

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

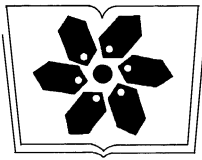
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 24 期 Vol.31 No.24 **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 24 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

柑橘黄龙病株不同部位内生细菌群落结构的多样性·····	刘 波,郑雪芳,孙大光,等 (7325)
小兴安岭红松径向生长对未来气候变化的响应·····	尹 红,王 靖,刘洪滨,等 (7343)
污水地下渗透系统脱氮效果及动力学过程·····	李海波,李英华,孙铁珩,等 (7351)
基于生态系统服务的海南岛自然保护区体系规划·····	肖 燧,陈圣宾,张 路,等 (7357)
羌塘地区草食性野生动物的生态服务价值评估——以藏羚羊为例·····	鲁春霞,刘 铭,冯 跃,等 (7370)
湖北省潜江市生态系统服务功能价值空间特征·····	许倍慎,周 勇,徐 理,等 (7379)
滇西北纳帕海湿地景观格局变化及其对土壤碳库的影响·····	李宁云,袁 华,田 昆,等 (7388)
基于连接性考虑的湿地生态系统保护多预案分析——以黄淮海地区为例·····	宋晓龙,李晓文,张明祥,等 (7397)
青藏高原高寒草甸生态系统碳增汇潜力·····	韩道瑞,曹广民,郭小伟,等 (7408)
影响黄土高原地物光谱反射率的非均匀因子及反照率参数化研究·····	张 杰,张 强 (7418)
基于 GIS 的下辽河平原地下水生态敏感性评价·····	孙才志,杨 磊,胡冬玲 (7428)
厦门市土地利用变化下的生态敏感性·····	黄 静,崔胜辉,李方一,等 (7441)
我国保护地生态旅游发展现状调查分析·····	钟林生,王 婧 (7450)
黄腹山鹧鸪稳定的配偶关系限制雄性欺骗者·····	褚福印,唐思贤,潘虎君,等 (7458)
食物蛋白含量和限食对雌性东方田鼠生理特性的影响·····	朱俊霞,王 勇,张美文,等 (7464)
具有捕食正效应的捕食-食饵系统·····	祁 君,苏志勇 (7471)
桑科中 4 种桑天牛寄主植物的挥发物成分研究·····	张 琳,WANG Baode,许志春 (7479)
栗山天牛成虫羽化与温湿度的关系·····	杨忠岐,王小艺,王 宝,等 (7486)
人工巢箱条件下杂色山雀的巢位选择及其对繁殖成功率的影响·····	李 乐,万冬梅,刘 鹤,等 (7492)
鸭绿江口湿地鸕鹚类停歇地的生物生态研究·····	宋 伦,杨国军,李 爱,等 (7500)
锡林郭勒草原区气温的时空变化特征·····	王海梅,李政海,乌 兰,等 (7511)
UV-B 辐射胁迫对杨桐幼苗生长及光合生理的影响·····	兰春剑,江 洪,黄梅玲,等 (7516)
小麦和玉米叶片光合-蒸腾日变化耦合机理·····	赵风华,王秋凤,王建林,等 (7526)
利用稳定氢氧同位素定量区分白刺水分来源的方法比较·····	巩国丽,陈 辉,段德玉 (7533)
2010 年冬季寒冷天气对闽江口 3 种红树植物幼苗的影响·····	雍石泉,仝 川,庄晨辉,等 (7542)
人参皂苷与生态因子的相关性·····	谢彩香,索风梅,贾光林,等 (7551)
苈对黑麦草根系几种低分子量有机分泌物的影响·····	谢晓梅,廖 敏,杨 静 (7564)
盐碱地柠条根围土中黑曲霉的分离鉴定及解磷能力测定·····	张丽珍,樊晶晶,牛 伟,等 (7571)
不同近地表土壤水文条件下雨滴打击对黑土坡面养分流失的影响·····	安 娟,郑粉莉,李桂芳,等 (7579)
煤电生产系统的能值分析及新指标体系的构建·····	楼 波,徐 毅,林振冠 (7591)
专论与综述	
东南亚高山森林植被变化对流域产水量的影响·····	张远东,刘世荣,顾峰雪 (7601)
干旱荒漠区斑块状植被空间格局及其防沙效应研究进展·····	胡广录,赵文智,王 岗 (7609)
利用农业生物多样性持续控制有害生物·····	高 东,何霞红,朱书生 (7617)
研究简报	
洪湖湿地生态系统土壤有机碳及养分含量特征·····	刘 刚,沈守云,闫文德,等 (7625)
氯氰菊酯和溴氰菊酯对蓼花臂尾轮虫生殖的影响·····	黄 林,刘昌利,韦传宝,等 (7632)
学术信息与动态	
SCOPE-ZHONGYU 环境论坛(2011)暨环境科学与可持续发展国际会议成功举办·····	(7639)
《生态学报》3 篇文章入选 2010 年中国百篇最具影响国内学术论文 等·····	(I)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2011-12	



封面图说: 泥炭藓大多生长在多水、寒冷和贫营养的生境,同时有少数的草本、矮小灌木也生长在其中,但优势植物仍然是泥炭藓属植物。泥炭藓植物植株死后逐渐堆积形成泥炭。经过若干年的生长演变,形成了大片的泥炭藓沼泽。这种沼泽地有黑黑的泥炭,绿绿的草甸和亮晶晶的斑块状水面相间相衬,远远看去就像大地铺上了锦绣地毯一样美丽壮观。

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

李宁云, 袁华, 田昆, 彭涛. 滇西北纳帕海湿地景观格局变化及其对土壤碳库的影响. 生态学报, 2011, 31(24): 7388-7396.

Li N Y, Yuan H, Tian K, Peng T. Landscape pattern change and its influence on soil carbon pool in Napahai wetland of Northwestern Yunnan. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(24): 7388-7396.

滇西北纳帕海湿地景观格局变化及其 对土壤碳库的影响

李宁云^{1,2}, 袁 华³, 田 昆^{2,*}, 彭 涛³

(1. 云南省林业科学院, 昆明 650204; 2. 国家高原湿地研究中心, 昆明 650224;

3. 西南林业大学, 昆明 650224)

摘要: 采用 3S 技术和 *In-situ* 原状土就地取样技术, 对滇西北纳帕海湿地 26a 来的景观格局变化及其驱动下的湿地土壤碳库变化研究表明: 纳帕海景观格局变化显著, 与 1974 年相比, 景观破碎化程度增强, 斑块形状趋于复杂、呈离散分布, 湿地景观类型总面积比例呈略有增加(1994 年)至大幅减小(2000 年)的变化, 非湿地景观类型总面积比例则呈略有减小(1994 年)至大幅增加(2000 年)的变化并取代湿地景观成为基质景观。响应景观面积变化, 土壤碳储量由 1974 年的 33.46×10^4 t 增至 1994 年的 36.91×10^4 t, 2000 年降至 32.92×10^4 t; 随景观类型的转化, 1974—1994 年土壤碳库积累量为 6.08×10^4 t, 释放量为 2.63×10^4 t, 1994—2000 年积累量为 2.01×10^4 t, 但碳释放量为 5.99×10^4 t, 是前 20a 的 2.28 倍。纳帕海湿地景观格局和土壤碳库的变化是自然和人为因素共同作用的结果, 在地质、水文和气候等自然因素变化的背景上, 排水、垦殖、过度放牧、无序旅游、汇水区植被破坏等强烈的人为活动干扰加剧了变化。

关键词: 景观格局变化; 土壤碳库; 汇源变化; 纳帕海湿地

Landscape pattern change and its influence on soil carbon pool in Napahai wetland of Northwestern Yunnan

LI Ningyun^{1,2}, YUAN Hua³, TIAN Kun^{2,*}, PENG Tao³

1 Yunnan Academy of Forestry, Kunming 650204, China

2 National Plateau Wetland Research Center, Kunming 650224, China

3 Southwest Forestry University, Kunming 650224, China

Abstract: The wetland landscape dynamics and its environmental effects have been considered as a research hotspot. But researches about soil carbon pool changes driven by landscape pattern changes were rarely seen. To address this issue, a study was carried out in the Napahai wetland, a sensitive region of global changes in northwestern Yunnan, adopting the *In-situ* intact soil sampling methodology and supported by the “3S” tools. Results showed that the landscape altered significantly within 26 years. Compared with 1974a, the fragmentation of Napahai landscapes was increasing, the landscape shapes became more complicated, dispersed, and dominated by large patches, the matrix of the Napahai landscapes has been converted from wetland types to the ever-increasing human land use types. At the land level, the patch number and landscape shape index increased 42% and 12.19% by 1994, as well as 40% and 1.02% by 2000. The aggregation index decreased 0.56% (by 1994) and 0.52% (by 2000). Landscape diversity and landscape dominance firstly increased 0.844% and 0.847% by 1994 and then decreased 3.130% and 3.134% by 2000. At the class level, the changes of wetland types trended to complexity, the area percentage of water body, marsh and swampy meadow increased from 70.29%

基金项目: 国家自然科学基金(40971285); 云南省科技计划(2008CA006); 云南省应用基础研究计划面上项目(2011FB130)

收稿日期: 2010-10-08; **修订日期:** 2011-07-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tlknp@126.com

(1974) to 72.20% (1994) then decreased to 48.79% (2000), however, that of meadow and farmland decreased a bit in 1994 then largely increased in 2000a. The landscape pattern changes of the wetland had impacts on the wetland's soil carbon storage fluctuation. Responding to the landscape area changes, soil carbon storage increased from 33.46×10^4 t (1974) to 36.91×10^4 t (1994) and then decreased to 32.92×10^4 t (2000). With the landscape type transformations, the soil carbon sequestration and emission from 1974 to 1994 reached respectively 6.08×10^4 t and 2.63×10^4 t. The soil carbon sequestration from 1994 to 2000 reached 2.01×10^4 t, nonetheless, the emission increased sharply, which is up to 2.28 times of that of 1974—1994. The landscape pattern changes, the soil carbon storage and its “source/sink” shifts have been imposed by both natural factors and human impacts. Under the context of geology, hydrology and climate changes, human disturbances such as wetland drainage, reclamation, overgrazing, and vegetation destruction of catchments have further intensified the changes of wetland.

Key Words: landscape pattern changes; soil carbon pool; sequestration and emission changes; Napahai wetland

土壤有机碳是全球气候变化的敏感指标^[1]。湿地生态系统较低的分解特性,使其拥有陆地上各种生态系统中最高的单位面积碳储量,成为重要的“碳汇”^[2]。滇西北位于青藏高原东南缘,属于全球变化敏感区^[3]。该区湖泊湿地众多,且湖盆沼泽、湖滨沼泽发育较为普遍,积累了大量有机物质,有些甚至堆积了极其深厚的泥炭层^[4],对于全球 CO₂ 平衡,降低温室效应都具有重要的意义。

湿地景观格局变化会对区域乃至全球气候产生深刻影响^[5],国内外的研究主要关注湿地景观格局变化对湿地环境^[6-8]、水禽生境^[9-11]及生物多样性^[12-14]的影响,但对湿地土壤碳库影响的研究还未见报道。本文以滇西北纳帕海为研究对象,对湿地景观格局变化及其驱动下的土壤碳库变化进行研究,揭示湿地景观格局变化的生态环境效应,以期高原湿地固碳能力评价和湿地管理提供科学依据。

1 研究区概况

纳帕海湿地(99°37′—99°43′E, 27°49′—27°55′N)地处云南西北部,海拔 3260 m,面积 2552 hm²,发育在石灰岩母质上,第三纪陷落成湖,受喀斯特作用的强烈影响,湖盆底部被蚀穿形成落水洞,湖水潜流 10 km 后汇入金沙江;区域气候属寒温带高原季风气候区西部型季风气候,由于地理位置偏北且海拔较高,冬季又受青藏高原寒流影响,年均温较低为 5.4 ℃;水量补给主要依靠降雨、地表径流、冰雪融水和多条河流的注入以及湖盆两侧金沙江-中甸大断裂上涌的泉水;年均降雨量 612.8 mm,在降雨集中的 6—9 月(占年降水量的 76%)湖水上涨,水生、沼生植物大量繁殖;受西南季风影响,9 月后湖水退落,随后大量植物死亡,由于气温较低、水循环不畅,导致植物残体堆积,不能彻底分解,有机质大量积累,发生泥炭化及潜育化,形成沼泽土类型的湿地土壤^[15](表 1)。

表 1 纳帕海湿地土壤理化特征

Table 1 Soil physicochemical properties of Napahai wetland

层次 Soil horizon	质地 Texture	pH	有机质 OM/ /(g/kg)	全氮 TN/ /(g/kg)	全磷 TP/ /(g/kg)	全钾 TK/ /(g/kg)	碱解氮 AN/ /(mg/kg)	速效磷 AP/ /(mg/kg)	速效钾 AK/ /(mg/kg)
T	中壤	4.90	288.0	11.8	0.7	1.4	530.00	7.00	65.00
TG	重壤	5.30	107.0	6.4	0.5	8.6	472.00	5.00	68.00
G	重壤	5.00	47.0	2.2	0.2	2.3	559.00	21.00	148.00

T:泥炭层;G:潜育层;TG:泥炭层向潜育层的过渡层

2 研究方法

2.1 景观数据来源及格局变化

2.1.1 景观数据来源与处理

选用 1974 年 MSS、1994 年 LandsatTM 与 2000 年 LandsatETM 影像为遥感数据源,采用 RGB543 彩色合

成,经几何校正后,将三期图像统一到北京 54 坐标系统下。根据纳帕海湿地演替规律^[16],结合遥感影像颜色、形状、质地、结构及其与周边环境的关系特征和 GPS(TRIMBLE GEOCE,精度 0.5 m)野外实地调查结果,建立景观类型解译标志(表 2)。

表 2 景观类型解译标志
Table 2 Visual interpretation key system of the landscape types

景观类型 Landscape types	影像特征 The character of satellite imagery	图例 Legend
水体 Water body	蓝色至深蓝色,纹理平滑,呈大片分布	
沼泽 Marsh	深绿至浅蓝色,不光滑	
沼泽化草甸 Swampy meadow	淡黄色至浅蓝色,影像结构复杂	
草甸 Meadow	土黄色,一般位于湿地边缘或地势相对较高处	
耕地 Farmland	形状规整,紫褐色,影像结构单一,位于村子周围	

在 ArcGIS9.0 中进行目视解译,将纳帕海景观划分为水体、沼泽、沼泽化草甸、草甸和耕地,并生成 3 个时期景观类型图(图 1)。通过 ENVI4.3,生成 300 个随机点,同时加载分类结果图和原始图像,采用闪烁的方法观察分类结果与解译标志是否一致,一致则计分类正确,否则计分类错误,得到三期影像分类精度分别为 86.77%、92.36% 和 85.74%。

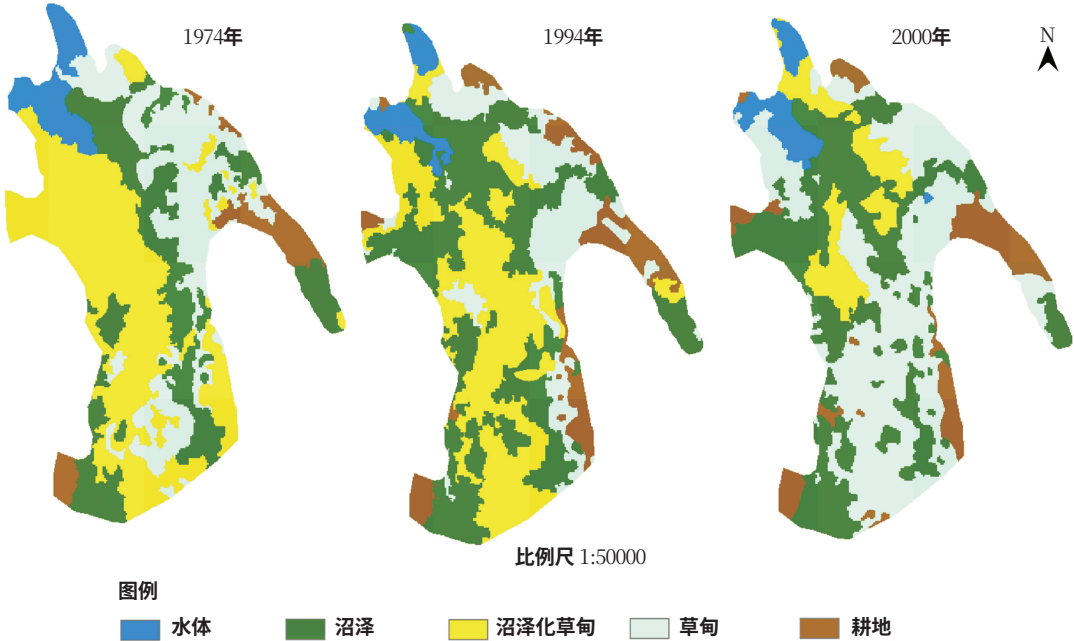


图 1 纳帕海湿地景观分类图
Fig. 1 Landscape classification map of Napahai wetland

2.1.2 景观格局变化

利用空间分析模块生成景观类型转移矩阵,参照相关研究成果^[17-18],选取面积指数(CA)、斑块数(NP)、聚集度指数(AI)、形状指数(LSI)、Shannon 多样性指数(SHDI)及 Shannon 均匀度指数(SHEI)从景观水平、景观类型两种尺度上进行景观格局变化分析。利用 Fragstats3.3 进行各项景观指数的计算,计算方法及其生态意义参见文献^[17-18]。

2.2 湿地土壤碳库变化

2.2.1 土壤碳储量

依据典型性和代表性原则,对沼泽、沼泽化草甸、草甸和耕地 4 种景观类型分别设置 4—5 个定位点,应用 *In-situ* 原状土就地取样技术^[19],根据湿地水文特征,分别于 2002 年 11 月、2003 年 3 月、6 月、8 月、10 月、2004 年 1 月进行土样采集,利用重铬酸钾法^[20]测定有机碳含量,取各景观类型 0—20 cm 土样均值计算土壤碳储量(表 3);水体沉积有机碳数据来源于殷勇等的研究,以平均值 6.5 g/kg 计算碳储量^[21]。

土壤容重根据自然土壤(水体、沼泽、沼泽化草甸、草甸)、耕作土壤(耕地)的属性,分别采用相应土壤有机碳和容重关系进行计算^[22]。

表 3 2002—2004 年不同景观类型土壤有机碳含量/(平均值±标准差,g/kg)

Table 3 Soil organic carbon content in different landscape types from 2002 to 2004/(Mean±S. E., g/kg)

土层深度 Soil depth/cm	沼泽 Marsh	沼泽化草甸 Swampy meadow	草甸 Meadow	耕地 Farmland
0—20	59.39±12.94	40.89±18.66	26.91±14.55	29.75±4.07

2.2.2 土壤碳汇源变化

以景观类型变化造成的土壤有机碳排放通量来反映湿地土壤碳的汇源变化^[23],计算公式如下:

$$Ec = \rho(Pc_0 - Pc_1)$$

式中, Ec 为景观类型演变引起的土壤碳储量变化(t); Ec 为正值表示土壤碳的释放; Ec 为负值表示土壤碳的积累; ρ 为景观类型面积转化量/(hm^2)。 Pc_0 , Pc_1 分别代表原有景观类型与转化后景观类型 0—20 cm 土层深度单位面积土壤有机碳含量/(kg/m^2)

3 结果与分析

3.1 景观格局变化

3.1.1 面积

26a 年来,纳帕海景观面积发生了较大变化(表 4),1974 年湿地景观面积比例为 70.29%,至 1994 年,为 72.20%,但 2000 年却降至 48.79%,表明景观基质由湿地类型转变为非湿地类型。从景观类型来看,水体和沼泽化草甸呈减小趋势,水体 2000 年虽略有回升,但萎缩仍十分明显;沼泽和耕地呈大幅增加至略有减小的趋势,表明湿地逆向生态演替和人类活动干扰加剧;草甸在 1994 年略有减少,2000 年却大幅增加,这可能与水文条件等因素有关,但也体现出湿地强烈的陆地化进程。

表 4 面积比例变化

Table 4 Area percentage changes

年份 Year	面积比例 Landscape type area percentage/%				
	水体 Water body	沼泽 Marsh	沼泽化草甸 Swampy meadow	草甸 Meadow	耕地 Farmland
1974	6.35	24.78	39.17	24.47	5.23
1994	4.04	36.84	31.32	17.84	9.96
2000	4.99	33.59	10.21	41.30	9.91

3.1.2 空间格局

与 1974 年相比,纳帕海景观斑块数增加了 42% (1994 年) 和 40% (2000 年),水体的萎缩和破碎,导致湿

地水量减少,加剧湿地逆向生态演替,沼泽、草甸和耕地斑块数增加,沼泽化草甸斑块数降低(图2);形状指数增加了12.19%(1994年)和1.02%(2000年),斑块形状趋于复杂,但至2000年,沼泽化草甸形状却变得相对规则和简单,草甸则一直向简单与规则发展(图2);聚集度指数分别减小了0.56%(1994年)和0.52%(2000年),斑块呈现出离散度较高的空间分布格局,但沼泽和草甸却有连接成片的趋势。

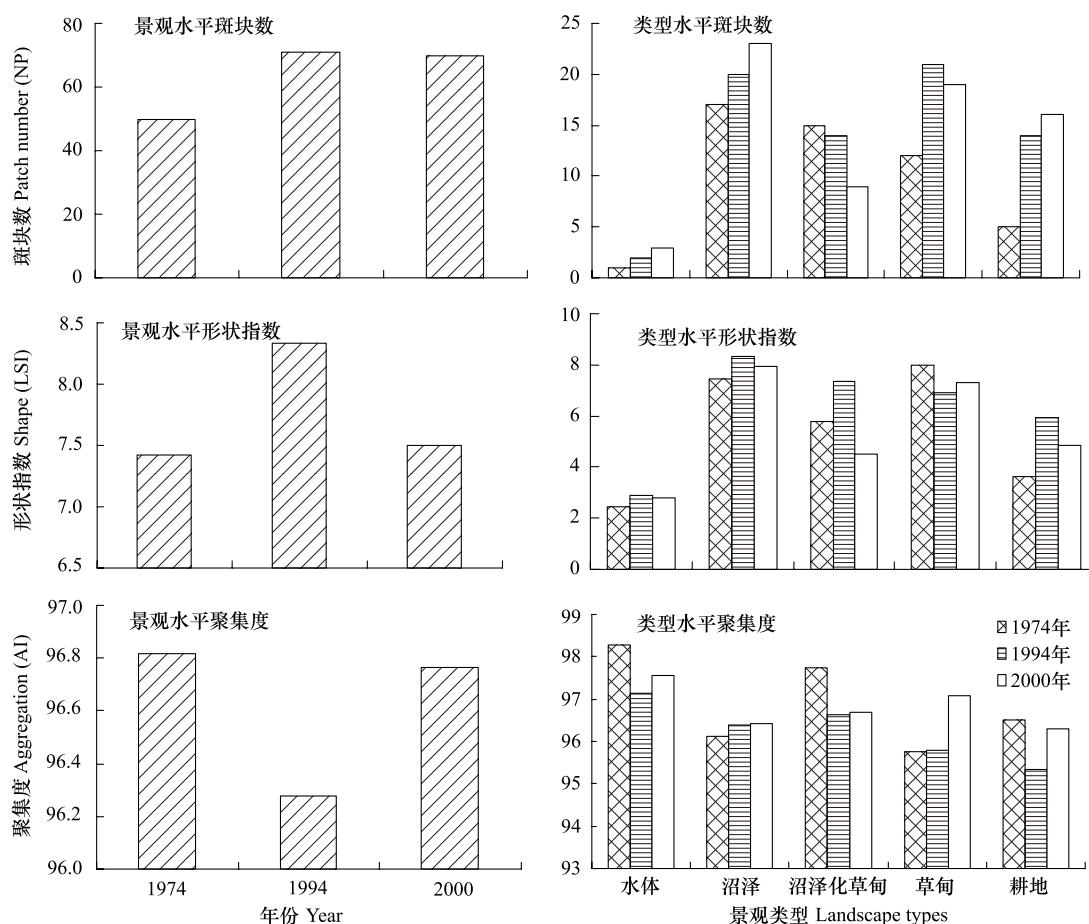


图2 景观空间格局变化

Fig. 2 Landscape pattern changes

3.1.3 多样性

多样性指数和均匀度指数的变化趋势具有较好的一致性(图3)。与1974年相比,1994年两者均呈增加的趋势,分别增加了0.844%和0.847%,表明景观多样性增加,各景观类型所占面积比例差异相对较小,趋向均匀分布;但2000年,两者均呈减小的趋势,比1974年分别减少了3.130%和3.134%,表明景观多样性降低,各类景观类型所占面积比例差异相对较大,呈不均匀分布,结合面积变化来看(表4)体现出草甸景观占主导地位的趋势。

3.2 土壤碳库的响应特征

3.2.1 土壤碳储量

响应景观面积的变化,土壤碳储量由1974年的 33.46×10^4 t增至1994年的 36.91×10^4 t,2000年却降至 32.92×10^4 t(图4),表明湿地逆向生态演替导致的沼泽化进程有利于土壤碳的积累,但随湿地环境的逐步丧失,不利于碳的沉积,碳储量随之减小。

3.2.2 土壤碳的积累与释放

在景观类型的演变中,随沉积环境的改变,土壤碳发生积累与释放(表5,表6)。1974—1994年,景观类

型转变中共积累了 6.08×10^4 tC, 释放了 2.63×10^4 tC; 1994—2000 年, 共积累了 2.01×10^4 tC, 释放了 5.99×10^4 tC, 释放量是前 20a 的 2.28 倍, 表明土壤碳沉积的湿地环境发生了巨大变化, 导致碳的大量释放。

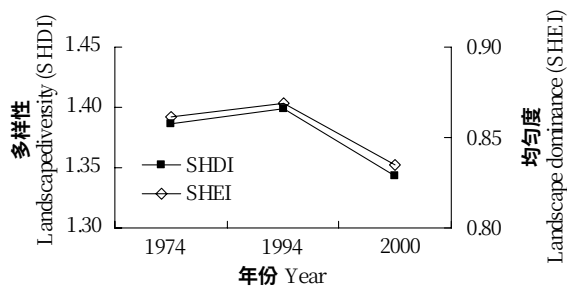


图3 景观多样性变化

Fig. 3 Landscape diversity changes

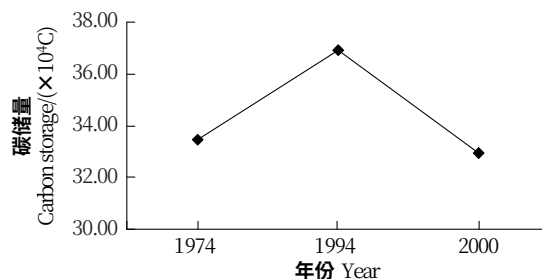


图4 土壤碳储量变化

Fig. 4 Soil carbon storage changes

表5 1974—1994 年湿地景观转变的土壤 C 积累与释放/(C:10⁴t)

Table 5 Sequestration and emission of soil organic C driven by landscape pattern changes from 1974 to 1994

1974 年景观类型 Landscape type of 1974	1994 年景观类型 Landscape type of 1994				
	水体 Water body	沼泽 Marsh	沼泽化草甸 Swampy meadow	草甸 Meadow	耕地 Farmland
水体 Water body	0	-0.573	-0.302	-0.037	-0.026
沼泽 Marsh	0.056	0.000	0.814	0.825	0.117
沼泽化草甸 Swampy meadow	0.036	-2.511	0	0.430	0.340
草甸 Meadow	0	-1.749	-0.803	0	-0.046
耕地 Farmland	0	-0.019	-0.016	0.016	0.000

表6 1994—2000 年湿地景观转变的土壤 C 积累与释放/(C:10⁴t)

Table 6 Sequestration and emission of soil organic C driven by landscape pattern changes from 1994 to 2000

1994 年景观类型 Landscape type of 1994	2000 年景观类型 Landscape type of 2000				
	水体 Water body	沼泽 Marsh	沼泽化草甸 Swampy meadow	草甸 Meadow	耕地 Farmland
水体 Water body	0	-0.026	-0.043	-0.068	0
沼泽 Marsh	0.568	0	0.407	2.055	0.072
沼泽化草甸 Swampy meadow	0.065	-0.964	0	2.656	0.087
草甸 Meadow	0.009	-0.408	-0.379	0	-0.032
耕地 Farmland	0.025	-0.087	0	0.049	0

4 讨论

4.1 自然因素对湿地景观格局及土壤碳库的影响

纳帕海是在特定地质地理条件下水源补给和水源储存处于极限平衡状态的自然历史产物,其所处的横断山区,新构造运动呈上升趋势,流域内河流不断向上源侵蚀,导致侵蚀基准面下降,有效水源补给不断减少;加之湖盆发育在石灰岩母质上,一直受喀斯特作用的强烈影响,两者的作用使得湖盆的正常蓄水受到威胁。与 20 世纪 80 年代以来全球性气候变暖的趋势一致,纳帕海地区的气候也呈现出转暖的迹象,与 20 世纪 70 年代、60 年代和 50 年代相比,纳帕海区域的气温 80 年代分别上升了

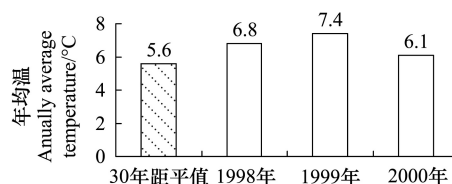


图5 纳帕海区域气温变化

Fig. 5 Temperature variations in Napahai region

0.4 °C, 0.6 °C 和 0.2 °C; 90 年代以后增暖最为明显, 且较云南省其他地区早, 1998 年以来的年平均气温超过准 30a (1961—1990 年) 气候距平平均值的 5.6 °C (图 5), 降水呈现出减少的趋势^[24-25]; 从温度与降水的综合趋势来看, 纳帕海区域气候呈现出暖干的趋势。响应气候变化, 作为纳帕海水量补给的雪山和冰川会发生一定程度的消融, 虽带来一定的水量, 但却使高原的表面反射率降低, 进一步加速了高原的变暖趋势^[26]。湿地水量的极大减少, 加剧了湿地逆向生态演替, 非湿地景观类型逐渐演变为优势景观, 湿地碳沉积环境随之改变甚至丧失, 最终导致碳储量减小、排放量增加。

中甸地区由于喜马拉雅构造运动的影响, 断裂带构造密布, 地震较为频繁, 历史上四次强烈地震有两次震中均在纳帕海。地质构造活跃导致湿地周围山体及地层结构破碎, 地表物质处于不断的侵蚀、搬运和堆积过程中, 为湖盆的淤积提供了丰富的物质, 半封闭的湿地环境使纳帕海在流域景观中成为淤积物质的“汇”^[27], 加速了湿地景观陆地化进程, 削弱了其碳汇功能。

4.2 人为干扰对湿地景观格局及土壤碳库的影响

相对低平的湖盆环境, 在促进社区经济发展的同时, 传统资源利用方式对湿地环境产生了极大影响。20 世纪 60 年代以前, 纳帕海保持着较为原始的状态。但自 20 世纪 70 年代初起, 为获得耕地与牧场, 开挖了大量排水沟渠并扩大了出水口, 直至近年, 降低水位的活动仍没有停止。2000 年相对于 1994 年为特丰水年^[28], 年均温也相对较低 (图 5), 但湿地景观面积却大幅锐减, 非湿地景观成为景观的基质, 表明排水等降低水位的人为活动干扰是导致湖泊萎缩、湿地生态系统退化演替加剧的重要原因, 其驱动湿地景观向旱生景观转变、格局发生变化, 进而导致湿地碳储量减少、释放量增加。

经排水或开垦草甸获得耕地, 改变了景观类型和格局特征, 减弱或终止了湿地土壤的泥炭化、潜育化过程, 并随耕作活动的进行, 改善了土壤通气性, 使有机质分解加快, 碳排放增加; 以放牧为主要利用方式的沼泽化草甸和草甸类型, 由于超出理论载畜量 (2600 羊单位) 132.5%^[16] 的放牧, 减少了有机物质的归还量, 影响碳的积累, 牲畜的践踏, 尤其是过度放养的家猪对土层的翻拱, 加速了土壤有机物质的矿化分解; 无序的骑马观光旅游, 马匹的重度践踏将使土壤有机质减少 68.83%^[29], 加剧了碳排放; 人口快速增长以及传统生活方式对木材的需求, 致使汇水面山植被覆盖率从 80% 锐减至 20%—30%^[15], 森林大多退化演替为灌丛, 削弱了森林生态系统的水土保持和水源涵养功能, 泥沙沉积加剧了纳帕海的陆地化进程, 湿地景观类型发生改变, 湿地碳沉积环境改变、甚至丧失。

5 结论

(1) 纳帕海景观格局 26a 来变化显著。景观水平尺度上, 景观破碎化程度增强、斑块形状趋于复杂、呈离散分布, 并体现出草甸景观占主导地位的趋势; 类型尺度上, 各景观类型格局变化较为复杂, 水体、沼泽和沼泽化草甸 3 类湿地景观总面积比例呈略有增加 (1994 年) 至大幅减小 (2000 年) 的变化, 草甸、耕地 2 类非湿地景观总面积比例则呈略有减小 (1994 年) 至大幅增加 (2000 年) 的变化并成为基质景观。

(2) 湿地景观格局变化驱动了土壤有机碳的“汇”“源”变化。非湿地景观向湿地景观的转变, 增加了土壤有机碳的积累, 体现出碳“汇”效应; 反之, 土壤有机碳积累量减少, 释放量增加, 碳“源”效应增强。

(3) 纳帕海湿地景观格局及土壤碳库变化是在自然因素的作用下, 叠加人为干扰造成的。水文、气候和地质等自然因素提供了变化背景, 排水、垦殖、过度放牧、无序旅游、汇水区植被破坏等强烈的人为活动干扰则加剧了湿地景观格局及土壤碳库的变化。

References:

- [1] Xiao H L. Climate Change in relation to soil organic matter. *Soil and Environmental Sciences*, 1999, 8(4): 304-304.
- [2] Liu Z G, Zhang K M. Wetland soils carbon stock in the Sanjiang Plain. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, 2005, 45(6): 788-791.
- [3] Wang J L, Ouyang H, Wang Z H, Chang T J, Li P, Shen Z X, Zhong Z M. Influential factors and distribution characteristics of topsoil labile organic carbon in alpine grassland ecosystem at the south slope of Gongga south mountain-Laguigangri mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29

- (7): 3501-3508.
- [4] Sun G Y. A preliminary discussion on types, formation and distribution of mires in the Hengduan mountains//Northeast Institute of Geography and Agroecology, China Academy of Science, ed. China Mires Study. Beijing: Science Press, 1988: 275-283.
- [5] Bai J H, Ouyang H, Yang Z F, Cui B S, Cui L J, Wang Q G. Changes in wetland landscape patterns: a review. *Progress in Geography*, 2005, 24 (4): 36-45.
- [6] Frost P C, Larson J H, Johnston C A, Young K C, Maurice P A, Lamberti G A, Bridgham S D. Landscape predictors of stream dissolved organic matter concentration and physicochemistry in a Lake Superior river watershed. *Aquatic Sciences-Research Across Boundaries*, 2006, 68 (1): 40-51.
- [7] Mita D, DeKeyser E, Kirby D, Easson G. Developing a wetland condition prediction model using landscape structure variability. *Wetlands*, 2007, 27(4): 1124-1133.
- [8] Liu M, Wang K L. Analysis on hydrological responses to changes of landscape patterns in the middle and upper reaches of Dongting lake watershed. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(12): 5970-5979.
- [9] Naugle E D, Johnson R R, Estey E M, Higgins F K. A landscape approach to conserving wetland bird habitat in the Prairie Pothole region of Eastern South Dakota. *Wetlands*, 2000, 20(4): 588-604.
- [10] Taft O W, Haig S M. Importance of wetland landscape structure to shorebirds wintering in an agricultural valley. *Landscape Ecology*, 2006, 21 (2): 169-184.
- [11] Liu H Y, Li Z F, Li Xi M. Effects of wetland landscape fragmentation on habitats of oriental white storks — a case study on Northeastern Sanjiang Plain, China. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(5): 817-823.
- [12] Lopez R D, Davis C B, Fennessy M S. Ecological relationships between landscape change and plant guilds in depressional wetlands. *Landscape Ecology*, 2002, 17(1): 43-56.
- [13] Vermaat J E, Goosen H, Omtzigt N. Do biodiversity patterns in Dutch wetland complexes relate to variation in urbanization, intensity of agricultural land use or fragmentation? *Biodiversity and Conservation*, 2007, 16: 3585-3595.
- [14] Liu H Y, Lu X G, Zhang S K. Landscape biodiversity of wetlands and their changes in 50 years in watersheds of the Sanjiang Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1472-1479.
- [15] Southwest Forestry College. Comprehensive Scientific Survey Report of Yunnan Bidahai Nature Reserve. Kunming: Southwest Forestry College, 2002.
- [16] Tian K, Lu M, Chang F L, Mo J F, Li L C, Yang Y X. The ecological environment degradation and degradation mechanism of Napahai Karst wetland in Southwestern Yunnan Plateau. *Journal of Lake Sciences*, 2004, 16(1): 35-42.
- [17] Bai J H, Ouyang H, Cui B S, Wang Q G, Cheng H. Changes in landscape pattern of alpine wetlands on the Zoige Plateau in the past four decades. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 2245-2252.
- [18] Lu W K, Yang S H. Landscape pattern and differentiation in Dianchi drainage area based on RS and GIS. *Journal of Yunnan University (Science and Technology)*, 2006, 28(S1): 201-208.
- [19] Tian K, Cheng B K, Bei R T, Luo K H, Wang Y W, Yang Y X. Application of *in-situ* technique to study N fluxes on degraded soils. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 272-278.
- [20] Liu G S. Soil Physical and Chemical Analysis and Description of Soil Profiles. Beijing: Standards Press of China, 1996: 31-37.
- [21] Yin Y, Fang N Q, Hu C Y, Nie H G, Qing Z L. Palaeoenvironmental evolution deduced from organic carbon stable isotope compositions of Napahai lake sediments, Northwestern Yunnan, China. *Journal of Lake Sciences*, 2001, 13(4): 289-295.
- [22] Song G H, Li L Q, Pan G X, Zhang Q. Topsoil organic carbon storage of China and its loss by cultivation. *Biogeochemistry*, 2004, 74(1): 47-62.
- [23] Wang G X, Lu L, Cheng G D. Characteristics of soil C, N deposition and emission in arid inland river basin of Northwest China under evolving landscapes. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(3): 270-279.
- [24] Tian K. Mechanism and Process of Soil Degradation in Napahai Wetland on Yunnan Plateau. Changchun: Northeast Institute of Geography and Agroecology, China Academy of Science, 2004.
- [25] Cheng J G, Xie M E. The analysis of regional climate change features over Yunnan in recent 50 years. *Progress in Geography*, 2008, 27 (5): 19-26.
- [26] WWF. Climate Change and Its Influence on Ecological Hydrology in Headwaters of Yangtze River. Beijing: China Meteorological Press, 2008: 1-12.
- [27] Chen L X, Fu B J, Xu J Y, Gong J. Location-weighted landscape contrast index: a scale independent approach for landscape pattern evaluation based on "Source-Sink" ecological processes. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2406-2413.

- [28] Li J, Hu J M, Dong Y X, Yuan H. Study on the landscape changes from 1994 to 2006 of Napahai cathment and the wetlands, Northwest Yunnan mountainous region. *Journal of Mountain Science*, 2010, 28(2): 247-256.
- [29] Luo S, Zhang K, Peng T, Li N Y. Impact of tourist activities on the environment in Napahai wetland scenic spot. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(6): 2391-2393.

参考文献:

- [1] 肖辉林. 气候变化与土壤有机质的关系. *土壤与环境*, 1999, 8(4): 304-304.
- [2] 刘子刚, 张坤民. 黑龙江省三江平原湿地土壤碳储量变化. *清华大学学报(自然科学版)*, 2005, 45(6): 788-791.
- [3] 王建林, 欧阳华, 王忠红, 常天军, 李鹏, 沈振西, 钟志明. 高寒草原生态系统表层土壤活性有机碳分布特征及其影响因素——以贡嘎南山-拉轨岗日山为例. *生态学报*, 2009, 29(7): 3501-3508.
- [4] 孙广友. 横断山滇西北地区沼泽成因、分布及主要类型的初步探讨//中国科学院长春地理研究所. *中国沼泽研究*. 北京: 科学出版社, 1988: 275-283.
- [5] 白军红, 欧阳华, 杨志锋, 崔保山, 崔丽娟, 王庆改. 湿地景观格局变化研究进展. *地理科学进展*, 2005, 24(4): 36-45.
- [8] 刘明, 王克林. 洞庭湖流域中上游地区景观格局变化的水文响应. *生态学报*, 2008, 28(12): 5970-5979.
- [11] 刘红玉, 李兆富, 李晓民. 湿地景观破碎化对东方白鹳栖息地的影响——以三江平原东北部区域为例. *自然资源学报*, 2007, 22(5): 817-823.
- [14] 刘红玉, 吕宪国, 张世奎. 三江平原流域湿地景观多样性及其 50 年变化研究. *生态学报*, 2004, 24(7): 1472-1479.
- [15] 西南林学院. 云南碧塔海自然保护区综合科学考察报告. 昆明: 西南林学院, 2002.
- [16] 田昆, 陆梅, 常风来, 莫剑锋, 黎良材, 杨永兴. 云南纳帕海岩溶湿地生态环境变化及驱动机制. *湖泊科学*, 2004, 16(1): 35-42.
- [17] 白军红, 欧阳华, 崔保山, 王庆改, 陈辉. 近 40 年来若尔盖高原高寒湿地景观格局变化. *生态学报*, 2008, 28(5): 2245-2252.
- [18] 鲁韦坤, 杨树华. 滇池流域景观格局变化研究. *云南大学学报(自然科学版)*, 2006, 28(S1): 201-208.
- [19] 田昆, 陈宝昆, 贝荣塔, 罗开华, 王有位, 杨永兴. *in-situ* 方法在研究退化土壤氮库时空变化中的应用. *生态学报*, 2003, 23(9): 272-278.
- [20] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996: 31-37.
- [21] 殷勇, 方念乔, 胡超涌, 聂浩刚, 秦尊丽. 云南中甸纳帕海古环境演化的有机碳同位素记录. *湖泊科学*, 2001, 13(4): 289-295.
- [23] 王根绪, 卢玲, 程国栋. 干旱内陆流域景观格局变化下的景观土壤有机碳与氮源汇变化. *第四纪研究*, 2003, 23(3): 270-279.
- [24] 田昆. 云南纳帕海高原湿地土壤退化过程及驱动机制. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2004.
- [25] 程建刚, 解明恩. 近 50 年云南区域气候变化特征分析. *地理科学进展*, 2008, 27(5): 19-26.
- [26] WWF. 长江源区气候变化及其生态水文影响. 北京: 气象出版社, 2008: 1-12.
- [27] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 巩杰. 基于“源-汇”生态过程的景观格局识别方法-景观空间负荷对比指数. *生态学报*, 2003, 23(11): 2406-2413.
- [28] 李杰, 胡金明, 董云霞, 袁寒. 1994—2006 年滇西北纳帕海流域及其湿地景观变化研究. *山地学报*, 2010, 28(2): 247-256.
- [29] 罗姗, 张昆, 彭涛, 李宁云. 旅游活动对高原湿地纳帕海土壤理化性质的影响研究. *安徽农业科学*, 2008, 36(6): 2391-2393.

CONTENTS

The community structure of endophytic bacteria in different parts of huanglongbing-affected citrus plants	LIU Bo, ZHENG Xuefang, SUN Daguang, et al (7325)
A research on the response of the radial growth of <i>Pinus koraiensis</i> to future climate change in the XiaoXing'AnLing	YIN Hong, WANG Jing, LIU Hongbin, et al (7343)
Efficiency and kinetic process of nitrogen removal in a subsurface wastewater infiltration system (SWIS)	LI Haibo, LI Yinghua, SUN Tieheng, et al (7351)
Designing nature reserve systems based on ecosystem services in Hainan Island	XIAO Yi, CHEN Shengbin, ZHANG Lu, et al (7357)
Assessing ecological services value of herbivorous wild animals in Changtang grassland: a case study of Tibetan antelope	LU Chunxia, LIU Ming, FENG Yue, et al (7370)
Spatial characteristics analysis of ecological system service value in QianJiang City of Hubei Province	XU Beishen, ZHOU Yong, XU Li, et al (7379)
Landscape pattern change and its influence on soil carbon pool in Napahai wetland of Northwestern Yunnan	LI Ningyun, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (7388)
Multi-scenarios analysis for wetlands ecosystem conservation based on connectivity: a case study on HuangHuaiHai Region, China ...	SONG Xiaolong, LI Xiaowen, ZHANG Mingxiang, et al (7397)
The potential of carbon sink in alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau	HAN Daorui, CAO Guangmin, GUO Xiaowei, et al (7408)
The relations of spectrum reflectance with inhomogeneous factors and albedo parameterization ...	ZHANG Jie, ZHANG Qiang (7418)
Groundwater ecological sensitivity assessment in the lower Liaohe River Plain based on GIS technique	SUN Caizhi, YANG Lei, HU Dongling (7428)
Ecological sensitivity of Xiamen City to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (7441)
Investigation and analysis on situation of ecotourism development in protected areas of China	ZHONG Linsheng, WANG Jing (7450)
Handicapping male-cheaters by stable mate relationship in yellow-bellied prinia, <i>Prinia flaviiventris</i>	CHU Fuyin, TANG Sixian, PAN Hujun, et al (7458)
Effects of dietary protein content and food restriction on the physiological characteristics of female <i>Microtus fortis</i>	ZHU Junxia, WANG Yong, ZHANG Meiwen, et al (7464)
Predator-prey system with positive effect for prey	QI Jun, SU Zhiyong (7471)
Volatile constituents of four moraceous host plants of <i>Apriona germari</i>	ZHANG Lin, WANG Baode, XU Zhichun (7479)
Relationship between adult emergence of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) and temperature and relative humidity	YANG Zhongqi, WANG Xiaoyi, WANG Bao, et al (7486)
Nest site selection and reproductive success of <i>Parus varius</i> in man-made nest boxes	LI Le, WAN Dongmei, LIU He, et al (7492)
A study on bio-ecology of the stopover site of waders within China's Yalu River estuary wetlands	SONG Lun, YANG Guojun, LI Ai, et al (7500)
The spatial-temporal change variations of temperature in Xilinguole steppe zone	WANG Haimei, LI Zhenghai, WU Lan, et al (7511)
The growth and photosynthetic responses of <i>Cleyera japonica</i> Thunb. seedlings to UV-B radiation stress	LAN Chunjian, JIANG Hong, HUANG Meiling, et al (7516)
Photosynthesis-transpiration coupling mechanism of wheat and maize during daily variation	ZHAO Fenghua, WANG Qiufeng, WANG Jianlin, et al (7526)
Comparison of the methods using stable hydrogen and oxygen isotope to distinguish the water source of <i>Nitratia Tangutorum</i>	GONG Guoli, CHEN Hui, DUAN Deyu (7533)
Effects of cold weather on seedlings of three mangrove species planted in the Min River estuary during the 2010 winter	YONG Shiquan, TONG Chuan, ZHUANG Chenhui, et al (7542)
Correlation between ecological factors and ginsenosides	XIE Caixiang, SUO Fengmei, JIA Guanglin, et al (7551)
Effects of pyrene on low molecule weight organic compounds in the root exudates of ryegrass (<i>Lolium perenne</i> L.)	XIE Xiaomei, LIAO Min, YANG Jing (7564)
Isolation of phosphate solubilizing fungus (<i>Aspergillus niger</i>) from <i>Caragana</i> rhizosphere and its potential for phosphate solubili- zation	ZHANG Lizhen, FAN Jingjing, NIU Wei, et al (7571)
Effect of raindrop impact on nutrient losses under different near -surface soil hydraulic conditions on black soil slope	AN Juan, ZHENG Fenli, LI Guifang, et al (7579)
Emergy analysis of coal-fired power generation system and construction of new emergy indices	LOU Bo, XU Yi, LIN Zhenguan (7591)
Review and Monograph	
The impact of forest vegetation change on water yield in the subalpine region of southwestern China	ZHANG Yuandong, LIU Shirong, et al (7601)
Reviews on spatial pattern and sand-binding effect of patch vegetation in arid desert area	HU Guanglu, ZHAO Wenzhi, WANG Gang (7609)
Sustainable management on pests by agro-biodiversity	GAO Dong, HE Xiahong, ZHU Shusheng (7617)
Scientific Note	
Characteristics of organic carbon and nutrient content in five soil types in Honghu wetland ecosystems	LIU Gang, SHEN Shouyun, YAN Wende, et al (7625)
Effects of cypermethrin and deltamethrin on reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	HUANG Lin, LIU Changli, WEI Chuanbao, et al (7632)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 24 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 24 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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@csppg.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