

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

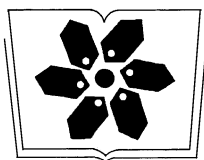
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第4期 Vol.33 No.4 **2013**

中国生态学会
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 4 期 2013 年 2 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 森林水源涵养功能的多尺度内涵、过程及计量方法 王晓学,沈会涛,李叙勇,等 (1019)
- 植物叶片水稳定同位素研究进展 罗伦,余武生,万诗敏,等 (1031)
- 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展 陈利顶,孙然好,刘海莲 (1042)
- 城市生物多样性分布格局研究进展 毛齐正,马克明,邬建国,等 (1051)
- 基于福祉视角的生态补偿研究 李惠梅,张安录 (1065)

个体与基础生态

- 土著菌根真菌和混生植物对羊草生长和磷营养的影响 雷垚,郝志鹏,陈保冬 (1071)
- 干旱条件下 AM 真菌对植物生长和土壤水稳定性团聚体的影响 叶佳舒,李涛,胡亚军,等 (1080)
- 转 *mapk* 双链 RNA 干扰表达载体黄瓜对根际土壤细菌多样性的影响 ... 陈国华,弭宝彬,李莹,等 (1091)
- 北京远郊区臭氧污染及其对敏感植物叶片的伤害 万五星,夏亚军,张红星,等 (1098)
- 茅苍术叶片可培养内生细菌多样性及其促生潜力 周佳宇,贾永,王宏伟,等 (1106)
- 低温对蝶蛹金小蜂卵成熟及其数量动态的影响 夏诗洋,孟玲,李保平 (1118)
- 六星黑点豹蠹蛾求偶行为与性信息素产生和释放的时辰节律 刘金龙,荆小院,杨美红,等 (1126)
- 氟化物对家蚕血液羧酸酯酶及全酯酶活性的影响 米智,阮成龙,李姣蓉,等 (1134)
- 不同温度对脊尾白虾胚胎发育与幼体变态存活的影响 梁俊平,李健,李吉涛,等 (1142)

种群、群落和生态系统

- 生态系统服务多样性与景观多功能性——从科学理念到综合评估 吕一河,马志敏,傅伯杰,等 (1153)
- 不同端元模型下湿地植被覆盖度的提取方法——以北京市野鸭湖湿地自然保护区为例 崔天翔,官兆宁,赵文吉,等 (1160)
- 基于光谱特征变量的湿地典型植物生态类型识别方法——以北京野鸭湖湿地为例 林川,官兆宁,赵文吉,等 (1172)
- 浮游植物群落对海南小水电建设的响应 林彰文,林生,顾继光,等 (1186)
- 菹草种群内外水质日变化 王锦旗,郑有飞,王国祥 (1195)
- 南方红壤区 3 种典型森林恢复方式对植物群落多样性的影响 王芸,欧阳志云,郑华,等 (1204)
- 人工油松林恢复过程中土壤理化性质及有机碳含量的变化特征 胡会峰,刘国华 (1212)
- 不同区域森林火灾对生态因子的响应及其概率模型 李晓炜,赵刚,于秀波,等 (1219)

景观、区域和全球生态

- 快速城市化地区景观生态安全时空演化过程分析——以东莞市为例 杨青生,乔纪纲,艾彬 (1230)
- 海岸带生态系统健康评价中能质和生物多样性的差异——以江苏海岸带为例 唐得昊,邹欣庆,刘兴健 (1240)
- 干湿交替频率对不同土壤 CO₂ 和 N₂O 释放的影响 欧阳扬,李叙勇 (1251)

西部地区低碳竞争力评价..... 金小琴,杜受祜 (1260)

基于 HEC-HMS 模型的八一水库流域洪水重现期研究 郑 鹏,林 韵,潘文斌,等 (1268)

基于修正的 Gash 模型模拟小兴安岭原始红松林降雨截留过程 柴汝杉,蔡体久,满秀玲,等 (1276)

长白山北坡不同林型内红松年表特征及其与气候因子的关系..... 陈 列,高露双,张 赞,等 (1285)

资源与产业生态

河西走廊绿洲灌区循环模式“农田-食用菌”生产系统氮素流动特征 李瑞琴,于安芬,赵有彪,等 (1292)

施肥对旱地花生主要土壤肥力指标及产量的影响..... 王才斌,郑亚萍,梁晓艳,等 (1300)

耕作措施对土壤水热特性和微生物生物量碳的影响..... 庞 绪,何文清,严昌荣,等 (1308)

基于改进 SPA 法的耕地占补平衡生态安全评价 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1317)

学术争鸣

基于生态-产业共生关系的林业生态安全测度方法构想 张智光 (1326)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿须知 (I)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-02



封面图说: 石羊河——石羊河流域属大陆性温带干旱气候,气候特点是:日照充足、温差大、降水少、蒸发强、空气干燥。石羊河源出祁连山东段,河系以雨水补给为主,兼有冰雪融水成分。上游的祁连山区降水丰富,有雪山冰川和残留林木,是河流的水源补给地。中游流经河西走廊平地,形成武威和永昌等绿洲,下游是民勤,石羊河最后消失在腾格里沙漠中。随着石羊河流域人水矛盾的不断加剧,水资源开发利用严重过度,荒漠化日趋严重,民勤县的生态环境已经相当恶化,继续下去将有可能变成第二个“罗布泊”。

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/stxb201204080489

唐得昊, 邹欣庆, 刘兴健. 海岸带生态系统健康评价中能质和生物多样性的差异——以江苏海岸带为例. 生态学报, 2013, 33(4): 1240-1250.

Tang D H, Zou X Q, Liu X J. The difference between exergy and biodiversity in ecosystem health assessment: a case study of Jiangsu coastal zone. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(4): 1240-1250.

海岸带生态系统健康评价中能质和 生物多样性的差异 ——以江苏海岸带为例

唐得昊^{1,2}, 邹欣庆^{1,2,*}, 刘兴健³

(1. 南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210093; 2. 南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室, 南京 210093;
3. 中国科学院南海海洋研究所边缘海地质重点实验室, 广州 510301)

摘要: 生态系统健康评价是生态系统保护和监测研究的重要内容, 该过程迫切需要综合性强、准确性高的指标, 能质和生物多样性指标都是生态系统健康评估中的有效指标。以江苏省海岸带游泳和底栖生物群落为对象, 沿海岸线从海州湾到长江入海口北岸选取 15 个站点, 调查研究江苏省海岸带生态系统能质和生物多样性及其空间分布格局。结果表明: 江苏海岸带除了中部地区能质和结构能质值较一致(都偏小)外, 南北差异明显, 生物多样性指数空间分布情况为南部 Margalef 指数略大于北部, 中部较小, Shannon Wiener 和 Simpson 指数空间分布都为南部>中部>北部; 能质与生物多样性指标在高级生态系统中反映的生态系统健康状态一致, 在中低级生态系统中差异明显; 能质与生物多样性指标关联程度低, 前者的测算侧重于生态系统中物种的等级, 后者的测算侧重于物种的数量; 总结能质和生物多样性指标在理论支撑、建立理论视角、与生态系统健康对应关系、应用模型以及局限性等方面的差异, 研究结果在一定程度上可以丰富和完善生态系统健康评价研究理论与方法体系。

关键词: 能质; 生物多样性; 生态系统健康; 评价; 差异性

The difference between exergy and biodiversity in ecosystem health assessment: a case study of Jiangsu coastal zone

TANG Dehao^{1,2}, ZOU Xinqing^{1,2,*}, LIU Xingjian³

1 School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China

2 Ministry of Education Key Laboratory for Coast and Island Development, Nanjing University, Nanjing 210093, China

3 Key Laboratory of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

Abstract: Ecosystem health assessment is a fundamental issue in ecosystem protection and monitoring studies. Maintaining a healthy ecosystem is regarded as the key management objective for more and more environmental sectors. Therefore, a comprehensive and accurate index to indicate the ecosystem status is urgently needed. In previous researches, both exergy and biodiversity indicators are effectively and commonly used in assessing ecosystem health. But the difference between them is not reported.

This paper provides a case study in Jiangsu coastal zone. Starting from Xiuzhen estuary in north and stretching down to the north shore of Yangtze estuary in south, Jiangsu coastal zone lasts for 954km. This research focuses on the nektonic and benthic communities in three different geographical areas (the Haizhou Bay—in the north, radiative sand ridges—in the

基金项目: 国家海洋局 2010 年海洋公益性行业科研专项——南黄海辐射沙脊群空间开发利用及环境生态评价技术(201005006); 江苏省 2012 年度普通高校研究所科研创新计划项目(CXLX12_0037)

收稿日期: 2012-04-08; 修订日期: 2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zouxq@nju.edu.cn

middle, and the north shore of Yangtze estuary—in the south). 15 samples were collected in the marine survey conducted during July—Aug. 2006. After analyzing the exergy and bio-diversity values at these 15 locations, the spatial distribution structure of exergy and bio-diversity values were revealed. Further analysis was conducted based on Arcgis and SPSS software. Following results are obtained:

Both exergy and structure exergy values in radiative sand ridges area are consistent. They are smaller than those in Haizhou Bay and Yangtze estuary region. In Haizhou Bay, the exergy value is lower than that in Yangtze estuary region, while the structure exergy values distribute oppositely. As one kind of biodiversity index, Margalef index value in south area is slightly larger than that in the north, while the value in the middle is the least. The distribution patterns of both Shannon Wiener and Simpson index values are south > middle > north. In mature ecosystem, both exergy and biodiversity can indicate the similar health status. But when they are used in valuing less mature ecosystems, significant difference occurs. This is because exergy measures ecosystem from cells' level, while biodiversity more focuses at species level. Further analysis also indicates that 15 samples can be divided into four categories: site 14 is healthy, 8, 11, 12 are sub-healthy, 1, 6, 7, 10, 13 are poor, others are uncertainty.

The differences between exergy and the biodiversity indicators can be concluded as follows: (1) The theoretical base of exergy is thermodynamics, from which ecosystem's organism structure and genetic information can be reflected in relatively microcosmic perspective, while biodiversity indicators are based on population size and species abundance, which illustrate the stability of ecosystem in macro perspective. (2) Exergy can directly reflect the status and the changes of ecosystem, while biodiversity indicators indicate the ecological health status in an indirect way. (3) Exergy and structure exergy are complementary, while biodiversity indicators are parallel. (4) Exergy calculation is more or less restricted by gene measurement techniques, while, the ecological changes in diversity cannot be distinguished whether from species distribution or the quantity change of species.

Key Words: exergy; biodiversity; ecosystem health; assessment; difference

生态系统健康评估是当今生态学领域的研究热点之一。生态系统具有自组织和调节功能,由于影响该系统的因子十分复杂,因而无法通过简单的实验揭示系统各组分之间的关系^[1]。根据 Bossel 的研究,稳定性是生态系统发展演变的必要条件^[2]。物种(特别是起“上行”或“下行”效应的决定性物种)的消失往往危及生态群落甚至整个系统的稳定性,是生态系统发展演变过程中比较大的扰动^[3]。Mar Arthur 和 Elton 在 20 世纪 70 年代提出的多样性——稳定性理论仍是指导生物多样性和生态系统保护的理论基础^[4-5]。目前,群落组成与结构指标、物种多样性和功能多样性指标、生态系统净生产力、生态压力指标、生态能质和结构生态能质指标等,都被用于评估生态系统健康状况^[6-9]。

生物多样性指数定量反映生物群落内物种多样性程度,是用来判断生物群落结构变化或生态系统稳定性的指标,其计算相对简单。由于生物多样性和生态系统健康的关系是学术界有争议的话题^[10-11],不少学者在论证生物多样性与生态系统稳定性关系的基础上^[12-14],建立生态系统健康评价模型^[16-17]。在评判标准上,物种多样性丰富的生态系统对环境变化有更强的抵抗力和弹性。因此,生物多样性指数较高在一定程度上能促进生态系统健康^[18]。

复杂生态系统表现特征是热力学上的开放性,组成物种多样,时空范围内高度异质性,以及系统组成物质之间的非线性相关^[19]。Patten 等认为隐藏在基因层面的适应性能反映生态系统面临环境变化时的适应能力,甚至是系统在时空格局下组织体的等级^[20],因而生态系统发展演变状况不能仅从物种多样性方面测量。Jørgensen 和 Mejer 等首次将生态能质的概念应用于生态学研究领域^[21]。Odum 认为它可以指示受干扰生态系统特征的改变^[22]。生态能质指标不仅可以在时间尺度上度量生态系统的发展状况,还能从生态系统的结构及其所包含的微观信息上衡量系统的健康程度^[23]。近几十年,能质指标常作为目标函数,用于解释生态系

统结构的变化,描述系统的发展方向,表示扰动后系统的自组织能力,并从生态系统内部结构和稳定状态、系统复杂性和多样性、系统稳定性和弹性、系统活力以及生态系统物种组成的平衡上来说明整个生态系统的健康状况^[24-25]。能质、结构能质和生态缓冲能力作为整体评估指标被用于生态系统健康评价,并且健康的生态系统应该具有较高的能质、结构能质和生态缓冲容量^[26]。目前,运用能质指标评价生态系统健康状况所选取的研究对象大多是湖泊、河口^[27-30],只有少数文献曾探讨过海岸泻湖和大陆架^[31-33]。

同样是评价生态系统健康状况,能质和生物多样性指标对生态健康状态的描述方式和表现形式是有差异的。本文以江苏省海岸带为例,通过比较能质和生物多样性评价结果,分析两者在海岸带生态系统健康评估体系中的功能差异及其原因,以期能为生态系统健康评估指标的选取提供理论参考和依据。

1 研究区域概况

江苏省是我国沿海大省,介于东经 116°18′—121°57′,北纬 30°45′—35°20′之间,海岸线全长 954km,分属连云港、盐城、南通 3 市的 12 个县和 1 个市区。该省海岸带地理位置优越,岸线北起苏鲁交界的绣针河口,南抵长江北口,并与上海市隔江相望,西以内陆为依托,东濒黄海,是沿海开放的前沿^[34]。

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究的相关数据依托于“908 海洋专项调查项目”——江苏省海洋环境检测中心和江苏省海洋水产研究所 2006 年夏季(7—8 月)的南黄海近海航测结果。航测数据包含各航次测得的不同级别(微型、小型、中型和大型)浮游生物、大型底栖生物、游泳动物(鱼、虾、蟹、头足类)等生物量信息,水环境物理化学信息以及潮间带生物调查结果。

从北到南沿江苏省海岸带,北部海州湾取 5 个站点,中部辐射沙脊群取 4 个站点,南部长江口以北区域取 6 个站点,共 15 个站点(图 1),计算每个站点游泳动物和底栖生物的能质、结构能质和多样性指数,并分析它们之间的相关关系。

夏季,在江苏近岸海域采集到的大型底栖动物主要有多毛类(53 种)、软体动物(41 种)、甲壳动物(53 种)、棘皮动物(14 种)以及其他动物(9 种)累计采集种类数为 170 种。

游泳动物主要是鱼类、虾类、蟹类和头足类。夏季航次鱼类的渔获种类主要为小黄鱼(*Larimichthys polyactis*),占鱼类总重的 25.75%,其次为鲢鱼(*Müichthys müüuy*),占 19.4%,银鲳(*Pampus argenteus*)列第三,占 18.7%。其余的还有刺鲳(*Psenopsis anomala*)、斑鲳(*Konosirus punctatus*)、赤鼻棱鲳(*Thryssa kammalensis*)、海鲳(*Muraenesox cinereus*)、皮氏叫姑鱼(*Johnius belengerii*)等;虾类中,口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)渔获量最大,占虾类比例的 54.87%,其次为戴氏赤虾(*Metapenaeopsis dalei*),占 28.03%,再次为细巧仿对虾(*Parapenaeopsis tenella*),占 4.83%;蟹类主要品种为三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*),占蟹类总量的 53.1%,红线黎明蟹(*Matuta planipes*,占 26.56%),以及日本蟳(*Charybdis japonica*,占 12.32%);头足类中,日本枪乌贼(*Loligo japonica*)占总量的 73.74%,短蛸(*Octopus ocellatus*)占 15.37%,长蛸(*Octopus variabilis*)、金乌贼(*Sepia esculenta*)等所占比重不大。

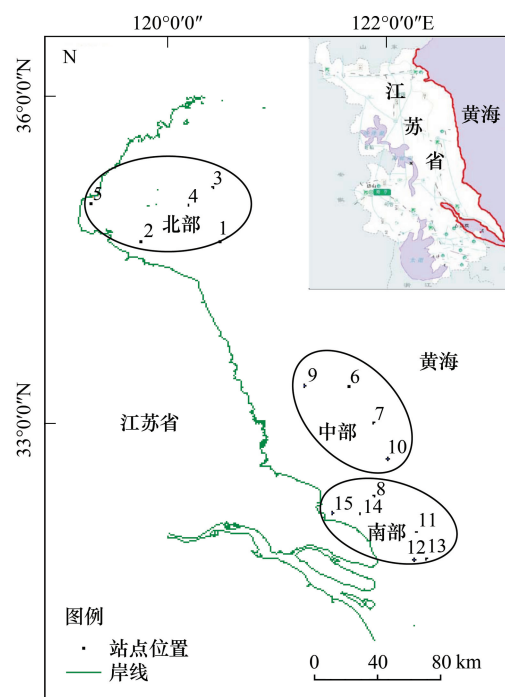


图 1 采样点分布图

Fig. 1 Sampling points distribution

2.2 能质指标计算方法

能质是在一定环境条件下,系统为了达到同外界环境平衡时所需要做的最大总功。能质值(Ex)通过计算某一组分中的平均现存生物量(C_i)与其基因信息(β_i)之间的乘积来获得^[35]:

$$\frac{Ex}{RT} = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot C_i \quad (1)$$

式中, Ex 为生态能质(kJ/m^3), R 为气体常数($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), T 为绝对温度(K), C_i 为生态系统中第 i 种组分在现有状态的浓度(g/m^3)。 β_i 为第 i 种有机成分的权重转换因子。

结构能质(Ex_{st})是系统中平均单位质量的能质,即能质同总生物量的比值^[26],其计算公式如下:

$$\frac{Ex_{st}}{RT} = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \frac{C_i}{C_t} \quad (2)$$

式中, Ex_{st} 为结构能质(kJ/g), C_t 表示为系统中有机成分的总浓度或总生物量(g/m^3)。

其中, β_i 值可根据储存在有机体基因内的信息^[36]或种水平上的基因组尺度来计算^[37]。本文根据 Jørgensen 的研究, β_i 权重因子计算公式如下:

$$\beta_i = 1 + \frac{\text{核苷酸的数量} \times (1 - \text{重复基因的数量})}{7.34 \times 10^5} \quad (3)$$

通过该公式,Jørgensen 在有机体能质计算一文中,详细给出了低到岩屑、病原体,高到智人(现代人)共 45 个不同级别和种类生物组分的 β_i 权重值^[38]。

2.3 生物多样性指数计算方法

生物多样性的测度中,使用最广泛的是物种丰度,它最直观也最容易统计;其次是 Shannon 指数、Simpson 指数以及 Margalef 指数,其他指数使用相对较少^[39]。本文选取常用的生物多样性指数计算公式(表 1)。

表 1 多样性指数计算方法

Table 1 The calculation method of diversity index

多样性指数 Diversity indicators	计算公式 Formula	备注 Remarks
物种丰度 Species abundance	S	S 为群落中所有物种数目
Shannon Wiener 指数(以 e 为底) Shannon Wiener index (base e)	$H_e = - \sum_{i=1}^S P_i \times \ln P_i, P_i = \frac{n_i}{N}$	N 为群落中所有个体数量
Shannon Wiener 指数(以 2 为底) Shannon Wiener index (base 2)	$H_2 = - \sum_{i=1}^S P_i \times \log_2 P_i, P_i = \frac{n_i}{N}$	n_i 为群落中第 i 个种的个体数量
Simpson 指数 Simpson index	$D = \sum_{i=1}^S P_i^2, P_i^2 = \frac{n_i(n_i)}{N(N-1)}$	
Simpson 相遇指数 Simpson _(1-D) index	$D_{1-D} = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2, P_i^2 = \frac{n_i(n_i)}{N(N-1)}$	
Margalef 指数 Margalef index	$d_{Ma} = \frac{(S-1)}{\ln N}$	

3 研究结果与分析

3.1 能质和结构能质的空间分布情况

在能质和结构能质计算过程中,权重因子 β_i 的确定方式多种多样,例如,通过营养群落、广系分类编码基因、物种分类水平基因等尺度进行估算,但是目前的研究表明,不同 β_i 值计算方法对能质指标作为生态指标的影响甚微^[40-41]。因此,本研究针对采集样本的生物品种,利用已有文献对 β 权重的详细解译和计算^[38],选取适当的权重值计算能质指标(表 2)。

江苏海岸带能质值空间分布趋势是南部>北部>中部,而结构能质值空间分布趋势为北部>南部>中部(图 2)。由于这 3 个区域生物量、环境因子差别较大,除了辐射沙脊群(中部)能质和结构能质值都偏小外,长江北口(南部)和海州湾区域(北部)差异较为明显。

表 2 用于估算能值的权重转换因子(β)

Table 2 The conversion factor weight(β) to estimate Exergy

样本生物体 Sample organisms	β	样本生物体 Sample organisms	β
藻类、原生动物、夜光虫 Algae, Protozoan, N. ciellans	20	海参、水母类 Sea cucumbers, Jellyfish	91
沙蚕类、刚毛幼体、箭虫类 Nereis, Bristly larvae, Sagitta	133	裸鳃类 Corophium	167
水蚤类、虾类、蟹类 Daphnia, Shrimp, Crab	232	住囊虫 Oikopleura sinense	246
乌贼类、幼螺 Cuttlefish, Snail larvae	310	鱼类 Fish	499

通过对调查站点物种类别归类列表,原始 β 值参见文献^[38]

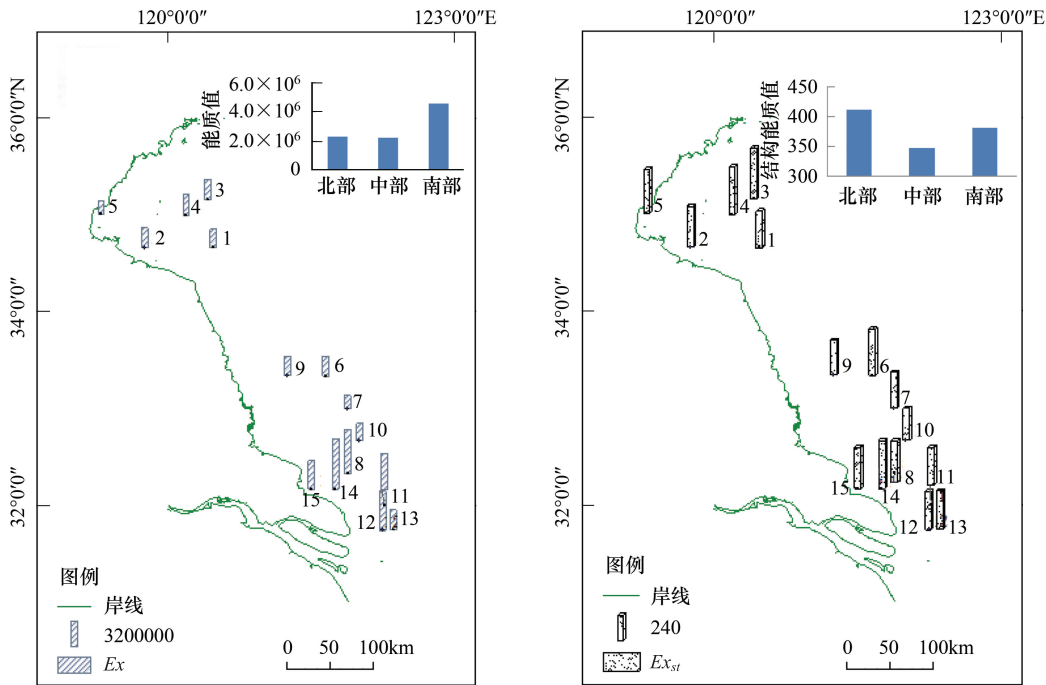


图 2 江苏海岸带能质和结构能质空间分布图

Fig. 2 The spatial distribution of Exergy and Structure Exergy of coastal areas in Jiangsu

江苏海岸带 15 个样本点南北位置、离岸远近以及测量环境的差异,都可能影响站点能质指标空间分布情况。对这 15 个调查站点能质和结构能质数据进行系统聚类分析,采用组间联接和平方 Euclidean 距离进行区间度量(图 3)。

夏季江苏省海岸带健康情况可分为四类(表 3):站点 1、2、7、9、10、13、15 为第 1 类(I),该类能质和结构能质值都较低,显著水平 $\alpha=0.05$ 时,能质值和海水中总磷含量呈正相关关系,相关系数 $R^2=0.604$,这类生态系统生物量不大,且包含的信息量少,海水中总磷含量随能质值增高而增加,其中 15 号站点海水总磷含量为最大值(0.45),1、9 号站点海水总磷含量为最小值(0.18),波动较大,说明系统组织性、有序化程度低,稳定性低,系统较脆弱,一旦系统受到破坏后使之恢复到热平衡状态所需的能量低;3、4、5、6 为第 2 类(II),该类能质值较低,结构能质值较高,能质值和海水中悬浮物含量相关,相关系数 $R^2=0.478$ ($\alpha=0.05$),3、4 号站点位于海州湾东部,海水中悬浮物含量极少,5 号站点

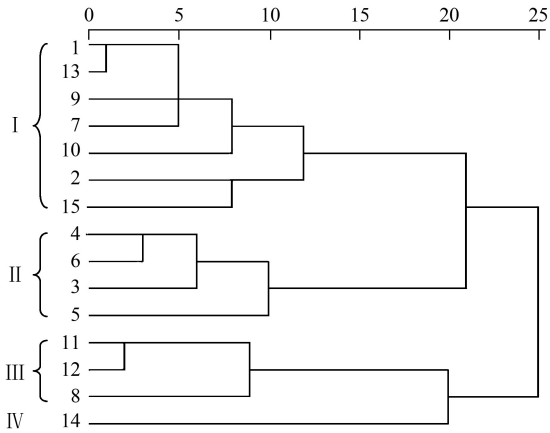


图 3 江苏沿海站点生态能质的聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis of Eco-Exergy of coastal areas in Jiangsu

位于海州湾近岸区,6号点位于辐射沙脊群北翼,海水中悬浮物含量极大。海水中悬浮物过大或过小,都会影响生态系统稳定性,加上Ⅱ类生态系统生物量很小,包含的信息量最少,系统不稳定;8、11、12为第3类(Ⅲ),该类能质值较高,结构能质值偏低,系统生物量很大,包含的信息量较大,水环境指标近于平均值,波动小,组织性、有序化程度较高,比较稳定;14为第4类(Ⅳ),该类有较高的能质和结构能质,系统稳定性强,组织性、有序化程度高,生物信息量大,且系统受破坏后使之恢复到热平衡状态所需的能量多,受外界干扰敏感度低。综上所述,以能质为目标函数时,Ⅳ类生态系统健康,Ⅲ类生态系统亚健康,Ⅰ、Ⅱ类生态系统存在问题。

表3 能质指标分类情况表

Table 3 Exergy index classification table

类别 Category	站号 Station number	能质指标 Exergy indicators		海水环境指标 Marine environmental indicators		相关系数 E_x 与海水环境 Related coefficient between E_x and marine environment
		E_x	E_{xst}	总磷含量/(mg/L) Total phosphorus content	悬浮物含量/(mg/L) Suspended solids content	
Ⅰ	1	2338695	346.4161	0.018		$R^2 = 0.604$
	2	2477714	380.0213	0.024		$\alpha = 0.05$
	7	1687846	333.5597	0.022		
	9	2483444	323.9176	0.018		
	10	2223666	297.7153	0.029		
	13	2421532	352.9569	0.025		
	15	3605168	380.0595	0.045		
Ⅱ	3	2591079	470.8672		2.00	$R^2 = 0.478$
	4	2641043	448.5595		3.00	$\alpha = 0.05$
	5	1677314	410.2902		83.00	
	6	2524248	432.0418		77.00	
Ⅲ	8	5580441	392.0749			
	11	4562872	354.4804			
	12	4912015	358.4994			
Ⅳ	14	6384170	450.7894			

3.2 生物多样性指数空间分布情况

生物多样性指数测度一般可分为物种丰富度测度和异质性测度^[42-43]。物种丰度简单指出群落中物种种数;Shannon指数作为异质性测度,可以测算物种多度的均匀程度。Shannon指数一般为1.5—3.5之间,只有当样本中出现大量物种时,才会有较大的值。May曾证明,若已知物种服从对数正态分布,要使Shannon指数 >5.0 ,需要 10^5 种;Simpson指数侧重于样本多度较大的系统,通过它能得到物种多度分布的方差,群落组成越均匀,它的值就越大;Margalef指数是综合性指数,R. Margalef曾通过测得生态区域内生物多样性程度来判断区域污染程度^[44]。

夏季,江苏沿海地区物种丰度值介于20—47之间,空间分布为北部 $>$ 南部 $>$ 中部;Shannon Wiener指数介于0.77—2.70之间,Simpson指数介于0.28—0.90之间,空间分布都为南部 $>$ 中部 $>$ 北部;Margalef指数介于2.50—5.50之间,南部略大于北部,中部较小(图4)。

物种丰度和Margalef指数最值出现地点一致,最大、最小值分别为8号点和6号点;以e为底的Shannon Wiener指数和Simpson指数最值出现地点一致,最大、最小值都分别出现在14号点和1号点。对生物多样性指数进行系统聚类分析(图5),得到4个类别(表4):站点2、9、11、12、14、15为第1类(Ⅰ'),该类生态系统Shannon Wiener指数和Simpson指数都相对较高,则物种丰富度和均匀度、优势度都比较高;与之相对的是第4类(Ⅳ',1号站点),Shannon Wiener指数和Simpson指数都低;3、4、5、8为第2类(Ⅱ'),该类生态系统物种

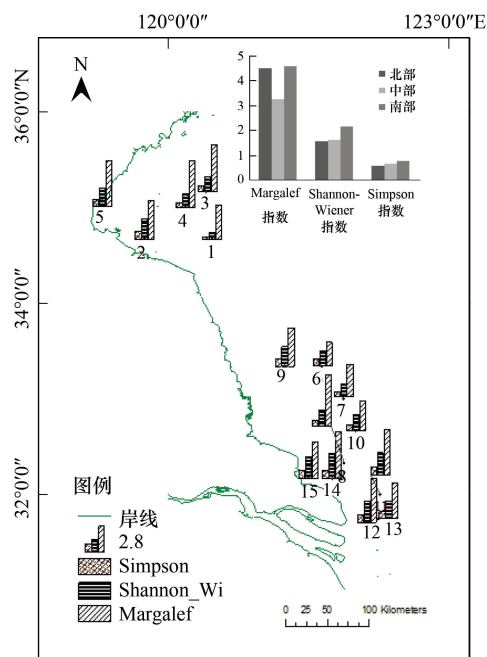


图 4 江苏海岸带生物多样性空间分布图

Fig. 4 The spatial distribution of biodiversity of coastal areas in Jiangsu

丰度和 Margalef 指数值高,物种丰富度大;与之相对的是第 3 类(Ⅲ'),包括 6、7、10、13 号点。因此,用生物多样性指数作为目标函数划分生态系统结果为:Ⅰ'、Ⅱ'类相对健康,Ⅲ'、Ⅳ'类生态系统存在问题。

综上所述,不论以能质指标还是生物多样性指标作为目标函数,生态系统健康的站点有 14 号点,亚健康的站点为 8、11、12,不健康的站点为 1、6、7、10、13,其他站点(2、3、4、5、9、15)以生物多样性指标为目标函数时,被判定为健康的生态系统,而以能质指标为目标函数时,被判定为不健康的生态系统,该结果与两类指标测算偏重有关,前者主要从物种数量角度测量,后者侧重物种的基因组成及等级,数量大且种类多的生态系统不一定种群等级高,因此,最终判定这些站点的生态系统健康存在问题。

4 讨论与结论

4.1 能质与生物多样性指标存在一致性

能质值与生物多样性指标存在一定联系,分别将该两种指标作为目标函数,都可以分成四类,约 2/3 的站点健康状态评价结果一致。此外,能质和生物多样性最值(最大值、最小值)在一定程度上重合,说明能质与生物多样性指数能反映生态系统健康程度的总体趋势,并且两者反映的趋势一致。例如,14 号点位于江苏海岸线南部近岸,同期温度较北部高,且海水中溶解态氮、总磷含量是所测点中的最大值,其环境有利于生物的生存和发展,能质和结构能质值都高,同时,该点也是 Shannon Wiener 指数和 Simpson 指数的最大值点;1 号点位于海州湾东南侧远岸,受人类活动影响较小,总磷含量是所测点中的最小值,能质和结构能质值都低,同时

表 4 生物多样性指标分类情况表				
Table 4 Biodiversity indicators classification table				
类别 Category	站号 Station number	生物多样性指标 Biodiversity indicators		
		Margalef index	Shannon-Wiener index	Simpson index
Ⅰ'	2	4.112259	2.174098	0.846008
	9	4.038977	2.105494	0.804951
	11	4.788158	2.330749	0.845461
	12	4.644894	2.225199	0.810539
	14	4.960761	2.696875	0.902242
	15	3.835368	2.273508	0.812391
Ⅱ'	3	5.015819	1.563623	0.607584
	4	4.985909	1.433925	0.523368
	5	4.797253	1.878938	0.750487
	8	5.500500	1.683458	0.689245
Ⅲ'	6	2.500857	1.538744	0.696903
	7	3.413145	1.295273	0.520124
	10	3.145853	1.639626	0.65704
	13	3.784896	1.845189	0.684247
Ⅳ'	1	3.607725	0.770043	0.282975

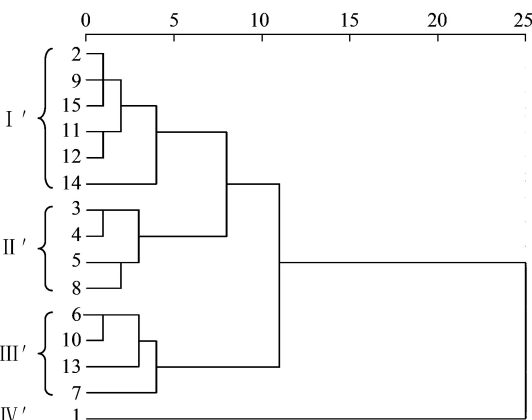


图 5 江苏沿海站点生物多样性的聚类分析

Fig. 5 Cluster analysis of biodiversity of coastal areas in Jiangsu

是 Shannon Wiener 指数和 Simpson 指数的最小值点。

4.2 能质和生物多样性指标在中低级生态系统中差异大

能质与生物多样性指标值排名前五的站点有 80% 的重合,其余排序中二者重合率低(表 5),说明相对成熟的高级生态系统中,这两种指标能较一致地反映群落的健康状态,而在中低级生态系统中,能质与多样性指标差异较大。由于较高能质和结构能质的群落具有丰富的高级生物,且生态系统发育成熟,当群落或生态系统达到演替顶级以后,能维持其结构、功能长期保持在一个较高的水平^[45],因此,这类生态系统处于一个比较平衡的状态。

相对而言,能质和生物多样性指标值较小的生态系统中,群落生物量偏小,生物等级较低,一旦受到外界干扰,波动较大,由某类生物数量激增或者外来物种入侵等情况引起的生物多样性指数和能质指标值变动的可能性大,因而这类演替中的群落处于非平衡状态。

表 5 能质与生物多样性指标站点排名(自左向右降序排列)

Table 5 Sample ranking of exergy and biodiversity (descending order from left to right)

Indicators	排名前五站点 The top five sites					居中站点 Center sites					排名后五站点 The last five sites				
Ex	14	8	12	11	15	4	3	6	9	2	13	1	10	7	5
Margalef 指数 Margalef index	8	3	4	14	5	11	12	2	9	15	13	1	7	10	6
Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	14	11	15	12	2	9	5	13	8	10	3	6	4	7	1
Simpson 指数 Simpson index	14	2	11	15	12	9	5	6	8	13	10	3	4	7	1

4.3 能质与生物多样性指标关联程度低

能质指标中包含的种类级别以及营养类群信息是生物多样性指标所不能反映的。将能质指标与 3 个生物多样性指数做相关分析,发现能质与生物多样性指标的关联程度低。如图 6 所示,显著水平 $\alpha=0.05$ 时,能质与 Margalef 指数相关系数为 $R^2=0.307$,与 Shannon Wiener 指数相关系数 $R^2=0.315$,与 Simpson 指数相关系数 $R^2=0.243$ 。

原因在于,能质值与物种等级和物种总量密切相关,生物多样性指数与组成生态系统各组分的物种等级和种类无关。已计算的能质值中,鱼类($\beta=499$)等级最高,能质的权重 β 最大。据表 6,14 号点生物总量稍次于 8 号站点,且虾类($\beta=232$)、蟹类($\beta=232$)以及头足类(基本为软体动物, $\beta=310$)生物的能质排名靠后(第 11),但由于 14 号站点鱼类总量大且种类丰富,能质值高,使该站点总能质值最大。8 号点虽然生物总量最大,鱼类的能质值较 14 号点小,所以总能质小于 14 号点。因此,生物物种越高级,核苷酸数量多,所获权重重大,反之亦反;生物量越大,能质值会增大,但总能质值不一定最高。同时,这也是将两类指标分别用于评判江苏省海岸带生态系统健康状态时,评价结果存在差异的原因。

表 6 调查站点数值排名表

Table 6 Sorting table of sample stations

	站点数值排名(从左至右) Site numerical ranking (from left to right)														
鱼类能质值 Exergy of Fish	14	8	12	11	15	3	4	6	2	13	5	9	1	7	10
虾、蟹、头足类能质值 Exergy of Shrimp, Crab and Cephalopod	8	11	12	10	9	1	15	7	13	2	14	4	6	5	3
生物总量 Total biomass	8	14	12	11	15	9	10	13	1	2	4	6	3	7	5
总能质值 Total exergy	14	8	12	11	15	4	3	6	9	2	13	1	10	7	5

生物多样性测度与种群数量、种类生物体个数、分布均匀度等关联较大。以 e 为底的 Shannon Wiener 指数和 Simpson 指数的大小与群落中所有个体数量以及群落中第 i 个物种的个体数量直接相关。物种丰度和 Margalef 指数是群落中所有物种数目的函数,能在一定程度上说明生态系统物种丰度情况,但不能从物种种类和级别的角度阐述生态系统稳定情况。因此,能质和生物多样性指标侧重点不一,使得二者关联程度不高,评价结果不一致。

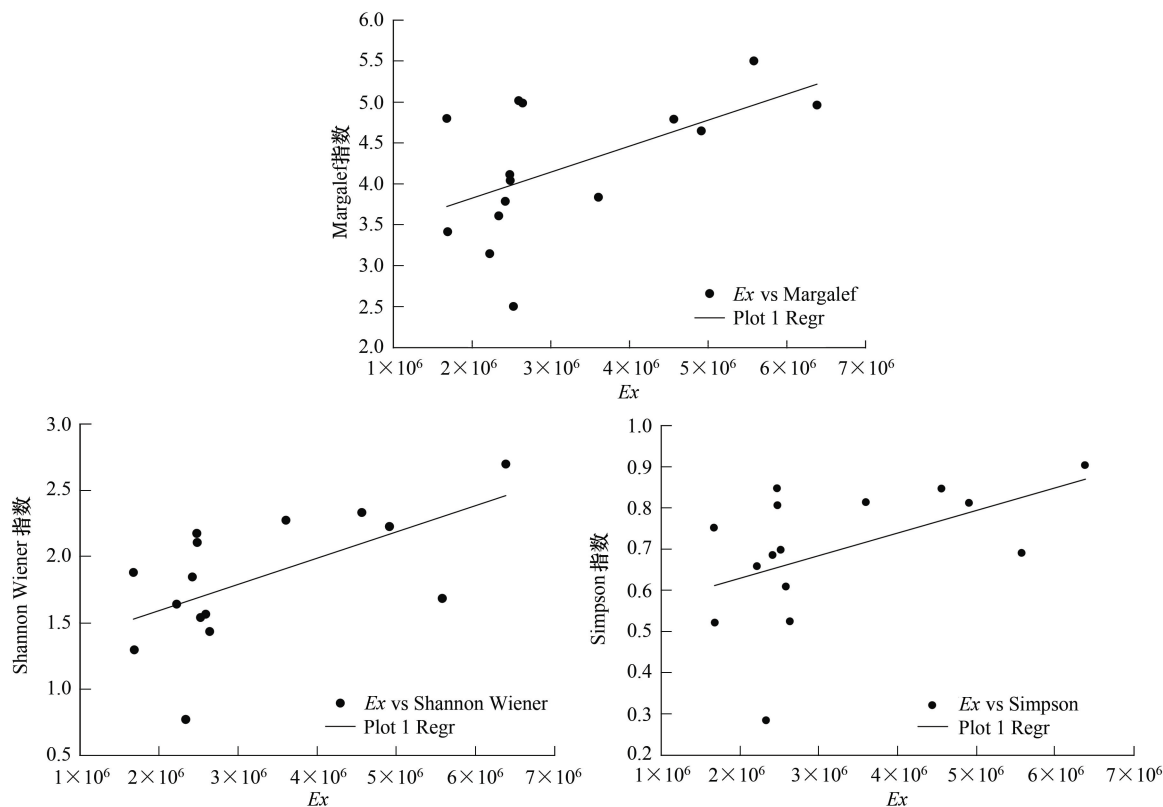


图6 能质与生物多样性指数相关度
Fig. 6 Correlation between Exergy and biodiversity

4.4 结论

综前所述,能质指标与生物多样性指数的差别如表7。

表7 能质指标与生物多样性指数差异分析
Table 7 Comparison different aspect of exergy and biodiversity

	能质指标 Exergy	生物多样性指数 Biodiversity
理论支撑 Theoretical base	热力学 Thermodynamics	生态学 Ecology
建立理论视角 Constructed theoretical perspective	微观视角,能质理论建立在生物体结构和组织信息上,反映生态系统自组织化水平,并能体现系统进化过程 ^[46]	宏观视角,生物多样性建立在种群数目和物种丰富度水平上,反映生态系统稳定程度 ^[44]
与生态系统健康对应关系 Correspondence between ecosystem health	直接表达生态系统健康的状况及其变化	能衡量生态系统稳定性,间接反映系统健康水平 ^[18]
应用模型 Application model	结构动力模型、结构热力模型和指标体系建立 ^[26,29]	物种多度模型 ^[43] 和指标体系建立
对生态系统演变的测度 Measure of ecosystem evolution	通过测定物种丰富度,群落内部增长模式和演变趋势反映	通过测定物种丰富度、物种多样性、均匀度、生态优势度及熵值反映 ^[47,44]
对生态系统非正常演变反应 Reaction to the non-normal evolution of ecosystem	十分敏感,不管是对物种数量变化(例如:海水富营养化时海藻速增)还是物种种类变化(例如:物种演替、物种入侵等)都敏感	对群落内物种数量变化敏感,对群落物种种类变化欠敏感
指标之间的关联 Relationship between indicators	互补关系,当能质值相差不大时,结构能质反映生态系统中物种的进化程度,较高的结构能质说明该生态系统中存在较多进化程度高的物种及个体,进而能够指示生态系统的复杂性	平行关系,每个生物多样性指标都能测定生物多样性的一个方面,如:Shannon Wiener 指数侧重测度生物信息量,Simpson 指数侧重测定物种优势度和均匀度,Margalef 指数侧重测定物种丰富度 ^[39]
局限性 Limitations	权重(β)的确定受控于基因测量技术,使得目前生态能质研究大多在物种门、纲分类水平下度量	无法区分多样性的变化是来源于物种的个体分布差异还是物种数量的增减,且在多样性指数值相同时不能进一步反映优势种和密度的变化

海岸带生态系统健康评价的过程中,指标体系的建立和评价方法仍然是核心。能质具有很好的热力学理论基础,与系统论和信息论关系密切。通过能质指标能反映生态系统进化的水平,组织化水平和信息量,并定量生态系统的成熟程度。能质值越高,生态系统要达到热力学平衡状态需要从外界吸收的能量就越多,当生态系统的自组织结构功能发生变化,一定会在能质值上体现。生物多样性指标既能说明生态系统中物种生物量多样性和物种个体数量多样性,也能反映整个生态系统的结构层次和稳定情况。由于指标选取和指标衡量本身的局限性,在衡量生态系统健康状态时,能质指标可作为多样性指数等生态系统评价指标有益的、必要的补充。

References:

- [1] Jørgensen S E. Development of models able to account for changes in species composition. *Ecological Modelling*, 1992, 62(1/3): 195-208.
- [2] Bossel H. Real-structure process description as the basis of understanding ecosystems and their development. *Ecological Modelling*, 1992, 63(1/4): 261-276.
- [3] Pimm S L. The complexity and stability of ecosystems. *Nature*, 1984, 307(5949): 321- 326.
- [4] MacArthur R. Fluctuations of animal populations, and a measure of community stability. *Ecology*, 1955, 36(3): 533- 536.
- [5] Elton C S. *The Ecology of Invasions by Animals and Plants*. Chicago: University of Chicago Press, 2000: 143- 153.
- [6] Zhuang J R, Zhang Z X. Application of community structure-diversity index (CSDI) in forest health assessment in Beijing Badaling area. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(8): 162- 166.
- [7] Chen Z Z, Qiu Y S, Jia X P, Huang Z R, Wang Y Z. Structure and function of Beibu gulf ecosystem based on Ecopath model. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(3): 460- 468.
- [8] Wu T, Zhao D Z, Kang J C. Research progress on health evaluation of wetland ecosystem in valley-estuarine delta area. *Marine Environmental Science*, 2010, 29(2): 286- 292.
- [9] Xu F, Yang Z F, Chen B, Zhao Y W. Ecosystem health assessment of the plant-dominated Baiyangdian Lake based on eco-exergy. *Ecological Modelling*, 2011, 222(1): 201- 209.
- [10] May R M. Will a large complex system be stable? *Nature*, 1972, 238(5364): 413- 414.
- [11] Walker B. Conserving biological diversity through ecosystem resilience. *Conservation Biology*, 1995, 9(4): 747- 752.
- [12] Loreau M, Naeem S, Inchausti P, Bengtsson J, Grime J P, Hector A, Hooper D U, Huston M A, Raffaelli D, Schmid B, Tilman D, Wardle D A. Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, 2001, 294(5543): 804- 808.
- [13] Hooper D U, Chapin F S, Ewel J J, Hector A, Inchausti P, Lavorel S, Lawton J H, Lodge D M, Loreau M, Naeem S, Schmid B, Setälä H, Symstad A J, Vandermeer J, Wardle D A. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 2005, 75(1): 3- 35.
- [14] Worm B, Barbier E B, Beaumont N, Duffy J E, Folke C, Halpern B S, Jackson J B C, Lotze H K, Micheli F, Palumbi S R, Sala E, Selkoe K A, Stachowicz J J, Watson R. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, 2006, 314(5800): 787- 790.
- [15] Kimmins J P. Biodiversity and its relationship to ecosystem health and integrity. *Forestry Chronicle*, 1997, 73(2): 229- 232.
- [16] Chen L, Wang X G. Biodiversity and forest ecosystem health: some key questions. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(5): 816- 820.
- [17] Wang Y P, Wu H, Xu H C. Butterfly diversity and evaluation of forest eco-system health in important ecological areas of Zhejiang Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5259- 5269.
- [18] Xu K Y, Ye W H. Ecosystem health and biodiversity. *Ecologic Science*, 2002, 21(3): 279- 283.
- [19] Wu J G, Marceau D. Modelling complex ecological systems: an introduction. *Ecological Modelling*, 2002, 153(1/2): 1-6.
- [20] Constanza R, Jørgensen S E. *Understanding and Solving Environmental Problems in the 21st Century*. United Kingdom: Elsevier, 2002: 41-94.
- [21] Jørgensen S E. Ecosystem theory, ecological buffer capacity, uncertainty and complexity. *Ecological Modelling*, 1990, 52(1/2): 125-133.
- [22] Odum E P. Trends expected in stressed ecosystems. *Bioscience*, 1985, 35(7): 419-422.
- [23] Sun P Y, Lu J J. Exergy theory: a new method of ecosystem study. *Chinese Journal of Ecology*, 1997, 16(5): 32-37.
- [24] Zhang J J, Jørgensen S E, Mahler H. Examination of structurally dynamic eutrophication model. *Ecological Modelling*, 2004, 173(4): 313-333.
- [25] Gurkan Z, Zhang J J, Jørgensen S E. Development of a structurally dynamic model for forecasting the effects of restoration of Lake Fure, Denmark. *Ecological Modelling*, 2006, 197(1/2): 89-102.
- [26] Li Q X, Feng J F, Zhu L. Applications of eco-exergy in ecological modeling and assessment of aquatic ecosystems. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(2): 376-383.
- [27] Fonseca J C, Pardal M A, Azeiteiro U M, Marques J C. Estimation of ecological exergy using weighing parameters determined from DNA contents of organisms — a case study. *Hydrobiologia*, 2002, 475-476(1): 79-90.
- [28] Xu F L, Zhao Y Z, Zhan W, Zhao S S, Dawson R W, Tao S. An ecosystem health index methodology (EHIM) for lake ecosystem health

- assessment. *Ecological Modelling*, 2005, 188(2/4): 327-339.
- [29] Zhang F J, Tong C F, Xie Z F, Liu W L, Gao W, Lu J J. The re-colonisation progress of intertidal benthic fauna community in the Changjiang Estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 4944-4952.
- [30] Zhai S J, Hu W P, Zhu Z C. Ecological impacts of water transfers on Lake Taihu from the Yangtze River, China. *Ecological Engineering*, 2010, 36(4): 406-420.
- [31] Salas F, Marcos C, Neto J M, Patrício J, Pérez-Ruzafa A, Marques J C. User-friendly guide for using benthic ecological indicators in coastal and marine quality assessment. *Ocean and Coastal Management*, 2006, 49(5/6): 308-331.
- [32] Austoni M, Giordani G, Viaroli P, Zaldivar J M. Application of specific exergy to macrophytes as an integrated index of environmental quality for coastal lagoons. *Ecological Indicators*, 2007, 7(2): 229-238.
- [33] Vassallo P, Fabiano M, Vezzulli L, Sandulli R, Marques J C, Jørgensen S E. Assessing the health of coastal marine ecosystems: a holistic approach based on sediment micro and meio-benthic measures. *Ecological Indicators*, 2006, 6(3): 525-542.
- [34] Ren M E. Comprehensive Investigation Report on Coastal Areas and Tidal Flat Resources in Jiangsu Province. Beijing: Maritime Press, 1986: 1-3.
- [35] Austoni M, Giordani G, Viaroli P, Zaldivar J M. Application of specific exergy to macrophytes as an integrated index of environmental quality for coastal lagoons. *Ecological Indicators*, 2007, 7(2): 229-238.
- [36] Jørgensen S E. Application of exergy and specific exergy as ecological indicators of coastal areas. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 2000, 3(3): 419-430.
- [37] Fonseca J C, Marques J C, Paiva A A, Freitas A M, Madeira V M C, Jørgensen S E. Nuclear DNA in the determination of weighing factors to estimate exergy from organisms biomass. *Ecological Modelling*, 2000, 126(2/3): 179-189.
- [38] Jørgensen S E, Ladegaard N, Debeljak M, Marques J C. Calculations of exergy for organisms. *Ecological modeling*, 2005, 185((2/4): 165-175.
- [39] Sun J, Liu D Y. The application of diversity indices in marine phytoplankton studies. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 26(1): 62-75.
- [40] Debeljak M. Applicability of genome size in exergy calculation. *Ecological Modelling*, 2002, 152(2/3): 103-107.
- [41] Libralato S, Torricelli P, Pranovi F. Exergy as ecosystem indicator: an application to the recovery process of marine benthic communities. *Ecological Modelling*, 2006, 192(3/4): 571-585.
- [42] McIntosh R P. An index of diversity and the relation of certain concepts to diversity. *Ecology*, 1967, 48(3): 392-404.
- [43] Good I J. The population frequencies of species and the estimation of population parameters. *Biometrika*, 1953, 40(3/4): 237-264.
- [44] Anne E M. Measuring Biological Diversity. Zhang F, translator. Beijing: Science Press, 2011:39-72.
- [45] Zhang J Y, Zhao H L. Review on the study of vegetation stability. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(4): 42-48.
- [46] Zhang J J, Gurkan Z, Jørgensen S E. Application of eco-exergy for assessment of ecosystem health and development of structurally dynamic models. *Ecological Modeling*, 2010, 221(4): 693-702.
- [47] Liu X H, Li X, Peng Z J. The discussion on calculation methods of biodiversity. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 2008, 23(2): 166-168.

参考文献:

- [6] 庄健荣, 张志翔. 结构-多样性指数在八达岭地区森林健康评价中的应用. *中国农学通报*, 2008, 24(8): 162-166.
- [7] 陈作志, 邱永松, 贾晓平, 黄梓荣, 王跃中. 基于 Ecopath 模型的北部湾生态系统结构和功能. *中国水产科学*, 2008, 15(3): 460-468.
- [8] 吴涛, 赵冬至, 康建成. 流域-河口三角洲湿地生态系统健康评价研究进展. *海洋环境科学*, 2010, 29(2): 286-292.
- [16] 陈亮, 王绪高. 生物多样性与森林生态系统健康的几个关键问题. *生态学杂志*, 2008, 27(5): 816-820.
- [17] 王义平, 吴鸿, 徐华潮. 浙江重点生态地区蝶类生物多样性及其森林生态系统健康评价. *生态学报*, 2008, 28(11): 5259-5269.
- [18] 许凯扬, 叶万辉. 生态系统健康与生物多样性. *生态科学*, 2002, 21(3): 279-283.
- [23] 孙平跃, 陆健健. 埃三级 (Exergy) 理论: 生态系统研究的一种新方法. *生态学杂志*, 1997, 16(5): 32-37.
- [26] 李晴新, 冯剑丰, 朱琳. 生态能质 (eco-exergy) 在水生生态系统建模和评价中的应用. *生态学杂志*, 2011, 30(2): 376-383.
- [29] 章飞军, 童春富, 谢志发, 刘文亮, 高伟, 陆健健. 长江口潮间带大型底栖动物群落演替. *生态学报*, 2007, 27(12): 4944-4952.
- [34] 任美镠. 江苏省海岸带和海涂资源综合调查(报告). 北京: 海洋出版社, 1986:1-3.
- [39] 孙军, 刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用. *海洋学报*, 2004, 26(1): 62-75.
- [44] Anne E M. 生物多样性测度. 张峰, 译. 北京: 科学出版社, 2011:39-72.
- [45] 张继义, 赵哈林. 植被(植物群落)稳定性研究评述. *生态学杂志*, 2003, 22(4): 42-48.
- [47] 刘晓红, 李校, 彭志杰. 生物多样性计算方法的探讨. *河北林果研究*, 2008, 23(2): 166-168.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 4 February, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Concepts, processes and quantification methods of the forest water conservation at the multiple scales WANG Xiaoxue, SHEN Huitao, LI Xuyong, et al (1019)
- Advances in the study of stable isotope composition of leaf water in plants LUO Lun, YU Wusheng, WAN Shimin, et al (1031)
- Eco-environmental effects of urban landscape pattern changes: progresses, problems, and perspectives CHEN Liding, SUN Ranhao, LIU Hailian (1042)
- An overview of advances in distributional pattern of urban biodiversity MAO Qizheng, MA Keming, WU Jianguo, et al (1051)
- Ecological compensation boosted ecological protection and human well-being improvement LI Huimei, ZHANG Anlu (1065)

Autecology & Fundamentals

- Effects of indigenous AM fungi and neighboring plants on the growth and phosphorus nutrition of *Leymus chinensis* LEI Yao, HAO Zhipeng, CHEN Baodong (1071)
- Influences of AM fungi on plant growth and water-stable soil aggregates under drought stresses YE Jiashu, LI Tao, HU Yajun, et al (1080)
- The effect of transgenic cucumber with double strands RNA of *mapk* on diversity of rhizosphere bacteria CHEN Guohua, MI Baobin, LI Ying, et al (1091)
- The ambient ozone pollution and foliar injury of the sensitive woody plants in Beijing exurban region WAN Wuxing, XIA Yajun, ZHANG Hongxing, et al (1098)
- Diversity and plant growth-promoting potential of culturable endophytic bacteria isolated from the leaves of *Atractylodes lancea* ZHOU Jiayu, JIA Yong, WANG Hongwei, et al (1106)
- Effects of the low temperature treatment on egg maturation and its numerical dynamics in the parasitoid *Pteromalus puparum* (Hymenoptera: Pteromalidae) XIA Shiyang, MENG Ling, LI Baoping (1118)
- Circadian rhythm of calling behavior and sexual pheromone production and release of the female *Zeuzera leuconotum* Butler (Lepidoptera: Cossidae) LIU Jinlong, JING Xiaoyuan, YANG Meihong, et al (1126)
- Influence of fluoride on activity of carboxylesterase and esterase in hemolymph of *Bombyx mori* MI Zhi, RUAN Chenglong, LI Jiaorong, et al (1134)
- Effects of water temperature on the embryonic development, survival and development period of larvae of ridgetail white prawn (*Exopalaemon carinicauda*) reared in the laboratory LIANG Junping, LI Jian, LI Jitao, et al (1142)

Population, Community and Ecosystem

- Diversity of ecosystem services and landscape multi-functionality: from scientific concepts to integrative assessment LÜ Yihe, MA Zhimin, FU Bojie, et al (1153)
- Research on estimating wetland vegetation abundance based on spectral mixture analysis with different endmember model: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing CUI Tianxiang, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1160)
- Identifying typical plant ecological types based on spectral characteristic variables: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing LIN Chuan, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1172)
- Responses of phytoplankton community to the construction of small hydropower stations in Hainan Province LIN Zhangwen, LIN Sheng, GU Jiguang, et al (1186)
- Diurnal variation of water quality around *Potamogeton crispus* population WANG Jinqi, ZHENG Youfei, WANG Guoxiang (1195)
- Effects of three forest restoration approaches on plant diversity in red soil region, southern China WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1204)
- Dynamics of soil physical-chemical properties and organic carbon content along a restoration chronosequence in *Pinus tabulaeformis* plantations HU Huifeng, LIU Guohua (1212)
- Probability models of forest fire risk based on ecology factors in different vegetation regions over China LI Xiaowei, ZHAO Gang, YU Xiubo, et al (1219)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Landscape ecological security dynamics in a fast growing urban district: the case of Dongguan City YANG Qingsheng, QIAO Jigang, AI Bin (1230)
- The difference between exergy and biodiversity in ecosystem health assessment: a case study of Jiangsu coastal zone TANG Dehao, ZOU Xinqing, LIU Xingjian (1240)
- Impacts of drying-wetting cycles on CO₂ and N₂O emissions from soils in different ecosystems OUYANG Yang, LI Xuyong (1251)
- Evaluation of low-carbon competitiveness in Western China JIN Xiaoqin, DU Shouhu (1260)
- Flood return period analysis of the Bayi Reservoir Watershed based on HEC-HMS Model ZHENG Peng, LIN Yun, PAN Wenbin, et al (1268)
- Simulation of rainfall interception process of primary korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains by using the modified Gash model CHAI Rushan, CAI Tiju, MAN Xiuling, et al (1276)
- Characteristics of tree-ring chronology of *Pinus koraiensis* and its relationship with climate factors on the northern slope of Changbai Mountain CHEN Lie, GAO Lushuang, ZHANG Yun, et al (1285)

Resource and Industrial Ecology

- Nitrogen flows in "crop -edible mushroom" production systems in Hexi Corridor Oasis Irrigation Area LI Ruiqin, YU Anfen, ZHAO Youbiao, et al (1292)
- Effects of fertilization on soil fertility indices and yield of dry-land peanut WANG Caibin, ZHENG Yaping, LIANG Xiaoyan, et al (1300)
- Effect of tillage and residue management on dynamic of soil microbial biomass carbon PANG Xu, HE Wenqing, YAN Changrong, et al (1308)
- Evaluation of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance based on improved set pair analysis SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1317)

Opinions

- Methodology for measuring forestry ecological security based on ecology-industry symbiosis: a research framework ZHANG Zhiguang (1326)

《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,探索自然奥秘,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

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 4 期 (2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 4 (February, 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