际荒漠化会议述评	吕一河, 傅伯杰 (293)

海南新村湾海草床主要鱼类及大型无脊椎动物的食源

樊敏玲^{1,2}, 黄小平^{1,*}, 张大文¹, 张景平^{1,2}, 江志坚^{1,2}, 曾艳艺^{1,2}

(1. 中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境动力学重点实验室, 广州 510301; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 利用稳定碳同位素技术, 分析了海南岛新村湾海草床中主要鱼类及大型无脊椎动物的食物来源。结果显示, 有机碳源 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化范围为 -16.9‰ — -6.8‰ , 以海草叶片及其碎屑最高 ($-7.8\text{‰} \pm 0.2\text{‰}$), 悬浮颗粒有机质 (POM) 最低 ($-16.9 \pm 0.2\text{‰}$), 而附生藻类 ($-12.0 \pm 0.9\text{‰}$) 和沉积物有机质 (SOM) ($-13.2 \pm 0.2\text{‰}$) 居中。消费者 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化范围为 -15.4‰ — -6.4‰ , 表明其食物来源较广。IsoSource 混合模型计算结果表明, 本海草床棘皮动物、多毛类、甲壳类和大部分的鱼类以海草为主要有机碳源, 双壳类主要同化附生藻类和 SOM 的混合有机碳源, 少数鱼类以 POM 为主要碳源。以上结果表明, 海草是海草床中主要鱼类及大型无脊椎动物的重要食物来源。

关键词: 海草; $\delta^{13}\text{C}$; 食物来源; 鱼类; 大型无脊椎动物

Food sources of fish and macro-invertebrates in a tropical seagrass bed at Xincun Bay, Southern China

FAN Minling^{1,2}, HUANG Xiaoping^{1,*}, ZHANG Dawen¹, ZHANG Jingping^{1,2}, JIANG Zhijian^{1,2}, ZENG Yanyi^{1,2}

1 Key Laboratory of Tropical Marine Environmental Dynamics, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Seagrass beds are highly diverse and productive ecosystems, and are well-known as one of the most economically valuable ecosystems on earth. They provide food and habitat for numerous fish and invertebrate species. Based on present knowledge, the stability of the species communities living in seagrass beds is largely depending on the availability of food, therefore studying the food sources and trophic structures of the living components within seagrass beds is very important for understanding the dynamic process and the sustainability of seagrass ecosystems. So far most publications are focusing on seagrass food webs in temperate regions, such as Mediterranean Sea and the western Australia, and little information is available of those seagrass beds located in tropical-subtropical areas including southern China.

This paper, using the stable carbon isotope analysis method, attempts to identify the main food sources for fish and macro-invertebrates living in a mixed-species tropical seagrass bed at Xincun Bay, southern China, and mainly focuses on their $\delta^{13}\text{C}$ values. The $\delta^{13}\text{C}$ values of the studied organic sources range from -16.9‰ to -6.8‰ , with seagrass leaves and leaf litter being the most ^{13}C -enriched sources ($-7.8 \pm 0.2\text{‰}$), POM (particulate organic matter) being the most ^{13}C -depleted source ($-16.9 \pm 0.2\text{‰}$), and seagrass epiphytes ($-12.0 \pm 0.9\text{‰}$) and SOM (sediment organic matter) ($-13.2 \pm 0.2\text{‰}$) having $\delta^{13}\text{C}$ values in the middle. Three studied seagrass species, *Thalassia hemprichii*, *Enhalus acoroides* and *Halodule uninervis*, have $\delta^{13}\text{C}$ values of ($-8.9 \pm 0.1\text{‰}$), ($-6.8 \pm 0.4\text{‰}$) and ($-8.4 \pm 0.1\text{‰}$), respectively. The studied 12 invertebrate species have $\delta^{13}\text{C}$ values ranging from -12.5‰ to -6.4‰ , and the studied 13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40776086); 中国科学院南海海洋研究所领域前沿项目 (LYQY200706); 联合国环境规划署/全球环境基金 (UNEP/GEF) 项目 (UNEP/GEF/SCS/Chi/MoU2c)

收稿日期: 2010-08-17; 修订日期: 2010-12-14

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

fish species have $\delta^{13}\text{C}$ values between -15.4‰ and -8.5‰ . The above experimental results suggest that the $\delta^{13}\text{C}$ values of different components from the seagrass bed are significantly different and therefore they can be used as tracers to identify the food sources for different creatures living in seagrass beds.

Using $\delta^{13}\text{C}$ values as references, we then estimate the contribution of four components as food sources for some animal species (including fish and macro-invertebrates) living in Xincun Bay seagrass. IsoSource modeling suggests that the contribution of POM as food sources for three planktonic fish *Hypoatherina valenciennei*, *Sardinella zunasi* and *Stolephorus* spp. are 48%–79%, 42%–77% and 59%–84%, respectively. Epiphytes and SOM are the main food sources for four studied bivalves which have similar $\delta^{13}\text{C}$ values. Seagrass-originated materials are the dominant food sources for the studied 12 animal species, including sea urchin (*Hemicentrotus pulcherrimus*), polychaetes (*Dasybranchus caducus* and *Marphysa sanguinea*), crustaceans (*Penaeus monodon*, *Metapenaeus* sp., and *Thalamita danae*) and some fish species. The IsoSource modeling results also indicate that seagrass-related materials contribute 14% to 49% of the food sources for studied two crabs (*Thalamita stephensoni* and *Portunus pelagicus*) whose $\delta^{13}\text{C}$ values are between -11.1‰ and -9.9‰ , and other four fish species (*Terapon theraps*, *Gerres lucidus*, *Parascorpaena picta*, and *Ambassis kopsii*) whose $\delta^{13}\text{C}$ values are between -11.4‰ and -10.2‰ . Overall, this study shows that seagrass is the most important food source for fauna species inhabiting in seagrass beds.

Key Words: seagrass; carbon stable isotope; food sources; fish; macro-invertebrate

海草为单子叶高等植物,广泛分布于全球各大洲热带及温带沿岸海域。在热带和亚热带海区,海草床与红树林及珊瑚礁一样,是三大典型的海洋生态系统之一,具有较大的碳储备能力和较高的生物多样性^[1]。海草床不仅为海洋生物提供良好的栖息地,还提供丰富的食物来源。

在特定生态系统中,各种生物种群之间的摄食关系、营养物质和能量流动是生态研究的热点和难题。稳定同位素技术为解决这一生态学难题提供了新的研究手段。稳定碳同位素比值($\delta^{13}\text{C}$)常用来分析消费者的食物来源^[2]。近年来,稳定碳同位素方法广泛地应用于复杂生态系统如红树林、海草床和盐沼湿地消费者食物来源的研究^[3-6]。其中,对海草床的研究表明,在不同研究区域消费者的主要食物来源不同。譬如,Moncreiff 和 Sullivan^[7]在墨西哥湾北部海草床的研究证实,消费者的主要有机碳源为海草附生藻类,而海草对次级生产的贡献十分有限;Vizzini 等^[8]在地中海东部海草床的研究发现,海草碎屑和附生藻类均是海草床的主要能量基础;而 Vonk 等^[9]在热带印度太平洋的混生海草床的研究表明,海草有机碳对食物网有重要贡献,超过一半的动物种类利用海草有机碳。目前,国内已进行红树林、盐沼湿地、湖泊等生态系统食物网结构的稳定同位素研究^[10-12]。然而,国内关于海草床生态系统中消费者的食物来源的研究还未见报道。

本文以海南新村湾海草床为例,应用稳定碳同位素技术对海草床中主要鱼类及大型无脊椎动物的食物来源进行研究,旨在认识海草床生态系统物质和能量流动过程,为海草床的保护提供科学依据。

1 研究地点与方法

1.1 海草床概况

海南新村湾位于海南省陵水县东南部($18^{\circ}24' - 18^{\circ}27'\text{N}$, $109^{\circ}57' - 110^{\circ}02'\text{E}$),面积约 22.6km^2 ,是一个完全为潮汐所控制的近封闭天然潟湖湾,仅海湾西部有一窄口与南海相通。新村湾湾内无大河注入,仅在北面 and 西北面有 2 条小溪注入。

根据 2002 年的海草调查的结果^[13],海草床主要分布在湾东南至西南部平均水深 1.5m 以浅的中细砂和细砂底质上,西北部也有零星分布,总面积约 2km^2 ,为混生海草床,生长着海菖蒲(*Enhalus Acoroides*)、泰来藻(*Thalassia hemprichii*)、海神草(*Cymodocea rotundata*)、二药藻(*Halodule uninervis*)和喜盐草(*Halophila ovalis*)等多种海草,其中前 3 种为优势种。海草床采泥底栖生物的种类组成有多毛类、软体动物和棘皮动物等;拖网生物的种类组成有软体动物、甲壳类、棘皮动物和鱼类等^[14]。

1.2 样品采集与处理

样品于2009年10月采集自海南岛新村湾海草床3个采样点(图1)。在低潮期间采集海草(海菖蒲、泰来藻和海神草)叶片及其碎屑;用直径10cm圆柱形PVC管采集沉积物,仅取表层1cm的沉积物进行同位素分析;用孔径为0.5mm的网筛采集底栖生物。在高潮期使用浅水Ⅲ型浮游生物网(网目孔径0.077mm)采集浮游植物(悬浮颗粒有机物,POM),为达到同位素分析所需要的量,采用水平拖网方式进行采集,并在网口处增加一个孔径为0.150mm的筛绢以过滤掉碎屑和浮游动物;采用底拖网方式采集鱼类、甲壳类和海胆等样品。样品从现场采回后均冰冻保存并尽快处理。

用手术刀片小心地刮下海草叶片表面的附生藻类;海草叶片及其碎屑用蒸馏水冲洗几次以除去附着物;POM样品过滤到预处理过的(450℃下燃烧6h)Whatman GF/F膜上;底栖动物和鱼类先测定每个个体

的体长,然后剥取其肌肉组织,鱼类取其背部肌肉。所有样品在60℃下烘干(48h),磨细过筛(120目),装于5mL离心管,干燥保存。POM和沉积物有机质(SOM)样品用1mol/L盐酸酸化处理去除碳酸盐的影响。酸化后的样品放入烘箱中60℃下烘干(48h),磨细过筛(120目),装于5mL离心管,干燥保存。

1.3 样品测定

稳定碳同位素分析在中国林业科学研究院稳定同位素质谱分析实验室进行,采用德国Finnigan公司生产的Delta V advantage型同位素比率质谱仪全自动在线操作系统进行测定。为保证测试结果的准确性,每测试5个样品后插测1个标准样。分析精密度 $\delta^{13}\text{C} < 0.10\text{‰}$ 。碳稳定同位素比值以国际通用的 δ 值(‰)表示:

$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{{}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}_{\text{sample}}}{{}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}_{\text{PDB}}} - 1 \right) \times 10^3$$

式中, ${}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为国际标准物PDB(Peedee Belemnite)的碳同位素丰度比。 $\delta^{13}\text{C}$ 值越小表示样品中重同位素(${}^{13}\text{C}$)含量越低。

1.4 数据处理

在SPSS 16.0 for windows下用单因子方差(ANOVA)分析和Turkey's HSD多重比较进行数据处理,所得数据均以平均值 $\pm$ 标准误表示。

采用Phillips和Gregg^[15]以质量守恒模型为基础编写的IsoSource 1.3软件^[16]计算4种有机碳源(海草、附生藻类、POM和SOM)对消费者食物来源的相对贡献。计算结果表示为每种有机碳源对消费者食源贡献的范围。

2 结果与分析

2.1 有机碳源的 $\delta^{13}\text{C}$ 值

在本文研究的海草床生态系统中,有以下几种初级有机碳可用于动物的消费:海草、海草叶片上的附生藻类、水体中的悬浮颗粒有机质(POM)和沉积物中的有机碎屑(SOM)。上述4种有机碳源的 $\delta^{13}\text{C}$ 值见表1。4种有机碳源的 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异极显著($P < 0.01$),以海草叶片及其碎屑最高($-7.8 \pm 0.2\text{‰}$),POM最低($-16.9 \pm 0.2\text{‰}$),而附生藻类($-12.0 \pm 0.9\text{‰}$)和SOM($-13.2 \pm 0.2\text{‰}$)居中。这种分布趋势与国外一些海草床的研究结果一致^[17-19]。

3种海草叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 值也有显著性差异($P < 0.01$),大小依次为:海菖蒲($-6.8 \pm 0.4\text{‰}$) > 海神草

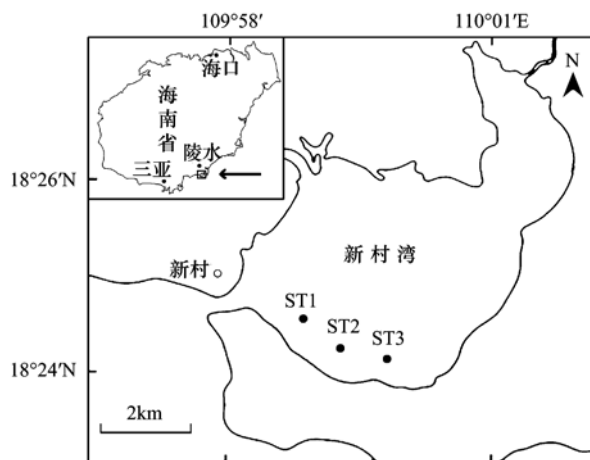


图1 海南新村湾海草床采样点图

Fig. 1 Sampling sites in seagrass bed of Xincun Bay, southern China

(-8.4 ± 0.1)‰ > 泰来藻 (-8.9 ± 0.1)‰。Vonk 等^[9]在热带海草床的调查结果亦表明,海菖蒲 $\delta^{13}\text{C}$ 值 (-7.1 ± 0.2)‰ 显著高于泰来藻 (-9.2 ± 0.2)‰ 和海神草 (-9.8 ± 0.1)‰。而同一种海草的叶片与其碎屑的 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异不显著 ($P > 0.05$), 差值 < 1 ‰。

2.2 消费者的 $\delta^{13}\text{C}$ 值

在 3 个采样点共采集鱼类 13 种,甲壳类 5 种,双壳类 4 种,多毛类 2 种和棘皮动物 1 种。25 种动物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值见表 2。除厚鳃蚕 (*Dasybranchus caducus*) 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值略高于海草外,其它种类的 $\delta^{13}\text{C}$ 值均介于 POM 和海草之间 (见图 2)。大型无脊椎动物 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化范围为 -12.5 ‰— -6.4 ‰,以多毛类和甲壳类的较高,双壳类的较低。鱼类 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化范围为 -15.4 ‰— -8.5 ‰,以底层鱼类的较高 (如云斑栉鰕虎鱼 (*Yongeichthys criniger*) 和斑鱚 (*Sillago maculata*)), 中上层鱼类的较低 (如小公鱼 (*Stolephorus* spp.) 和白氏银汉鱼 (*Hypoatherina valenciennesi*))。

2.3 有机碳源对消费者的食源贡献

有机碳源 (海草、附生藻类、SOM、POM) 对消费者食源贡献的可能范围见表 3。POM 对 3 种中上层鱼类白氏银汉鱼、青鳞小沙丁鱼 (*Sardinella zunasi*) 和小公鱼的食源贡献较大,至少为 42%,但对其它种类的贡献较小。海草对棘皮动物马粪海胆 (*Hemicentrotus pulcherrimus*)、多毛类、甲壳类的少刺短桨蟹 (*Thalamita danae*)、斑节对虾 (*Penaeus monodon*) 及鱼类的黄斑篮子鱼 (*Siganus oramin*)、细磷鲷 (*Terapon jarbua*) 和斑鱚等 12 种动物的食源贡献较大,最低贡献均超过 50%;另外对 6 种动物,包括一些经济种类如远海梭子蟹 (*Portunus pelagicus*)、匙指短桨蟹 (*Thalamita stephensoni*) 和短棘银鲈 (*Gerres lucidus*) 等,海草也有一定的贡献,最低食源贡献在 14%—49% 之间;海草对 3 种中上层鱼类的食源贡献较小,最大贡献不超过 23%。附生藻类和 SOM 对本次调查的所有动物种类的贡献范围都比较广,从 0 到 $> 60\%$,因此很难从模型的计算结果确定这两种有机碳源对消费者的贡献。

表 1 海草床有机碳源的 $\delta^{13}\text{C}$ 值

Table 1 $\delta^{13}\text{C}$ values of organic sources in the seagrass bed

有机碳源 Organic matter sources	n	($\delta^{13}\text{C} \pm \text{SE}$)‰
泰来藻 <i>Thalassia hemprichii</i>	3	-8.9 ± 0.1 c
泰来藻碎屑 <i>Thalassia hemprichii</i> leaf litter	3	-8.1 ± 0.1 abc
海神草 <i>Cymodocea rotundata</i>	3	-8.4 ± 0.1 bc
海神草碎屑 <i>Cymodocea rotundata</i> leaf litter	3	-7.5 ± 0.1 ab
海菖蒲 <i>Enhalus acoroides</i>	3	-6.8 ± 0.4 a
海菖蒲碎屑 <i>Enhalus acoroides</i> leaf litter	3	-7.2 ± 0.2 ab
附生藻类 <i>Epiphytes</i>	2	-12.0 ± 0.9 d
沉积物有机质 <i>Sediment organic matter</i>	3	-13.2 ± 0.2 d
悬浮颗粒有机质 <i>Particulate organic mater</i>	3	-16.9 ± 0.2 e

表中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

表 2 海草床消费者的 $\delta^{13}\text{C}$ 值

Table 2 $\delta^{13}\text{C}$ values of consumers in the seagrass bed

动物种类 Animal species	n	($\delta^{13}\text{C} \pm \text{SE}$)‰
大型无脊椎动物 Macro-invertebrate		
马粪海胆 <i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>	3	-7.0 ± 0.2
厚鳃蚕 <i>Dasybranchus caducus</i>	3	-6.4 ± 0.2
扁平岩虫 <i>Marphysa sanguinea</i>	3	-9.2 ± 0.0
斑节对虾 <i>Penaeus monodon</i>	3	-7.4 ± 0.1
新对虾 <i>Metapenaeus</i> sp.	3	-9.4 ± 0.2
少刺短桨蟹 <i>Thalamita danae</i>	2	-9.0 ± 2.3
匙指短桨蟹 <i>Thalamita stephensoni</i>	3	-9.9 ± 0.4

续表

动物种类 Animal species	n	($\delta^{13}\text{C} \pm \text{SE}$)‰
远海梭子蟹 <i>Portunus pelagicus</i>	3	-11.1 ± 0.8
魁蚶 <i>Scapharca broughtonii</i>	3	-11.9 ± 0.1
黄边糙鸟蛤 <i>Trachycardium flavum</i>	3	-12.1 ± 0.0
缀锦蛤 <i>Tapes literata</i>	3	-12.3 ± 0.1
菲律宾偏顶蛤 <i>Modiolus philippinarum</i>	3	-12.5 ± 0.0
鱼类 Fish		
黄斑篮子鱼 <i>Siganus oramin</i>	2	-8.5 ± 0.1
细磷鲷 <i>Terapon jarbua</i>	2	-8.6 ± 0.8
云斑栉鰕虎鱼 <i>Yongeichthys criniger</i>	3	-8.7 ± 0.6
金焰笛鲷 <i>Lutjanus fulviflamma</i>	4	-8.6 ± 0.2
星斑裸颊鲷 <i>Lethrinus nebulosus</i>	3	-8.7 ± 0.3
鲷 <i>Terapon theraps</i>	2	-11.4 ± 0.4
短棘银鲈 <i>Gerres lucidus</i>	3	-11.4 ± 1.0
斑鳃 <i>Sillago maculata</i>	6	-9.8 ± 1.1
变色圆鳞鲷 <i>Parascorpaena picta</i>	3	-10.2 ± 0.8
古氏双边鱼 <i>Ambassis kopsii</i>	1	-10.4
白氏银汉鱼 <i>Hypoatherina valenciennei</i>	3	-15.0 ± 0.3
青鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>	3	-14.8 ± 0.7
小公鱼 <i>Stolephorus</i> spp.	2	-15.4 ± 0.2

表 3 有机碳源对消费者食源贡献的范围/%

Table 3 The ranges of possible contribution of 4 primary food sources to the carbon assimilated by animal species

动物种类 Animal species	海草 Seagrass	附生藻类 Epiphytes	沉积物有机质 SOM	悬浮颗粒有机质 POM
大型无脊椎动物 Macro-invertebrate				
马粪海胆 <i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>	96—98	0—4	0—3	0—2
厚鳃蚕 <i>Dasybranchus caducus</i>	100	0	0	0
扁平岩虫 <i>Marphysa sanguinea</i>	66—85	0—34	0—26	0—15
斑节对虾 <i>Penaeus monodon</i>	88—94	0—12	0—10	0—6
新对虾 <i>Metapenaeus</i> sp.	61—82	0—39	0—30	0—18
少刺短桨蟹 <i>Thalamita danae</i>	71—87	0—29	0—23	0—13
匙指短桨蟹 <i>Thalamita stephensoni</i>	49—77	0—51	0—39	0—23
远海梭子蟹 <i>Portunus pelagicus</i>	21—64	0—79	0—62	0—36
魁蚶 <i>Scapharca broughtonii</i>	2—55	0—98	0—76	0—45
黄边糙鸟蛤 <i>Trachycardium flavum</i>	0—53	0—98	0—80	0—47
缀锦蛤 <i>Tapes literata</i>	0—51	0—94	0—84	0—50
菲律宾偏顶蛤 <i>Modiolus philippinarum</i>	0—48	0—90	0—87	0—52
鱼类 Fish				
黄斑篮子鱼 <i>Siganus oramin</i>	83—92	0—17	0—13	0—8
细磷鲷 <i>Terapon jarbua</i>	80—91	0—20	0—15	0—9
云斑栉鰕虎鱼 <i>Yongeichthys criniger</i>	78—90	0—22	0—17	0—10
金焰笛鲷 <i>Lutjanus fulviflamma</i>	80—91	0—20	0—15	0—9
星斑裸颊鲷 <i>Lethrinus nebulosus</i>	78—90	0—22	0—17	0—10
鲷 <i>Terapon theraps</i>	14—60	0—86	0—67	0—40
短棘银鲈 <i>Gerres lucidus</i>	14—60	0—86	0—67	0—40
斑鳃 <i>Sillago maculata</i>	52—78	0—48	0—37	0—22
变色圆鳞鲷 <i>Parascorpaena picta</i>	42—74	0—58	0—45	0—26
古氏双边鱼 <i>Ambassis kopsii</i>	37—71	0—63	0—49	0—29
白氏银汉鱼 <i>Hypoatherina valenciennei</i>	0—21	0—39	0—52	48—79
青鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>	0—23	0—43	0—58	42—77
小公鱼 <i>Stolephorus</i> spp.	0—17	0—31	0—41	59—84

3 讨论

3.1 大型无脊椎动物的食物来源

海草对棘皮动物马粪海胆 (-7.0 ± 0.2)‰ 的食源贡献为 96%—98%, 表明马粪海胆的主要食源为海草。相关研究已证实, 海胆能摄食大量的海草地上生物量^[20-21], 在墨西哥湾北部, 紫海胆 (*Lytechinus variegates*) 甚至能消耗海草地上部分生物量的 50%—100%^[22]。

多毛类厚鳃蚕 (-6.4 ± 0.2)‰ 和扁平岩虫 (*Marphysa sanguinea*) (-9.2 ± 0.0)‰ 均有较高的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。厚鳃蚕的 $\delta^{13}\text{C}$ 值略高于 $\delta^{13}\text{C}$ 值最高的海菖蒲, 表明厚鳃蚕的全部有机碳来源于海草; 此外, 海草对扁平岩虫的食源贡献也高达 66%—85%。以上结果表明, 在本海草床厚鳃蚕和扁平岩虫的食源均以海草为主。

4 种双壳类的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 -12.5 ‰— -11.9 ‰ 之间, 差值 <1 ‰, 说明它们的食物来源相似。尽管 4 种有机碳源对双壳类的可能贡献的分布范围都比较广, 从模型的结果很难确定它们的主要食源, 但是从图 2 可以看出, 双壳类的 $\delta^{13}\text{C}$ 值介于 SOM 与附生藻类之间, 这表明它们主要的食源为附生藻类和 SOM。

5 种甲壳类的 $\delta^{13}\text{C}$ 值的范围为 -11.1 ‰— -7.4 ‰, 介于海草与附生藻类之间。从模型的结果看, 少刺短桨蟹、匙指短桨蟹、斑节对虾和新对虾 (*Metapenaeus* sp.) 的食物来源以海草为主 (49%—94%), 其次为附生藻类。Loneragan 等^[4] 在澳大利亚北部海草床的研究也发现, 对虾和新对虾的食源主要为海草和附生藻类。远海梭子蟹的 $\delta^{13}\text{C}$ 值相对较低, 海草对其食源贡献相对较小 (21%—64%)。远海梭子蟹的食源组成除海草和附生藻类外, 还可能包括 SOM 和 POM。

3.2 鱼类的食物来源

鱼类 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化幅度较宽, 从小公鱼的 -15.4 ‰ 到黄斑篮子鱼的 -8.5 ‰, 说明鱼类食物来源多样。基于 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 本研究把 13 种鱼类划分为 3 组: 其中黄斑篮子鱼、细鳞鲷、斑鳃等 6 种鱼类有最高的 $\delta^{13}\text{C}$ 值 (-9.8 ‰— -8.5 ‰) 为第 1 组; 第 2 组鱼类包括鳎 (*Terapon theraps*)、短棘银鲈、变色圆鳞鲷 (*Parascorpaena picta*) 和古氏双边鱼 (*Ambassis kopsii*) 等, 其 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化范围为 -11.4 ‰— -10.2 ‰; 第 3 组鱼类包括 3 种中上层鱼类白氏银汉鱼、青鳞小沙丁鱼和小公鱼, 它们的 $\delta^{13}\text{C}$ 值最低, 约为 -15.1 ‰。

虽然第 1 组鱼类的食性差异比较大, 一些鱼类如黄斑篮子鱼直接以海草为食^[20-21], 另一些鱼类如细鳞鲷和斑鳃等却为肉食性鱼类, 但从模型结果看, 海草对第 1 组鱼类的最低贡献率均在 50% 以上, 最高贡献率甚至达到 78%—92%, 这说明海草是该组鱼类最主要的食源。这些鱼类食性不同而食物来源却一致, 可能是因为肉食性鱼类通过捕食同化海草的动物而间接以海草为其主要有机碳源。已有的研究表明, 细鳞鲷主要捕食甲壳类、软体动物和多毛类等^[23], 斑鳃主要捕食多毛类和双壳类^[24], 而本区域甲壳类和多毛类是利用海草的重要种群, 这些动物将海草有机碳同化进入体内组织, 并成为海草床鱼类重要的食物^[25-26]。

第 2 组鱼类的 $\delta^{13}\text{C}$ 值介于海草与附生藻类之间, 表明它们的主要食源为海草和附生藻类。模型的结果表明, 海草对它们的最低食源贡献在 14%—42% 之间, 说明它们至少有 14%—42% 的有机碳来源于海草。

第 3 组鱼类为 3 种中上层鱼类, 它们的 $\delta^{13}\text{C}$ 值略高于 POM。POM 对这 3 种中上层鱼类白氏银汉鱼、青鳞小沙丁鱼和小公鱼的食源贡献分别为 48%—79%、42%—77% 和 59%—84%, 明显高于其它有机碳源的贡献, 说明 POM 是这组鱼类最重要的食源。Litvin 和 Weinstein^[27] 的研究指出, 中上层鱼类对浮游植物初级生产

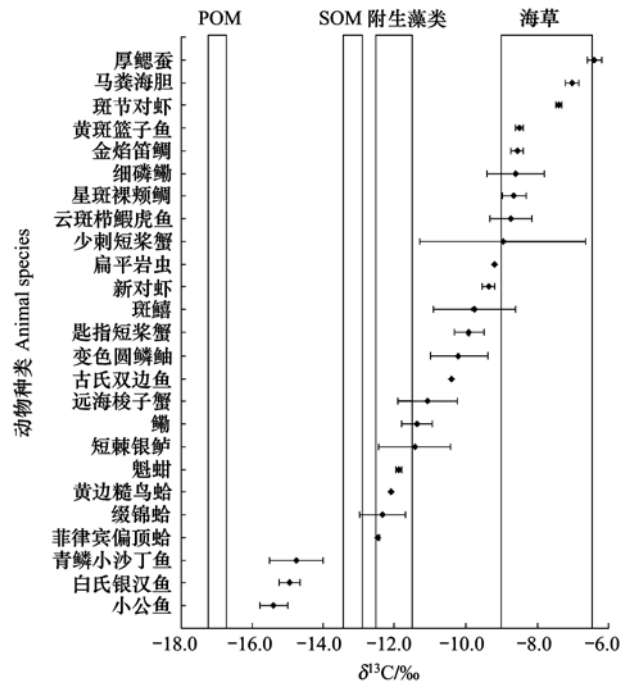


图 2 有机碳源和消费者的 $\delta^{13}\text{C}$ 值 (平均值 $\pm$ 标准误)

Fig. 2 $\delta^{13}\text{C}$ values of consumers overlaid on food sources values (mean $\pm$ SE)

有较大的依赖性,这与本研究结果是一致的。

以上结果表明,海草是大部分鱼类和大型无脊椎动物的重要食物来源,在采集到的 25 种动物种类中,约 70% 的种类的次级生产依赖于海草有机碳。

4 结论

本研究基于稳定碳同位素分析结果,分析了海南新村湾海草床主要鱼类及大型无脊椎动物的食物来源。主要结论如下:

(1) 棘皮动物、多毛类、甲壳类和大部分的鱼类以海草为主要食物来源。

(2) 双壳类主要同化附生藻类和 SOM 的混合有机碳源。

(3) 少数鱼类以 POM 为主要有机碳源。

致谢:感谢中国林业科学研究院稳定同位素质谱分析实验室在样品测定时给予的帮助。

References:

- [1] Hemminga M A, Duarte C M. Seagrass Ecology. Cambridge: Cambridge University Press, 2000: 2-23.
- [2] Peterson B J, Fry B. Stable isotopes in ecosystem studies. Annual Reviews of Ecological System, 1987, 18: 291-320.
- [3] Abrantes K, Sheaves M. Food web structure in a near-pristine mangrove area of the Australian Wet Tropics. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2009, 82: 597-607.
- [4] Loneragan N R, Bunn S E, Kellaway D M. Are mangroves and seagrasses sources of organic carbon for penaeid prawns in a tropical Australian estuary? A multiple stable-isotope study. Marine Biology, 1997, 130: 289-300.
- [5] Cardona L, Revelles M, Sales M, Aguilar A, Borrell A. Meadows of the seagrass *Posidonia oceanica* are a significant source of organic matter for adjoining ecosystems. Marine Ecology Progress Series, 2007, 335: 123-131.
- [6] Currin C A, Newell S Y, Paerl H W. The role of standing dead *Spartina alterniflora* and benthic microalgae in salt marsh food webs: considerations based on multiple stable isotope analysis. Marine Ecology Progress Series, 1995, 121: 99-116.
- [7] 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.
- [8] Vizzini S, Sar G, Michener R H, Mazzola A. The role and contribution of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile organic matter for secondary consumers as revealed by carbon and nitrogen stable isotope analysis. Acta Oecologica, 2002, 23: 277-285.
- [9] Vonk J A, Christianen M J A, Stapel J. Redefining the trophic importance of seagrasses for fauna in tropical Indo-Pacific meadows. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2008, 79: 653-660.
- [10] Xu S N, Chen Z Z, Huang H H, Huang X P, Li S Y. Food sources of *Oreochromis niloticus* in the mangrove and plantation-aquaculture ecological coupling systems. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2010, 49(1): 101-106.
- [11] Yu J, Liu M, Hou L J, Xu S Y, Ou D N, Cheng S B. Food sources of macrofaunal in east Chongming salt marsh as traced by stable isotopes. Journal of Natural Resources, 2008, 23(2): 321-326.
- [12] Wang Y Y, Yu X B, Zhang L, Xu Jun. 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.
- [13] Huang X P, Huang L M, Li Y H, Xu Z Z, Fong C W, Huang D J, Han Q Y, Huang H, Tan Y H, Liu S. Main seagrass beds and threats to their habitats in the coastal sea of South China. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(Supp. II): 136-142.
- [14] Huang X P, Huang L M, Li Y H, Han Q Y, Huang D J, Xu Z Z, Tan Y H. Study on Seagrass in South China Sea. Guangzhou: Guangdong Economic Press, 2007: 35-39.
- [15] Phillips D L, Gregg J W. Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources. Oecologia, 2003, 136(2): 261-269.
- [16] Phillips D L, Gregg J W. IsoSource: stable isotope mixing model for partitioning an excess number of sources. [2010-08-17]. <http://www.epa.gov/wed/pages/models/stableIsotopes/isosource/isosource.htm>
- [17] Vizzini S, Mazzola A. The trophic structure of the pipefish community (Pisces Syngnathidae) from a western Mediterranean seagrass meadow based on stable isotope analysis. Estuaries, 2004, 27(2): 325-333.
- [18] Smit A J, Brearley A, Hyndes G A, Lavery P S, Walker D I. $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ analysis of a *Posidonia sinuosa* seagrass bed. Aquatic Botany, 2006, 84(3): 277-282.
- [19] Schaal G, Riera P, Leroux C. Trophic coupling between two adjacent benthic food webs within a man-made intertidal area: A stable isotopes evidence. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2008, 77(3): 523-534.

- [20] Heck Jr K L, Valentine J F. Plant-herbivore interactions in seagrass meadows. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2006, 330 (1): 420-436.
- [21] Valentine J F, Duffy J E. The central role of grazing in seagrass ecosystems // Larkum A W D, Orth R J, Duarte C M, eds. *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Berlin: Springer, 2006: 463-502.
- [22] Valentine J F, Heck Jr K L. The role of sea urchin grazing in regulating subtropical seagrass meadows: evidence from field manipulations in the northern Gulf of Mexico. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1991, 154 (2): 215-230.
- [23] Rao L M, Durga Prasad N H K. Comparative studies on the food and feeding habits of *Therapon jarbua* (Forsk.) in relation to aquatic pollution. *Indian Journal of Fisheries*, 2002, 49 (2): 199-203.
- [24] Kailola P J, Williams M J, Stewart P C, Reichelt R E, McNee A, Grieve C. *Australian Fisheries Resources*. Canberra, Australia: Bureau of Resource Sciences, 1993: 422.
- [25] Lugendo B R, Nagelkerken I, Van Der Velde G, Mgaya Y D. The importance of mangroves, mud and sand flats, and seagrass beds as feeding areas for juvenile fishes in Chwaka Bay, Zanzibar: gut content and stable isotope analyses. *Journal of Fish Biology*, 2006, 69: 1639-1661.
- [26] Unsworth R K F, Wylie E, Smith D J, Bell J J. Diel trophic structuring of seagrass bed fish assemblages in the Wakatobi Marine National Park, Indonesia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 72: 81-88.
- [27] Litvin S Y, Weinstein M P. Life history strategies of estuarine nekton: the role of marsh macrophytes, benthic microalgae, and phytoplankton in the trophic spectrum. *Estuaries*, 2003, 26 (2): 552-562.

参考文献:

- [10] 徐珊楠, 陈作志, 黄洪辉, 黄小平, 李适宇. 红树林种植-养殖耦合系统中尼罗罗非鱼的食源分析. *中山大学学报(自然科学版)*, 2010, 49 (1): 101-106.
- [11] 余婕, 刘敏, 侯立军, 许世远, 欧冬妮, 程书波. 崇明东滩大型底栖动物食源的稳定同位素示踪. *自然资源学报*, 2008, 23 (2): 321-326.
- [12] 王玉玉, 于秀波, 张亮, 徐军. 应用碳氮稳定同位素研究都阳湖枯水末期水生食物网结构. *生态学报*, 2009, 29 (3): 1181-1188.
- [14] 黄小平, 黄良民, 李颖虹, 韩秋影, 黄道建, 许战洲, 谭辉辉. *中国南海海草研究*. 广州: 广东经济出版社, 2007: 35-39.

CONTENTS

Spatial pattern analysis of a <i>Rhododendron-Abies</i> virginal forest near timberline on the eastern edge of Qinghai-Tibetan Plateau, China	MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (1)
Changes of liana species diversity in different restoration stages of monsoonal broad-leaved evergreen forest	LI Shuaifeng, SU Jianrong, LIU Wande, et al (10)
Investigation on spatio-temporal pattern of cyanobacterial community structure by T-RFLP during overwinter and recruitment period in Taihu Lake	GU Tingting, KONG Fanxiang, TAN Xiao, et al (21)
Food sources of fish and macro-invertebrates in a tropical seagrass bed at Xincun Bay, Southern China	FAN Minling, HUANG Xiaoping, ZHANG Dawen, et al (31)
Spatial pattern of Scleractinian coral Population Structure in Weizhou Island, Beihai, Guangxi	LIANG Wen, ZHANG Chunhua, YE Zuchao, et al (39)
Property of root distribution of triploid <i>Populus tomentosa</i> and its relation to root water uptake under the wide-and-narrow row spacing scheme	XI Benye, WANG Ye, JIA Liming, et al (47)
Soil nutritional properties and moisture gradient of the ecotone between dry valley and montane forest of the Minjiang River	LIU Bin, LUO Chengde, ZHANG Jian, et al (58)
Signal chemical salicylic acid mitigates the negative effects of drought on photosynthesis and membrane lipid peroxidation of purple majesty	YI Xiaolin, YANG Bingxian, ZONG Xuefeng, et al (67)
Effects of supplementary UV-B radiation on life cycle forms and the accumulation of taxanes of <i>Taxus chinensis</i> var. <i>mairei</i>	YU Jinghua, LI Dewen, PANG Haihe, et al (75)
Effect of simulated nitrogen deposition on the soil respiration of <i>Lithocarpus glabra</i> and <i>Castanopsis sclerophylla</i>	LI Kai, JIANG Hong, YOU Meina, et al (82)
Changes of phenolic acids in the soil of replanted apple orchards surrounding Bohai Gulf	SUN Haibing, MAO Zhiqian, ZHU Shuhua (90)
Growing dynamic root system of <i>Aquilaria malaccensis</i> and <i>Aquilaria sinensis</i> seedlings in response to different fertilizing methods	WANG Ran, LI Jiyue, ZHANG Fangqiu, et al (98)
Accumulation and tolerance of <i>Salix variegata</i> and <i>Pterocarya stenoptera</i> seedlings to cadmium	JIA Zhongmin, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (107)
Dynamics of vegetation structure and soil properties in the natural restoration process of degraded woodland on the northern slope of Qilian Mountains, northwestern China	ZHAO Chengzhang, SHI Fuxi, DONG Xiaogang, et al (115)
Relationship between temperature and $\delta^{13}\text{C}$ values of C3 herbaceous plants and its implications of WUE in farming-pastoral zone in North China	LIU Xianzhao, WANG Guoan, LI Jiazhu, et al (123)
Carbon dynamics of fine root (grass root) decomposition and active soil organic carbon in various models of land use conversion from agricultural lands into forest lands	RONG Li, LI Shoujian, LI Xianwei, et al (137)
Prey biomass of the Amur tiger (<i>Panthera tigris altaica</i>) in the eastern Wanda Mountains of Heilongjiang Province, China	ZHOU Shaochun, ZHANG Minghai, SUN Haiyi (145)
The impact of conservation projects on giant Panda Habitat	ZHANG Yubo, WANG Mengjun, LI Junqing (154)
Fluctuation of soil fauna community during defoliation decomposition under lime and EM treatment	GAO Meixiang, ZHANG Xueping (164)
Comparative of feeding behaviors of <i>Sitobion avenae</i> , <i>Sitobion graminum</i> and <i>Rhopalosiphum padi</i> (Homoptera: Aphididae) using electrical penetration graph (EPG)	MIAO Jin, WU Yuqing, YU Zhenxing, et al (175)
Toxic effects of <i>ent</i> -kaurane diterpenoids on soil ciliate communities	NING Yingzhi, DU Haifeng, WANG Hongjun (183)
Geostatistical analysis and sampling technique on spatial distribution pattern of <i>Dendroctonus valens</i> population	PAN Jie, WANG Tao, ZONG Shixiang, et al (195)
Variation analysis of protein subunits of soybean germplasms of different eco-types in Shanxi	WANG Yanping, LI Guiquan, GUO Shujin, et al (203)
Effects of fertilization and plastic film mulched ridge-furrow cultivation on yield and water and nitrogen utilization of winter wheat on dryland	LI Tingliang, XIE Yinghe, REN Miaomiao, et al (212)
The changing characteristics of potential climate productivity in Gansu Province during nearly 40 years	LUO Yongzhong, CHENG Ziyong, GUO Xiaoqin (221)
Spatial assessment and zoning regulations of ecological importance based on GIS for rural habitation in Changgang Town, Xinguo county	XIE Hualin, LI Xiubin (230)
Influences of rural households' income differences on living energy consumption and eco-environment: a case study of Jiangnan Plain, China	YANG Zhen (239)
Spatial differences and its driving factors of emergy indices on cultivated land eco-economic system in Hebei Province	WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang, et al (247)
Effects of land use on distribution and protection of organic carbon in soil aggregates in karst rocky desertification area	LUO Youjin, WEI Chaofu, LI Yu, et al (257)
Review and Monograph	
Implication and limitation of landscape metrics in delineating relationship between landscape pattern and soil erosion	LIU Yu, LÜ Yihe, FU Bojie (267)
Ecological reclamation and restoration of abandoned coal mine in the United States	ZHANG Chengliang, B. Larry Li (276)
Managing farmland soil food web: principles and methods	CHEN Yunfeng, HU Cheng, LI Shuanglai, et al (286)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

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

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

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 1 期 (2011 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 1 2011

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

