

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

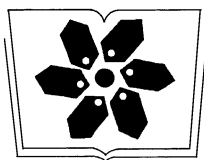
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 13 期 Vol.31 No.13 **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 13 期 2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

我国东部北亚热带植物群落季相的时空变化	陈效速, 亓孝然, 阿 杉, 等 (3559)
华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素	黄 辉, 孟 平, 张劲松, 等 (3569)
东北东部 14 个温带树种树干呼吸的种内种间变异	许 飞, 王传宽, 王兴昌 (3581)
RS 和 GIS 支持的洪河地区湿地生态健康评价	王一涵, 周德民, 孙永华 (3590)
应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构	蓝文陆, 王晓辉, 黎明民 (3601)
基于不可替代性的青海省三江源地区保护区功能区划研究	曲 艺, 王秀磊, 栾晓峰, 等 (3609)
融雪时间对大卫马先蒿生长和繁殖特性的影响	陈文年, 吴 彦, 吴 宁, 等 (3621)
巴郎山刺叶高山栎叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 对海拔高度的响应	冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (3629)
宁南半干旱与半干旱偏旱区苜蓿草地土壤水分与养分特征	任晶晶, 李 军, 王学春, 等 (3638)
南岭小坑藜蒴栲栎群落地上部分生物量分配规律	李 根, 周光益, 王 旭, 等 (3650)
放牧对五台山高山、亚高山草甸牧草品质的影响	章异平, 江 源, 刘全儒, 等 (3659)
短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响	羊留冬, 杨 燕, 王根绪, 等 (3668)
锰胁迫对垂序商陆叶片形态结构及叶绿体超微结构的影响	梁文斌, 薛生国, 沈吉红, 等 (3677)
土荆芥挥发油对蚕豆根尖细胞的化感潜力	胡琬君, 马丹炜, 王亚男, 等 (3684)
喀斯特城市杨树人工林微量元素的生物循环	王新凯, 田大伦, 闫文德, 等 (3691)
大兴安岭林区多孔菌的区系组成与种群结构	崔宝凯, 余长军 (3700)
铜绿微囊藻和斜生栅藻非稳态营养盐限制条件下的生长竞争特性	赵晓东, 潘 江, 李金页, 等 (3710)
陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性	王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 等 (3720)
基于模式生物秀丽隐杆线虫的三丁基锡生态毒性评价	王 云, 杨亚楠, 简风雷, 等 (3728)
大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响	肖能文, 谢德燕, 王学霞, 等 (3736)
若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响	吴鹏飞, 杨大星 (3745)
洞庭湖湿地土壤环境及其对退田还湖方式的响应	刘 娜, 王克林, 谢永宏, 等 (3758)
渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟	张社红, 李 军, 王学春, 等 (3767)
黄土丘陵区不同土地利用下土壤释放 N_2O 潜力的影响因素	祁金花, 黄懿梅, 张 宏, 等 (3778)
东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较	宋广树, 孙忠富, 孙 蕾, 等 (3788)
硫对成熟期烤烟叶绿素荧光参数的影响	朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 等 (3796)
高温强光对温州蜜柑叶绿素荧光、D1 蛋白和 Deg1 蛋白酶的影响及 SA 效应	邱翠花, 计玮玮, 郭延平 (3802)
覆膜对土壤-莴苣体系氮素分布和植物吸收的影响	李丽丽, 李非里, 刘秋亚, 等 (3811)
基于空间分带的崇明东滩水鸟适宜生境的时空动态分析	范学忠, 张利权, 袁 琳, 等 (3820)
驯鹿对苔藓植物的选择食用及其生境的物种多样性	冯 超, 白学良 (3830)
北京城市绿地调蓄雨水径流功能及其价值评估	张 彪, 谢高地, 薛 康, 等 (3839)
专论与综述	
冻土甲烷循环微生物群落及其对全球变化的响应	倪永清, 史学伟, 郑晓吉, 等 (3846)
哺乳动物毛被传热性能及其影响因素	郑 雷, 张 伟, 华 彦 (3856)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说: 滇金丝猴是我国特有的世界珍稀动物之一, 属国家一级重点保护物种。仅生活在滇藏交界处的高寒云冷杉林中, 是我国川、滇、黔三种金丝猴中唯一具有和人类一样美丽红唇的金丝猴。手中的松萝是它最喜爱的食物之一。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

刘娜, 王克林, 谢永宏, 杨刚, 段亚锋. 洞庭湖湿地土壤环境及其对退田还湖方式的响应. 生态学报, 2011, 31(13): 3758-3766.

Liu N, Wang K L, Xie Y H, Yang G, Duan Y F. Characteristics of the soil environment of Dongting Lake wetlands and its response to the converting farmland to lake project. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(13): 3758-3766.

洞庭湖湿地土壤环境及其对退田还湖方式的响应

刘 娜^{1,2}, 王克林^{1,*}, 谢永宏^{1,3}, 杨 刚^{1,3}, 段亚锋^{1,2}

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125;

2. 湖南农业大学生物科学技术学院, 长沙 410128; 3. 中国科学院洞庭湖湿地生态研究站, 岳阳 414000)

摘要: 土壤物理、化学和生物学特性是构成土壤环境的主要组分, 综合影响湿地生态系统的调蓄功能和演替恢复。以农田(水田和旱地)和自然湿地系统(苔草地和芦苇地)为对照, 以 3 种退田还湖生态系统(种植杨树、芦苇和自然恢复)为研究对象, 采用主成分和聚类分析, 探索湿地土壤总体环境与生态系统演替过程的相关性。研究结果表明, 土壤总体环境与生态系统恢复有很好的一致性。退田还湖为自然水域后, 土壤环境的恢复接近于自然湿地系统, 在 3 种退田还湖方式中恢复最好; 杨树林地对土壤环境的恢复效果优于人工芦苇地, 在一定程度上对湿地土壤环境有所改善, 特别是对土壤有机质积累、土壤粘粒形成等过程的改善, 但是其土壤环境与苔草等自然湿地发育的土壤仍然有较大差异; 因子重要性分析表明水文情势是控制湿地土壤环境恢复的决定性因素, 其次是人类干扰强度和方式。

关键词: 洞庭湖湿地; 退田还湖; 土壤环境; 生态调蓄

Characteristics of the soil environment of Dongting Lake wetlands and its response to the converting farmland to lake project

LIU Na^{1,2}, WANG Kelin^{1,*}, XIE Yonghong^{1,3}, YANG Gang^{1,3}, DUAN Yafeng^{1,2}

1 Key Laboratory for Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

2 College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

3 Dongting Lake Station for Wetland Ecosystem, Chinese Academy of Sciences, Yueyang 414000, China

Abstract: Long-term monitoring of soil properties is important for management and restoration of the Dongting Lake wetland after implementation of the converting farmland to lake (CFTL) project. Soil physical, chemical and biological properties are important components of the soil environment, and they affect water regulation and vegetation succession of wetland ecosystems. Although there have been reports on changes in soil properties, including soil particle size composition, C, N and P contents, microbial biomass C, N, P, and enzyme activities after CFTL, there is still a lack of information evaluating the ecological consequences of the CFTL project on the soil environment. Therefore, the objectives of this study were to explore correlations between soil environmental conditions and the processes of ecosystem restoration and succession, and to investigate the key factors controlling the recovery of the soil environment in degraded ecosystems of the Dongting Lake wetland. Three types of CFTL projects (poplar plantation, reed plantation, and natural restoration, e. g. aquaculture), farmland (dryland and paddy) and natural wetland ecosystems (reed marsh and *Carex* marsh) were selected, and soil samples were taken at depths of 0—30 cm (topsoil), 30—60 cm (subsoil), and 60—100 cm (deep soil) in November 2006. Soil physical, chemical and biological properties including soil particle size composition (sand, 2.0—0.05 mm; silt, 0.05—0.002 mm; clay, <0.002 mm), soil organic matter (SOM), total nitrogen, total phosphorus, total

基金项目: 中国科学院创新团队项目(KZCX2-YW-T07); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-435)

收稿日期: 2010-12-15; **修订日期:** 2011-04-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: kelin@isa.ac.cn

potassium, and invertase, urease, catalase, and alkaline phosphatase activities were determined. Principal component analysis and cluster analysis were used to interpret the data. Clear relationships between soil environmental conditions and ecosystem restoration were found. The soil environment of the aquiculture ecosystem was very similar to that of the *Carex* marsh, indicating that natural restoration is the best approach to wetland restoration among the three types of CFTL. The soil environment of the poplar plantation was significantly different from that of the natural marsh. However, the poplar plantation performed better in improving the ecosystem function of SOM accumulation and clay particle formation than did the reed plantation. The soil environment of the paddy was very similar to that of the aquiculture ecosystem and the *Carex* marsh, but the soil of the dryland was different from that of the natural wetland, suggesting that the hydrological regime is the most important factor affecting restoration of the soil environment, and that human disturbance is of lesser importance. Importance analysis and one-way analysis of variance based on factor scores both showed that accumulation of clay, TP, TK, and SOM in the topsoil were the most important processes separating the group of relatively dry systems (dryland, poplar and reed plantations, and the reed marsh ecosystem) and the group of submersed ecosystems (*Carex* marsh, aquiculture and paddy ecosystems). This suggests that submersion can improve the capacity of the soil environment to accumulate clay, SOM, P, and K. However, ecosystems with fertilizer input (dryland, and the poplar and reed plantations) possess higher N accumulation and urease enzyme activity, implying that fertilization can help to maintain the supply of N, but on the other hand may increase the risk of N contamination.

Key Words: Dongting Lake wetlands; converting farmland to lake; soil environment; water regulation function

湿地是介于陆地生态系统和水生生态系统之间的过渡带,在全球生态环境中扮演着重要角色。湿地特有的地貌条件和水文特性赋予了其巨大的水资源调蓄功能和独特的土壤环境,具有良好的持水和蓄水能力^[1]。然而近年来强烈的人类扰动,使湿地生态系统土壤的物理结构、C、N、P 等元素的生物地球化学循环和生态系统生产力严重退化^[2-5]。这一系列过程的变化导致湿地生态系统群落结构和功能的更替,同时生态系统的变化又对湿地水文和土壤过程具有重要的反馈作用,但是目前对这种反馈作用的结果及其关键驱动过程和因子还缺乏明确认识^[6]。

洞庭湖具有巨大的生态环境调节功能,作为长江中游最重要的调蓄湖泊,其径流调蓄能力直接关系着长江中下游地区的生态安全。近百年来洞庭湖面积不断萎缩,加之上游严重的水土流失,泥沙淤积扩大,导致其湖泊调蓄功能急剧衰减,洪水、血吸虫和鼠害等自然灾害更加频繁^[7-9]。为了应对洞庭湖区出现的一系列生态环境问题,1998 年始,我国实施了“退田还湖”工程。工程实施后,洞庭湖区土地利用结构和方式发生了重大变化,湖泊各项生态功能也得到了一定提升。较多学者对退田还湖后,洞庭湖湿地的洪涝调蓄能力^[10]、土壤养分的恢复^[9,11]、土壤物理性质的变化^[12]、土壤微生物和土壤酶活性特征^[13-14]等进行了研究。但缺乏对各生态系统类型泥沙淤积及相关土壤过程进行综合研究,难以利用湿地类型间调蓄能力和物质循环过程的差异调整湿地整体的生态格局,有效协调湿地生态功能和物质产出之间的平衡。

本文通过对湿地土壤物理、化学和生物学性质的综合测度,分析土壤环境对不同“退田还湖”方式的响应,揭示土壤环境演变过程中不同组分之间的关系,探讨湿地生态系统恢复的关键影响过程和调控因子。以期对洞庭湖湿地景观结构优化和生态功能管理提供科学依据和数据支撑。

1 研究区概括与研究方法

1.1 研究区概括

研究的 3 个退田还湖恢复区从 1998 年开始实施,包括杨树人工林、人工芦苇和自然恢复(水产养殖)3 种恢复方式,并以两个典型的自然湿地生态系统(苔草湿地和芦苇湿地)和农田生态系统(水田和旱地)为对照进行土壤环境恢复评价。3 个恢复区分别为小集成、官垸和青山垸。其中,小集成(29°41' N, 112°56' E)以种植杨树为恢复方式,即在居民迁至垸外安置后,退耕并栽植大量的杨树,形成以杨树为建群种的人工林系统。

官垵(28°28' N, 112°03' E)退田还湖后与外湖直接相连,受洪水的影响较大,以种植芦苇为恢复方式,建群种为芦苇。青山垵(28°51' N, 112°12' E)以形成自然湖泊同时进行“绿色”水产养殖(如不施肥,不投饵料等)为恢复方式,垵垵设有水位控制闸,一般在春末夏初开闸蓄水,期间关闭闸门维持水位,冬初开闸放水收获水产品^[9]。

1.2 取样方法

2006 年 11 月,依据典型性和代表性原则,在每个退田还湖模式垵垵设置 3—5 个样地(10 m×10 m),每块样地用 Eijkelkamp 圆凿钻和活塞取样器(直径 3 cm)随机取 100 cm 长土柱 3 条,按表层(0—30 cm)、次表层(30—60 cm)、底层(60—100 cm)分层。同时在不同退田还湖模式相邻垵垵的水田、旱田和典型苔草、芦苇自然湿地系统设置对照样地,分别形成对照。其中苔草样地以短尖苔草(*Carex brevicuspis*)和红穗苔草(*Carex argyi*)为优势种。农田和自然湿地生态系统样地的取样方法与退田还湖区样地相同。用 GPS 对每个样点(地块)准确定位,记录经纬度及海拔高度。将同一样地分层后的土样混合后用封口袋装好,带回实验室。除去新鲜植物残体及土壤动物,风干、过筛,测定土壤机械组成、化学性质和酶活性。

1.3 分析测定

本研究测定了包括土壤机械组成、土壤有机质(SOM)、全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)和蔗糖酶(Invertase)、尿酶(Urease)、碱性磷酸酶(Phosphatase)及过氧化氢酶(Catalase)等在内的土壤物理、化学和生物学指标。其中,土壤机械组成采用吸管法测定,分为砂粒(2.0—0.05 mm)、粉粒(0.05—0.002 mm)和粘粒(<0.002 mm),SOM 采用重铬酸钾-外加热法测定,TN 采用半微量开氏定氮法测定,TP 采用氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法测定,TK 采用氢氧化钠碱熔—火焰光度法测定。土壤蔗糖酶活性采用硫代硫酸钠滴定法测定,以消耗 0.1 mol/L Na₂S₂O₃ 溶液量(37℃, 24 h)表示;尿酶活性采用奈氏比色法测定(以 NH₄⁺-N 计);碱性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定(以酚计);过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法(以 KMnO₄ 计)^[15];全部分析测试过程在中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态过程重点实验室完成。

1.4 数据分析

利用主成分分析、One-Way ANOVA 分析和两步聚类分析(Twostep Cluster Analysis)探讨湿地土壤总体环境与生态系统演替过程之间的相关性。所有数据采用 SPSS 11.5 和 Microsoft Excel 2003 软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同生态系统类型土壤性质的差异

如表 1 所示,苔草生态系统土壤砂粒含量在各层次均显著高于其他系统,而粉粒含量显著低于其他生态系统。水产养殖、苔草和水田等淹水生态系统土壤粘粒和 SOM 含量显著高于其他类型,说明长期淹水有利于粘粒淤积和 SOM 的积累。杨树、芦苇等多年生深根系植物,由于每年大量死根的腐解还土,其 SOM 的垂直分布比较均一,根系可能是这类系统 SOM 的最大来源。土壤 TN 和 TP 含量表现为人工生态系统(人工芦苇、水田和旱地)高于自然生态系统(苔草和自然芦苇),主要与施肥投入有关。各系统类型土壤蔗糖酶、尿酶和磷酸酶活性在土壤剖面的活性具有明显的变化规律,表现为随土层加深而降低。苔草和水田等淹水生态系统表层土壤蔗糖酶和磷酸酶活性显著高于其他类型,而脲酶活性的变化则正好相反,说明相对干燥的水分环境有利于尿酶活性的发挥。土壤过氧化氢酶活性在杨树和人工芦苇地最高,水产养殖、水田、自然芦苇和旱地次之,苔草系统最低。

2.2 土壤性质的主成分分析

利用主成分分析对各层次土壤指标进行主成分提取,经最大方差旋转后选取 7 个新的因子变量(F1—F7)。新提取因子变量的方差累积贡献率达到原始方差的 85.8%,说明新提取的变量能够反映原始数据的方差信息。如表 2 所示,F1 因子主要由土壤各层次砂粒和粉粒贡献,反映了土壤的物理结构特征。粉粒和砂粒的载荷正负相异,说明粉粒和砂粒在土壤各层次呈负相关。F2 因子由土壤各层次粘粒、磷酸酶活性和 TP 贡献,反映了土壤粘粒含量及土壤的供 P 能力。F3 因子提取了土壤过氧化氢酶活性及次表层和底层 SOM 的变

表 1 不同生态系统类型土壤性质的差异分析

Table 1 Comparing differences in soil properties of different wetland ecosystems													
土壤层次 /cm	生态系统类型 Ecosystem types	砂粒 Sand/%	粉粒 Silt/%	粘粒 Clay/%	SOM /(g/kg)	TN /(g/kg)	TP /(g/kg)	TK /(g/kg)	蔗糖酶 Invertase /(mg·g ⁻¹ , (24h) ⁻¹)	尿酶 Urease /(mg·g ⁻¹ , (24h) ⁻¹)	过氧化氢酶 Catalase /(mL·g ⁻¹ , (20m) ⁻¹)	碱性磷酸酶 Phosphatase /(mg·g ⁻¹ , (24h) ⁻¹)	
0—30	杨树	24.2±17.0 ab	64.5±13.5 b	11.3±6.9 a	13.9±2.8 a	4.12±3.35 ab	0.73±0.01 bc	22.4±1.4 b	2.97±1.00 a	0.32±0.19 bc	2.47±0.34 d	1.96±0.95 a	
	人工芦苇	29.4±9.7 b	61.9±6.9 b	8.6±3.1 a	14.7±2.3 ab	6.31±3.47 b	0.79±0.05 c	23±1.4 b	1.69±0.93 a	0.23±0.2 ab	2.6±0.15 d	1.49±0.57 a	
	水产养殖	14.7±8.1 a	66.6±5.2 b	18.7±3.3 b	16.4±2.9 ab	2.49±1.1 a	0.56±0.09 a	26±0.8 c	2.39±1.06 a	0.17±0.06 ab	2.37±0.38 cd	4.63±1.54 a	
	自然芦苇	23.7±5.9 a	68.7±5.6 b	7.6±4.0 a	13.5±1.8 a	2.33±1.04 a	0.66±0.08 b	19.5±1.4 a	2.4±0.4 a	0.23±0.07 ab	2.07±0.22 b	1.96±0.44 a	
	苔草	46.2±10.3 c	35.7±4.4 a	18.1±9.6 b	18.7±5.0 b	2.96±0.72 a	0.55±0.09 a	23.9±3.7 b	4.27±1.33 b	0.1±0.03 a	1.59±0.27 a	13.81±7.65 c	
	水田	28.5±5.6 b	59.7±3.9 b	11.9±4.1 a	23±2.8 c	5.54±3.15 ab	0.68±0.11 b	23.4±3.1 b	4.39±0.93 b	0.23±0.13 ab	2.12±0.49 bc	8.92±4.46 b	
30—60	旱地	22.3±11.9 ab	65.7±8.8 b	12±5.3 a	14.8±4.5 ab	5.56±3.12 ab	0.7±0.09 b	22±1.9 b	2.8±1.36 a	0.37±0.15 c	1.95±0.31 b	3.24±2.27 a	
	杨树	31.4±10.5 a	62.4±8.5 b	6.2±2.8 a	10.9±2.1 ab	2.61±1.54 a	0.69±0.07 c	21.9±1.5	0.88±0.63 ab	0.07±0.05 ab	2.2±0.22 b	0.82±0.12 a	
	人工芦苇	29.5±8.5 a	62.3±6.4 b	8.3±2.3 ab	13.6±3.4 ab	6.19±3.54 b	0.77±0.07 d	22.6±1.5	0.52±0.32 a	0.08±0.06 b	2.66±0.08 c	1.00±0.51 a	
	水产养殖	18.5±7.3 a	65±5.9 b	16.5±2.9 c	12.7±3.0 ab	1.9±0.74 a	0.51±0.05 b	25.9±0.8	0.94±0.38 ab	0.08±0.05 b	2.37±0.32 bc	1.17±0.16 a	
	自然芦苇	24.7±15.6 a	67.3±12.6 b	8±3.1 ab	13±4.2 ab	1.54±0.56 a	0.68±0.06 c	20.8±1.1	0.77±0.27 a	0.05±0.02 ab	2.09±0.44 b	1.11±0.19 a	
	苔草	56.7±24.6 b	34.5±16.5 a	8.9±8.4 ab	8.5±4.7 a	1.91±0.3 a	0.34±0.13 a	26.3±3.1	0.76±0.5 a	0.03±0.01 a	0.38±0.29 a	4.11±3.51 c	
60—100	水田	18.3±7.3 a	67.9±2.9 b	13.9±8.1 bc	15.3±6.5 b	4.18±3.49 a	0.63±0.07 c	23.8±2.9	1.46±0.96 b	0.05±0.02 ab	1.89±0.65 b	1.94±0.36 a	
	旱地	24.7±13.4 a	65.8±10.4 b	9.5±4.5 ab	10.6±3.4 ab	3.81±1.9 a	0.62±0.11 c	22.2±2.3	0.92±0.29 ab	0.07±0.02 ab	2.06±0.63 b	0.92±0.51 a	
	杨树	22.2±7.0 a	68.7±5.4 b	9.2±2.6 a	11.8±3.3 b	2.44±1.5 ab	0.72±0.06 d	22±2.2	0.61±0.46 ab	0.07±0.04 b	2.34±0.29 bc	0.80±0.15 a	
	人工芦苇	24.5±6.7 a	67.7±5.5 b	7.8±2.1 a	13.7±3.9 b	3.97±2.62 b	0.79±0.09 c	23.4±0.9	0.43±0.23 a	0.06±0.06 ab	2.73±0.1 c	1.00±0.47 a	
	水产养殖	17.6±9.7 a	65.7±5.6 b	16.8±4.7 b	12.5±3.5 b	1.75±0.88 a	0.51±0.04 b	25±0.8	1.16±0.41 b	0.08±0.04 b	2.46±0.24 bc	1.09±0.29 a	
	自然芦苇	19±5.4 a	73.2±3.5 b	7.8±3.2 a	12.6±4.0 b	1.41±0.38 a	0.7±0.05 d	20.9±0.5	0.83±0.59 ab	0.04±0.01 ab	2.01±0.38 b	0.86±0.19 a	
	苔草	61±25.8 b	30.6±19.3 a	8.5±7.2 a	5.6±2.8 a	1.34±0.28 a	0.22±0.06 a	29.3±7.4	0.67±0.51 ab	0.02±0.01 a	0.27±0.2 a	3.3±3.65 b	
	水田	18.7±6.1 a	68.3±6.5 b	13.1±5.3 ab	12.7±5 b	3.07±3.21 ab	0.58±0.04 c	23.1±2.3	1.01±0.49 ab	0.02±0.01 a	1.97±0.77 b	1.06±0.15 a	
	旱地	26.7±13.3 a	64.6±10.5 b	8.7±4.5 a	9.4±3.8 b	2.67±1.35 ab	0.6±0.06 c	22±2.3	0.63±0.33 ab	0.05±0.02 ab	2.1±0.57 b	0.66±0.28 a	

不同小写字母表示生态系统类型间土壤性质差异显著 ($P < 0.05$)

量信息。过氧化氢酶参与土壤物质和能量的转化,具有分解土壤中对植物有害的过氧化氢的作用,在一定程度上也反映土壤中腐殖质的再合成强度^[16]。可见 F3 反映了底层土壤对过氧化氢的分解能力及 SOM 的积累强度。F4 因子提取了 TN 的变量信息,反映了土壤 N 的积累和供应能力。F5 因子提取了土壤 TK 的变量信息,反映了土壤 K 素的供应能力。F6 因子提取了土壤脲酶的活性特征,反映了土壤水解尿素的能力。值得注意的是由于湿地土壤长期处于还原环境,土壤中氨的积累相对较多,对脲酶活性有抑制作用,因而 TN 和脲酶活性并没有明显相关性,这一点与刘存岐等^[17]的研究不同。F7 因子主要由蔗糖酶活性和表层 SOM 贡献。蔗糖酶是参与湿地碳循环的重要酶类,能水解土壤中的碳水化合物,为微生物和植物提供营养来源,与土壤碳循环有密切关系^[18]。蔗糖酶活性仅与表层 SOM 相关,说明蔗糖酶对表层土壤 C 循环具有较大贡献,因而 F7 主要反映了表层土壤有机 C 的积累和周转能力。

表 2 土壤性质主成分载荷矩阵

Table 2 Factor loadings of the Principal Component Analysis

土壤剖面 Soil profile	土壤性质 Soil properties	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
0—30cm	砂粒 Sand	-0.727	-0.073	-0.143	-0.133	-0.199	-0.436	-0.027
	粉粒 Silt	0.712	-0.364	0.112	0.194	0.095	0.380	0.014
	粘粒 Clay	0.146	0.837	0.082	-0.094	0.228	0.178	0.028
	SOM	0.026	0.474	0.055	0.242	-0.097	-0.103	0.693
	TN	0.050	-0.037	0.014	0.920	-0.030	0.065	0.035
	TP	-0.041	-0.412	0.432	0.533	-0.450	0.103	0.097
	TK	0.050	0.425	0.191	0.065	0.819	0.215	-0.005
	蔗糖酶 Invertase	-0.005	0.401	-0.574	0.135	-0.175	0.148	0.534
	脲酶 Urease	0.286	-0.247	-0.233	0.342	-0.166	0.664	0.202
	过氧化氢酶 Catalase	0.175	-0.139	0.696	0.218	-0.071	0.424	0.004
	磷酸酶 Phosphatase	-0.128	0.788	-0.448	-0.121	-0.090	-0.196	0.141
30—60cm	砂粒 Sand	-0.897	-0.219	-0.167	0.036	0.092	-0.126	-0.029
	粉粒 Silt	0.921	-0.014	0.094	0.062	-0.164	0.143	0.004
	粘粒 Clay	0.448	0.673	0.266	-0.251	0.117	0.033	0.076
	SOM	0.229	0.057	0.680	0.291	-0.097	-0.241	0.413
	TN	0.041	-0.055	0.221	0.927	0.060	-0.049	-0.017
	TP	0.202	-0.725	0.468	0.281	-0.154	-0.127	-0.082
	TK	-0.171	-0.058	-0.094	-0.047	0.943	-0.006	-0.056
	蔗糖酶 Invertase	0.047	-0.096	-0.084	0.199	-0.049	0.233	0.799
	脲酶 Urease	0.215	-0.026	0.094	0.025	0.050	0.873	0.051
	过氧化氢酶 Catalase	0.468	-0.357	0.727	0.062	-0.054	0.120	-0.018
	磷酸酶 Phosphatase	-0.095	0.804	-0.295	0.124	-0.034	-0.245	-0.038
60—100cm	砂粒 Sand	-0.885	-0.056	-0.242	0.029	0.204	-0.066	-0.011
	粉粒 Silt	0.865	-0.138	0.216	0.079	-0.272	0.028	-0.023
	粘粒 Clay	0.459	0.581	0.185	-0.322	0.101	0.141	0.102
	SOM	0.388	-0.015	0.720	0.272	-0.083	-0.258	0.209
	TN	0.069	-0.087	0.173	0.886	0.026	-0.016	0.157
	TP	0.394	-0.640	0.435	0.248	-0.272	-0.017	-0.181
	TK	-0.317	-0.125	-0.166	0.032	0.886	-0.060	-0.081
	蔗糖酶 Invertase	-0.062	-0.080	0.329	-0.298	0.026	-0.161	0.730
	脲酶 Urease	0.194	0.057	0.012	-0.200	0.068	0.882	-0.090
	过氧化氢酶 Catalase	0.480	-0.302	0.753	0.084	-0.020	0.172	-0.026
	磷酸酶 Phosphatase	-0.043	0.847	-0.204	0.095	-0.228	-0.139	-0.124

2.3 不同生态系统类型因子得分的差异

利用 One-Way ANOVA 分析了不同退田还湖方式、自然湿地和耕地之间因子得分的差异。如图 1 所示, 苔草生态系统 F1 和 F3 因子得分显著低于其他 6 种类型, 而 F2 因子得分显著高于其他类型, 说明苔草系统土壤具有较强的砂粒、粘粒积累能力, 而粉粒和土壤底层 SOM 的积累能力较小。自然芦苇的 F2 和 F5 因子得分相对较小, 说明其土壤的 P、K 等元素的积累和供应能力较差, 主要与每年冬季芦苇和收割, 同时缺乏投入有关。与自然芦苇不同, 人工芦苇 F3 和 F4 的因子得分高于其他类型, 而 F7 因子显著低于其他类型, 说明人工芦苇土壤的 N 素供应和底层 SOM 的积累能力较强, 而表层土壤有机 C 的积累和周转能力相对较差, 这一点与杨刚等^[9]的研究一致, 表明施肥投入有利于人工生态系统养分循环的维持和平衡。水产养殖生态系统 F5 因子得分相对较高, 而 F4 因子得分低于其他类型, 说明水产养殖系统土壤 K 库较大而 N 素的淋失比较严重。水田生态系统 F7 因子得分显著高于其他类型, 而 F6 因子显著低于其他类型, 说明水田表层土壤有机 C 的积累和周转能力较强而水解有机 N 的能力较弱, 这也是水田土壤 SOM 和 TN 含量较高的原因之一。

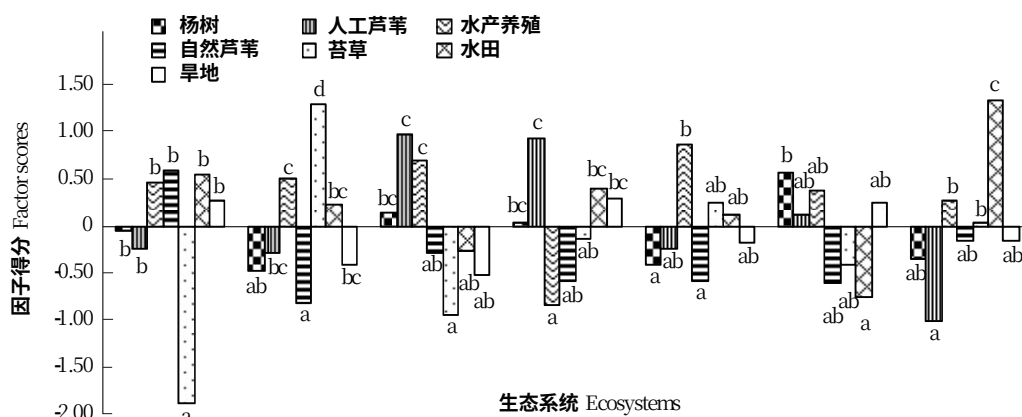


图 1 不同生态系统类型因子得分的差异分析

Fig. 1 Comparing differences in factor scores of different wetland ecosystems

2.4 土壤环境的聚类分析

如图 2 所示, 根据 AIC 判别准则, 7 种生态系统被分为 3 个区组。其中, 旱地、人工芦苇、杨树和自然芦苇 4 种生态类型被聚在第 1 类。旱地和人工芦苇在聚类轴上的排列比较接近, 杨树和自然芦苇比较接近。从这 4 类生态系统的特点来看, 都不存在土壤长期淹水, 属于土壤环境相对干旱的生态类型。由图 3 可知, F2、F5 和 F7 三个因子变量对第 1 聚类组最重要, 说明第 1 聚类组的 4 个生态系统类型在土壤质地(粘粒含量)、供 P 能力、K 库大小以及表层有机 C 周转能力等 4 个方面比较相似, 均小于其他 3 个生态系统类型(图 1)。水产养殖和水田生态系统被聚为第 2 类, 这两类都属于持续淹水的生态系统类型, 土壤长期处于厌氧环境, 在土壤质地(土壤粉粒和粘粒含量)、K 库大小、供 P 能力以及表层有机 C 周转能力等相对较高(图 3)。苔草生态系统被单独聚为一类, 说明其土壤整体环境仍然有别于其它生态系统, 具有较强的砂粒、粘粒积累和 P、K 供应能力。苔草是人类干扰最小的自然湿地类型, 代表了处于演替中的典型的洞庭湖湿地土壤环境。从聚类轴聚类结果的排列来看, 土壤淹水对土壤环境的聚类结果影响最大, 其次是人类干扰强度和方式。旱地和人工芦苇干扰最大, 被聚在分类轴的最顶端。退田还湖后, 虽然人工芦苇系统在底层土壤 SOM 的积累和对过氧化氢的解毒能力方面与旱地有显著差异(图 1), 但其整体土壤

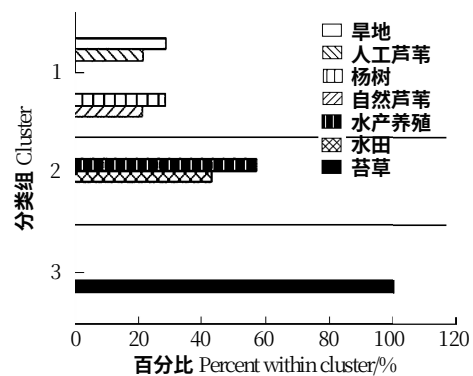


图 2 基于土壤性质的生态系统聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of ecosystems based on soil properties

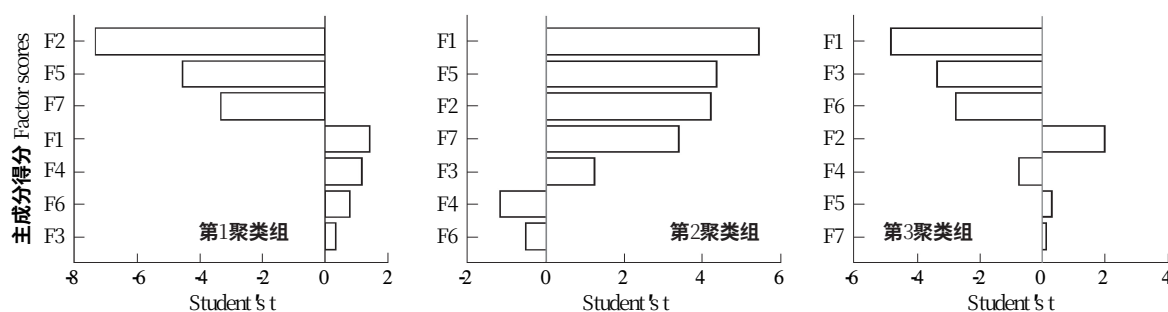


图3 各分类组因子变量的重要性分析

Fig. 3 Factor scores importance of the three cluster classes

环境仍然与旱地相似。杨树和自然芦苇相对干扰较小,其聚类结果也较接近。水田人为干扰虽然也较大,但由于长期淹水,其土壤环境反而与水产养殖和苔草生态系统更接近。

3 讨论

泥沙淤积决定了最初的植被类型和演变模式,但植被类型也控制着泥沙淤积的速度和方向。不同植物“捕沙”能力不同,植物冠层下径流流速减少可达 50%^[19-21],芦苇、海三棱藨草的淤积速率分别是裸滩的 9.3 和 7.7 倍,具有明显的促淤效应^[22]。退田还湖在一定程度上有利于土壤物理结构的恢复,人工芦苇、水产养殖和杨树等类型土壤的砂粒和粘粒含量明显高于旱地,在聚类轴的排序上也更接近于自然生态系统,特别是水产养殖系统,显著优于杨树和芦苇生态系统。可见在水文条件允许的地段,优先恢复为自然湖泊更有助于土壤调蓄功能的恢复。杨树生态系统虽然在土壤物理结构的恢复上不及水产养殖系统,但是其在整体土壤环境的恢复上明显优于旱地和人工芦苇,而且种植杨树在当地具有明显的经济利益,因而在保障洞庭湖区防洪安全的前提下,在较高洲滩种植杨树可能是协调经济发展与调蓄功能矛盾的有效方式。

区域小气候趋于暖干是湿地退化的主要自然因素,而人类活动(垦殖、疏排水、农业肥料和农药污染)则加剧了湿地的退化。在本研究中,旱地、人工芦苇和杨树生态系统土壤粘粒、TP、TK 和表层 SOM 的积累能力明显低于苔草、水田和人工养殖生态系统。SOM 与土壤粘粒含量显著相关,土壤粘粒含量高,土壤 SOM 难分解,同时高的粘粒含量影响土壤微生物 C、N、P 的周转,有利于微生物量 C、N、P 积累^[11]。而环境胁迫和人为干扰会引起原生沼泽湿地氧化—还原条件的变化,促使土壤微生物增殖并激发土壤酶活性,改变湿地正常养分循环过程。外源营养元素的输入也会影响湿地养分循环过程。非淹水条件下外源氮输入后土壤 CO₂ 释放速度明显增大,其枯落物和 SOM 矿化分解速率加快。淹水条件下,外源 N 的输入会导致 CO₂ 排放降低,抑制土壤 SOM 的矿化^[1]。这也是本研究中旱地、杨树林地以及人工芦苇地土壤 N 的积累高于苔草和水产养殖生态系统,而 SOM 积累偏低的主要原因。

4 结论

(1) 杨树、人工芦苇等退田还湖方式在一定程度上对湿地土壤环境有所改善,特别是对 SOM 积累,土壤粘粒形成等过程的改善。杨树林地对土壤环境的恢复效果优于人工芦苇地,但是其土壤环境与苔草等自然湿地发育的土壤仍然有较大差异。

(2) 恢复为自然水域后,水产养殖系统的土壤环境更接近于自然湿地系统,在 3 种退田还湖方式中恢复效果最好。水田由于长期淹水,而且具有一定的人为投入,其土壤环境也最接近于自然湿地系统,但是,水田的输水排水完全由人为控制,其调蓄功能有别于自然湿地系统。

(3) 土壤淹水对土壤环境的聚类结果影响最大,其次是人类干扰强度和方式。氧化-还原条件和较小的人类扰动使得苔草生态系统在土壤的砂粒、粘粒、表层 SOM 的积累、TP 和 TK 的供应能力等方面与其他生态系统有较大差别。

References:

- [1] Sun H L ed. Integrated Study of Ecosystem. Beijing: Science Press, 2009: 127-151.
- [2] Zhang J B, Song C C, Yang W Y. Effects of cultivation on soil microbiological properties in a freshwater marsh soil in Northeast China. *Soil & Tillage Research*, 2007, 93: 231-235.
- [3] Wang Y, Zhang J Y, Zhang X C, Zhang Y L. Responses of soil nutrients to wetland degradation in Mu Us Sandy land. *Acta Agrestia Sinica*, 2009, 17(2): 250-254.
- [4] Zhang K, Tian K, Lu X G, Luo S, Li J Y, Li N Y. Impacts of tourism on water storage and regulation of meadow soil in Napahai lakeshore wetlands. *Advances in Water Science*, 2009, 20(6): 800-805.
- [5] Zhang S Q, Zhuang Y M, Wang A H, He Y F. The spatial-temporal dynamics of marsh in the Sanjiang Plain. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57: 94-100.
- [6] Chen Y Y. Wetland functions and its research directions. *China Basic Science*, 2002, (1): 17-19.
- [7] Xie Y H, Wang K L, Ren B, Yang G, Li F. Evolution, problems and protection measures of ecological environments in Dongting Lake area. *Research of Agricultural modernization*, 2007, 28(6): 677-681.
- [8] Huang J L. The area change and succession of Dongtinghu wetland. *Geographical Research*, 1999, 18(3): 297-304.
- [9] Yang G, Xie Y H, Chen X S, Li F, Ren B, Qin X Y. Changes of soil particle composition and chemical characteristics after "returning farmland to lake" in the Dongting Lake area. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(12): 6392-6400.
- [10] Min Q, Liu Y, Ma D G. Impact of restoring lake by stopping cultivation on flood control capacity of Poyang Lake. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2006, 15(5): 574-578.
- [11] Peng P Q, Zhang W J, Tong C L, Qiu S J, Zhang W C. Soil C, N and P contents and their relationships with soil physical properties in wetlands of Dongting Lake floodplain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(10): 1872-1878.
- [12] Wang Y R, Zhou J X, Zhou Z X, Sun Q X. Different land use patterns under converting polders back in wetlands in the Dongting Lake region. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2010, 29(3): 306-311.
- [13] Peng P Q, Wu J S, Huang D Y, Wang H L, Tang G Y, Huang W S, Zhu Q H. Microbial biomass C, N, P of farmland soil in different land uses and cropping systems in Dongting Lake region. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2261-2267.
- [14] Ren B, Yang G, Xie Y H, Huang J S, Luo W B, Qin X Y, Li F, Hou Z Y. Effects of land use patterns on enzyme activity in soils in the Dongting Lake Area. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2009, 25(4): 8-11.
- [15] Guan S Y. *Soil Enzymology and Research Method*. Beijing: Agricultural Press, 1986: 274-323.
- [16] Yang Z Y, Li G, Yao C, Wang G, Qin P. Comparative studies on the soil enzymic activities of two plant communities in Dafeng ecological engineering wetland of Northern Jiangsu. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(7): 3649-3657.
- [17] Liu C Q, Lu J J, Li H P. The landward changes of soil enzyme activities in a tidal flat wetland of the Yangtze River estuary and correlations with physico-chemical factors. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9): 3663-3668.
- [18] Wan Z M, Song C C, Guo Y D, Wang L, Huang J Y. Effects of water gradient on soil enzyme activity and active organic carbon composition under *Carex lasiocarpa* marsh. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(12): 5980-5986.
- [19] Scoffin T P. The trapping and binding of subtidal carbonate sediments by marine vegetation in Bimini Lagoon, Bahamas. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1970, 40: 249-273.
- [20] Shi Z. Velocity profile of unidirectional steady current in a saltmarsh canopy. *Journal of Sediment Research*, 1997, (3): 82-88.
- [21] Thomas P, Kozerski H P. Particle trapping on leaves and on the bottom in simulated submerged plant stands. *Hydrobiologia*, 2003, 506: 575-581.
- [22] Yang S L, Shi Z, Zhao Q Y. Influence of tidal marsh vegetations on hydrodynamics and sedimentation in the Changjiang Estuary. *Acta Oceanologica Sinica*, 2001, 23(4): 75-80.

参考文献:

- [1] 孙鸿烈主编. 生态系统综合研究. 北京: 科学出版社, 2009: 127-151.
- [3] 王莹, 郑纪勇, 张兴昌, 张应龙. 毛乌素沙区土壤养分对湿地退化的响应. *草地学报*, 2009, 17(2): 250-254.
- [4] 张昆, 田昆, 吕宪国, 罗姗, 李吉玉, 李星云. 旅游干扰对纳帕海湖滨草甸湿地土壤水文调蓄功能的影响. *水科学进展*, 2009, 20(6): 800-805.
- [5] 张树清, 庄毓敏, 汪爱华, 何颜芬. 三江平原沼泽湿地时空动态特征. *地理学报*, 2002, 57: 94-100.
- [6] 陈宜瑜. 湿地功能与湿地科学研究的方向. *中国基础科学*, 2002, (1): 17-19.

- [7] 谢永宏, 王克林, 任勃, 杨刚, 李峰. 洞庭湖生态环境的演变、问题及保护措施. 农业现代化研究, 2007, 28(6): 677-681.
- [8] 黄进良. 洞庭湖湿地的面积变化与演替. 地理研究, 1999, 18(3): 297-304.
- [9] 杨刚, 谢永宏, 陈心胜, 李峰, 任勃, 秦先燕. 退田还湖后洞庭湖区土壤颗粒组成和化学特性的变化. 生态学报, 2009, 29(12): 6392-6400.
- [10] 闵骞, 刘影, 马定国. 退田还湖对鄱阳湖洪水调控能力的影响. 长江流域资源与环境, 2006, 15(5): 574-578.
- [11] 彭佩钦, 张文菊, 童成立, 仇少君, 张文超. 洞庭湖湿地土壤碳、氮、磷及其与土壤物理性状的关系. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1872-1878.
- [12] 王月容, 周金星, 周志翔, 孙启祥. 不同土地利用方式下洞庭湖退田还湖区土壤物理特性. 华中农业大学学报, 2010, 29(3): 306-311.
- [13] 彭佩钦, 吴金水, 黄道友, 汪汉林, 唐国勇, 黄伟生, 朱奇宏. 洞庭湖区不同利用方式对土壤微生物生物量碳氮磷的影响. 生态学报, 2006, 26(7): 2261-2267.
- [14] 任勃, 杨刚, 谢永宏, 黄继山, 罗文泊, 秦先燕, 李锋, 侯志勇. 洞庭湖区不同土地利用方式对土壤酶活性的影响. 生态与农村环境学报, 2009, 25(4): 8-11.
- [15] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986: 274-323.
- [16] 杨志勇, 李刚, 姚成, 王光, 钦佩. 苏北大丰生态工程区两种植物群落土壤酶活性比较. 生态学报, 2009, 29(7): 3649-3657.
- [17] 刘存岐, 陆健健, 李贺鹏. 长江口潮滩湿地土壤酶活性的陆向变化以及与环境因子的相关性. 生态学报, 2007, 27(9): 3663-3668.
- [18] 万忠梅, 宋长春, 郭跃东, 王丽, 黄靖宇. 毛茛草湿地土壤酶活性及活性有机碳组分对水分梯度的响应. 生态学报, 2008, 28(12): 5980-5986.
- [20] 时钟. 海岸盐沼植物单向恒定水流流速剖面. 泥沙研究, 1997, (3): 82-88.
- [22] 杨世伦, 时钟, 赵庆英. 长江口潮沼植物对动力沉积过程的影响. 海洋学报, 2001, 23(4): 75-80.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 13 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Spatiotemporal variation of plant community aspections in the north-subtropical zone of eastern China	CHEN Xiaoqiu, QI Xiaoran, A Shan, et al (3559)
Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China	HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3569)
Intra- and inter-specific variations in stem respiration for 14 temperate tree species in northeastern China	XU Fei, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (3581)
Assessment of the ecological health of wetlands in Honghe supported by RS and GIS techniques	WANG Yihan, ZHOU Demin, SUN Yonghua (3590)
Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures	LAN Wenlu, WANG Xiaohui, LI Mingmin (3601)
Irreplaceability-based function zoning of nature reserves in the Three Rivers Headwater Region of Qinghai Province	QU Yi, WANG Xiulei, LUAN Xiaofeng, et al (3609)
Effects of snowmelt timing on individual growth and reproduction of <i>Pedicularis davidii</i> var. <i>pentodon</i> on the eastern Tibetan Plateau	CHEN Wennian, WU Yan, WU Ning, et al (3621)
Response of foliar $\delta^{13}\text{C}$ of <i>Quercus spinosa</i> to altitudinal gradients	FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (3629)
Soil water and nutrient characteristics of alfalfa grasslands at semi-arid and semi-arid prone to drought areas in southern Ningxia	REN Jingjing, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3638)
Aboveground biomass of natural <i>Castanopsis fissa</i> community at the Xiaokeng of NanLing Mountain, Southern China	LI Gen, ZHOU Guangyi, WANG Xu, et al (3650)
Impacts of grazing on herbage quality of the alpine and subalpine meadows within Wutai Mountain	ZHANG Yiping, JIANG Yuan, LIU Quanru, et al (3659)
Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of <i>Abies fabii</i> (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain	YANG Liudong, YANG Yan, WANG Genxu, et al (3668)
Manganese stress on morphological structures of leaf and ultrastructures of chloroplast of a manganese hyperaccumulator, <i>Phytolacca americana</i>	LIANG Wenbin, XUE Shengguo, SHEN Jihong, et al (3677)
Allelopathic potential of volatile oil from <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. on root tip cells of <i>Vicia faba</i>	HU WanJun, MA Danwei, WANG Yanan, et al (3684)
Contents and cycling of microelements in Karst urban poplar plantations	WANG Xinkai, TIAN Dalun, YAN Wende, et al (3691)
Fungal flora and population structure of polypores in the Great Xingan Mountains	CUI Baokai, YU Changjun (3700)
Growth competition characteristics of <i>Microcystis aeruginosa</i> Kutz and <i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kutz under non-steady-state nutrient limitation	ZHAO Xiaodong, PAN Jiang, LI Jinye, et al (3710)
The characters of salt-tolerance at different growth stages in cotton	WANG Junjuan, WANG Delong, FAN Weili, et al (3720)
Assessment of tributyltin ecotoxicity using a model animal nematode <i>Caenorhabditis elegans</i>	WANG Yun, YANG Yanan, JIAN Fenglei, et al (3728)
Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield	XIAO Nengwen, XIE Deyan, WANG Xuexia, et al (3736)
Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau	WU Pengfei, YANG Daxing (3745)
Characteristics of the soil environment of Dongting Lake wetlands and its response to the converting farmland to lake project	LIU Na, WANG Kelin, XIE Yonghong, et al (3758)
Modeling the changes of yield and deep soil water in apple orchards in Weibei rainfed highland	ZHANG Shehong, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3767)
Potential soil N_2O emissions and its controlling factors under different land use patterns on hilly-gully loess plateau	QI Jinhua, HUANG Yimei, ZHANG Hong, et al (3778)
Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China	SONG Guangshu, SUN Zhongfu, SUN Lei, et al (3788)
Effect of sulfur on chlorophyll fluorescence of flue-cured tobacco at maturation stage	ZHU Yinghua, TU Naimei, XIAO Hanqian, et al (3796)
Effects of high temperature and strong light on chlorophyll fluorescence, the D1 protein, and Deg1 protease in Satsuma mandarin, and the protective role of salicylic acid	QIU Cuihua, JI Weiwei, GUO Yanping (3802)
Effect of plastic film mulching on the distribution and translocation of nitrogen in soil-lettuce system	LI Lili, LI Feili, LIU Qiuya, et al (3811)
An analysis on spatio-temporal dynamics of suitable habitats for waterbirds based on spatial zonation at Chongming Dongtan, Shanghai	FAN Xuezhong, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (3820)
The bryophyte consumed by reindeers and species diversity of bryophyte in reindeer habitats	FENG Chao, BAI Xueliang (3830)
Evaluation of rainwater runoff storage by urban green spaces in Beijing	ZHANG Biao, XIE Gaodi, XUE Kang, et al (3839)
Review and Monograph	
Advances in methane-cycling microbial communities of permafrost and their response to global change	NI Yongqing, SHI Xuwei, ZHENG Xiaoji, et al (3846)
Heat transfer property of mammal pelage and its influencing factors	ZHENG Lei, ZHANG Wei, HUA Yan (3856)

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 13 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 13 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		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元