

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

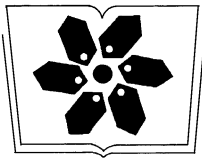
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第15期 Vol.33 No.15 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 15 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 红树林生态系统遥感监测研究进展..... 孙永光,赵冬至,郭文永,等 (4523)
- 基于能值分析方法的城市代谢过程研究——理论与方法 刘耕源,杨志峰,陈 彬 (4539)
- 关于生态文明建设与评价的理论思考 赵景柱 (4552)

个体与基础生态

- 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布..... 于婷婷,徐奎栋 (4556)
- 灌河口邻近海域春季浮游植物的生态分布及其营养盐限制..... 方 涛,贺心然,冯志华,等 (4567)
- 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性..... 黄凯旋,张云,欧林坚,等 (4575)
- 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响..... 梁晓琴,刘 建,丁文娟,等 (4583)
- 有机酸类化感物质对甜瓜的化感效应..... 张志忠,孙志浩,陈文辉,等 (4591)
- 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性..... 吴家梅,纪雄辉,霍莲杰,等 (4599)
- 双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化..... 王煌平,张 青,翁伯琦,等 (4608)
- 不同类型土壤中分枝杆菌噬菌体分离率的比较..... 徐凤宇,苏胜兵,马红霞,等 (4616)
- 模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响 卞雅姣,黄 洁,孙其松,等 (4623)
- 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法 李兵兵,魏小红,徐 严 (4631)
- 4 种金色叶树木对 SO_2 胁迫的生理响应 种培芳,苏世平 (4639)
- 硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响..... 熊佰炼,张进忠,代 娟,等 (4649)

种群、群落和生态系统

- 群落水平食物网能流季节演替特征..... 徐 军,周 琼,温周瑞,等 (4658)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群数量动态特征..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (4665)
- 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征..... 朱秋莲,邢肖毅,张 宏,等 (4674)
- 青藏高原高寒草甸退化与人工恢复过程中植物群落的繁殖适应对策..... 李媛媛,董世魁,朱 磊,等 (4683)
- 杉木人工林土壤质量演变过程中土壤微生物群落结构变化..... 刘 丽,徐明恺,汪思龙,等 (4692)
- 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响 赵 曼,郭线茹,李为争,等 (4707)
- 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响..... 卢训令,丁圣彦,游 莉,等 (4715)
- 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响 刘 伟,门丽娜,刘新民 (4724)
- 铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响 柯文山,陈世俭,熊治廷,等 (4737)
- 新疆喀纳斯国家自然保护区植被叶面积指数观测与遥感估算..... 咎 梅,李登秋,居为民,等 (4744)

景观、区域和全球生态

基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究——以张掖市甘州区为例 梁友嘉,徐中民,钟方雷,等 (4758)

人工管理和自然驱动下盐城海滨湿地互花米草沼泽演变及空间差异 张华兵,刘红玉,侯明行 (4767)

基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价 尚 文,杨永兴,韩大勇 (4776)

基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价..... 南 颖,吉 喆,冯恒栋,等 (4790)

呼中林区森林景观的历史变域模拟及评价..... 吴志丰,李月辉,布仁仓,等 (4799)

降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响..... 郭 群,胡中民,李轩然,等 (4808)

研究简报

我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系.....

..... 王健健,王永吉,来利明,等 (4818)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说: 石质山区的退耕还林——桂西北地区是我国喀斯特集中分布的地区之一,这里的石漠化不仅造成土地退化、土壤资源逐步消失、干旱缺水和土地生产力下降,而且还导致生态系统退化和植被消亡。桂西北严重的地质生态环境问题,威胁着当地居民的基本生存,严重制约了当地社会经济的发展。增加植被覆盖是防治石漠化的重要举措。随着国家退耕还林、生态移民等治理措施的实施,区域植被碳密度显著增加,生态环境有所好转。图为喀斯特地区农民见缝插针用来耕种的鸡窝地(指小、碎、分散的土地),已经退耕还林了。

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/stxb201205060653

尚文, 杨永兴, 韩大勇. 基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价. 生态学报, 2013, 33(15): 4776-4789.

Shang W, Yang Y X, Han D Y. Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4776-4789.

基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地 退化过程分析及其评价

尚 文, 杨永兴*, 韩大勇

(同济大学环境科学与工程学院污染控制与资源化国家重点实验室, 长江水环境教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要:以滇西北高原纳帕海湖滨过度放牧、水文改变协同胁迫(简称 GAD)和过度放牧单独胁迫(简称 GD)退化湿地为研究对象,将其划分为 4 个梯度:原生湿地、轻度退化、中度退化、重度退化,采用聚类分析和主成分分析(PCA)在“植物-水体-土壤”系统上进行湿地退化过程、机制探讨及定量评价。沿退化梯度,植物群落演替规律为“水生植物群落→沼泽植物群落→沼泽化草甸植物群落→草甸植物群落”,群落结构趋于复杂,向中生植物群落演替;矿化度、总硬度、总碱度、氮、磷等水质指标在 GD 梯度上升,在 GAD 梯度下降,水文改变对水质影响显著;土壤有机质、全氮、速效氮含量降低,全磷、全钾有所增加,速效磷和速效钾含量无明显变化规律。基于 PCA 建立了纳帕海湖滨湿地退化模型,并给出不同程度退化湿地的阈值。

关键词:退化;过程;PCA;评价;纳帕海湿地

Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau

SHANG Wen, YANG Yongxing*, HAN Dayong

Key Laboratory of Yangtze River Water Environment, Ministry of Education, State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse, College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China

Abstract: Napahai wetland is a unique and seasonal marsh wetland located in the middle of Hengduan Mountains, northwestern Yunnan Plateau. In the recent decades, it has been seriously degraded under human disturbances, mainly including drainage and overgrazing. In the present paper, two kinds of typical degradation transects were established to evaluate the synergistic impacts of overgrazing stress and water regime and the single impacts of overgrazing stress in the lakeside of Napahai. The two transects were further classified into four degradation gradients, including primary wetland (PW), lightly degraded wetland (LW), moderately degraded wetland (MW) and severely degraded wetland (SW). Cluster analysis and principal component analysis (PCA) were conducted to explore the process and mechanism of wetland degradation as well as to evaluate the degree of wetland degradation quantitatively at system level of “vegetation-water-soil”. The results were as follows: the numbers of plant families, genera and species as well as species diversity and richness all increased gradually from PW to SW, whereas species evenness remained stable. The plant community succession is in the direction of aquatic plant community → swamp plant community → swamp meadow plant community → meadow plant community. Correspondingly, the community changed towards more complicated structure characterized by the decreasing of helophyte and increasing of hygrophite and mesophyte. Overgrazing stress changed the inherent mode of plant community succession and accelerated the degraded stage of “swamp meadow community” to some extent, although the direction of

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41171074, U0933601, 40771013)

收稿日期:2012-05-06; 修订日期:2012-11-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wetlands@tongji.edu.cn

succession had not changed. The degradation characteristics of water properties varied in different disturbance type, the water indices of salinity, total alkalinity, total hardness, total nitrogen, ammonia nitrogen, nitrate nitrogen and total phosphorus all increased along the GD gradients, whereas decreased along the GAD gradients, depending on the water regime. Therefore, hydrologic alteration had a significant effect on wetland water properties. The changes of wetland soil properties were similar in the two disturbances. Among them, the contents of organic matter, total nitrogen and available nitrogen decreased, total phosphorous and total potassium (K) increased, whereas the available phosphorous and available potassium (K) showed no obvious changes. The vertical distribution for each nutrient content in the soil profiles of degraded wetlands varied greatly. Soil total phosphorous, available phosphorous and available potassium (K) decreased along the soil depth gradients. It showed that soil nitrogen content was the most obvious characteristics of wetlands degradation. In order to identify the driven factors of wetlands degradation under the multi-factorial stresses, PCA was employed to synthesize the degradation information from multiple aspects as discussed in this paper. Thirty indices based on vegetation, water and soil were simplified into three principal components by PCA, explained 54.8%, 29.1% and 15.9% of the total variance, respectively. PCA results indicated that plant community was the most representative of wetlands degradation, and the soil structures and nutrient contents changed significantly along the degradation gradients of lakeside wetlands, Napahai. By contrast, the contributions made by water nutritional contents were lowest compared with vegetation and soil for wetlands degradation. Based on the three principle components derived from PCA, a multiple linear regression model, $PC = 0.548 \times PC1 + 0.291 \times PC2 + 0.159 \times PC3$, was conducted to calculate the scores for each degradation stage, which could be taken to evaluate the wetlands degradation.

Key Words: degradation; process; PCA; evaluation; Napahai wetlands

人类活动胁迫下湿地退化已成为当前国际湿地研究前沿领域的关键科学问题^[1-2]。过度放牧是湿地退化的主要驱动因素之一,尤其是放牧牲畜采食、践踏、排泄物污染对湿地破坏严重^[3]。水源补给形式差异引起的水文改变也是导致湿地退化的关键因素^[4]。深入研究过度放牧和水文改变胁迫下湿地退化过程和机制是寻求湿地生态系统开发与保护的关键。湿地退化常表现为植被、水体、土壤三大要素结构和功能的退化^[5]。以往已对过度放牧胁迫下湿地生态系统植物群落演替、水质和土壤养分退化等方面有一定的深入研究^[3,6-7],对水文改变研究常侧重重新构造运动下自然疏干和排水疏干、围湖造田等方面^[4,8-9]。以往研究多侧重对单一胁迫因素或部分退化指标进行湿地退化分析,对过度放牧和水文改变多因素协同胁迫下湿地退化综合研究较少^[10],尤其对多因素胁迫下滇西北高原湿地“植物-水体-土壤”系统退化过程与机制研究和退化评价研究还需继续深入。为此,本文通过开展基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价,旨在丰富和完善具有中国特色的高原湖滨湿地退化理论体系,为高原湿地保护与退化湿地生态恢复提供科学依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

纳帕海湿地位于滇西北高原腹地,地理位置为东经 99°37′—99°43′,北纬 27°49′—27°55′,海拔 3260m,行政上隶属于云南省迪庆藏族自治州。该区年均温度 5.4℃,最冷月平均温度为-3.8℃,最热月平均温度为 13.2℃,极端低温-25.4℃,极端高温 24.5℃。该区属金沙江水系,年均降水量 619.9 mm,受西南季风影响每年 6、7 月份形成大量降水,湖面面积达到 3125hm²。但 8 月后湖水退落,10 月前后因秋季季风退缩再次产生降雨,湖水再次上涨并于 11 月后退落。湖水退落后湖面大幅度缩小,湖滨带广阔,发育了大面积沼泽湿地和沼泽化草甸。该区植物物种十分丰富,经初步统计共有植物 115 种,隶属 38 科、82 属,主要包括水葱群落 (Com. *Scirpus validus*)、水蓼群落 (Com. *Polygonum hydropiper*)、刘氏荸荠群落 (Com. *Eleocharis liouana*)、鹅绒委陵菜群落 (Com. *Potentilla anserine*)、发草-矮地榆群落 (Com. *Deschampsia caespitosa*-*Sanguisorba filiformis*) 等 15 个群落类型^[11]。该区主要土壤类型为沼泽土、泥炭土、沼泽化草甸土^[12]。纳帕海湿地牦牛、黄牛、马、

猪等牲畜过度放牧现象严重,实际载畜量约为 6000 羊单位,超过理论载畜量 132.5%^[13],过度放牧引起湿地大面积退化,甚至出现沙化现象^[12]。纳帕海修建的环湖公路和周边村民砌筑的道路改变了湖滨湿地水文地貌,导致湿地景观破碎化和生态功能退化^[14]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择

根据典型性、代表性和可行性原则,选取纳帕海湖滨湿地 2 个退化区域建立两条样带(编号分别为 NP1 和 NP2 样带),设置退化样点(图 1)。NP1 样带位于纳帕海湖滨宽广河谷湿地,因修建道路导致湿地和湖泊隔断,水源补给主要来自地下水、融雪水和降水,牲畜放牧严重;NP2 样带位于宽广湖滨的谷地,谷地下部湿地受周期性水位上涨时湖水补给,谷底上部区域受融雪水和降水补给,是牲畜主要放牧区。NP1 样带作为受水文改变和过度放牧协同胁迫退化样带(简称 GAD),自沟谷陡坡至湖滨带设置 6 个不同程度退化样点,编号为 1—6;NP2 样带作为主要受过度放牧胁迫退化样带(简称 GD),自湿地边缘至湖滨带设置 5 个不同程度退化样点,编号为 7—11。

1.2.2 样品采集和分析

于 2010 年 7—8 月在植物生长季进行野外生态观测与样品采集。植物群落生态观测采用样方法,每个样点设置 2 个 1m×1m 植物群落样方,统计植物物种,群落植物盖度、高度和密度。采用刈割法收获样方内植物地上生物量称其鲜质量,杀青并烘干处理后称其干质量。使用自制采样器采集上层水样,地表无水处采取经地表径流和降水汇入人工挖坑后的积水,测定矿化度、总硬度、总碱度、总氮、氨氮、硝态氮、总磷等^[15]。土壤样品采集使用探坑法,根据土壤发生层(草根层、腐殖质层或泥炭层、潜育层和母质层)顺序从上到下采样深度控制在 0—10cm、10—30cm、30—50cm 和 50—80cm,部分层次适当调整,每个土壤发生层采集土样 2 份,每份质量在 1kg 左右。对土壤样品进行 pH、有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾测定^[16]。样品分析化验使用国家标准方法,采用平行样测定,指标分析精度均在标准允许误差之内。

1.2.3 数据处理

物种多样性计算^[17]:物种丰富度(R)= S ;Shannon-Wiener 多样性指数(H)= $-\sum_{i=1}^S (P_i \lg P_i)$;均匀度指数(E)= $H/\ln S$,式中 S 为物种数; P_i 为种 i 的相对重要值,即 $P_i = N_i/N$, N_i 为第 i 个物种的重要值, N 为所有重要值之和。重要值: $IV = (\text{相对密度} + \text{相对高度} + \text{相对盖度})/3$ 。

通过聚类分析对样点进行退化分类和分级;基于主成分分析(PCA)揭示湿地退化特征因子,选取前两个主成分为坐标轴做指标排序图,并建立基于简化后主成分的多元回归模型,计算湿地退化梯度综合指标分值(PC 值),划分出分值区间,每个分值区间代表了相应的退化梯度,以此定量描述湿地退化情况,并进行湿地退化评价。

使用 Microsoft office 2007 软件进行数据分析和作图;使用 BioDiversity pro 软件计算物种多样性;使用 SPSS 13.0 软件完成聚类分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 湿地退化分类与分级

遵循生态学原则,在 GAD 和 GD 退化梯度上共 11 个样点分别选取群落类型指数、微地貌指数、湿地积水

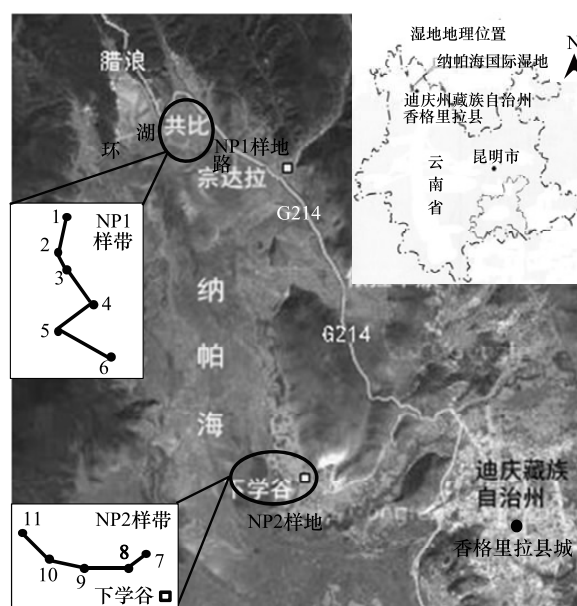


图 1 研究区地理位置及样地设置

Fig. 1 Geographic position of study area and plot establishment

深度、距湖岸带距离、干扰强度、植物残体层厚度、群落盖度、群落植物平均高度、样方内物种数目、水生植物重要值、沼生植物重要值、湿生植物重要值、中生植物重要值、土壤 pH、土壤有机质含量、水体总氮、总磷含量共 17 个典型指标作为湿地退化分类要素。并结合自然地理特征、生态环境特征和湿地发育程度,将其中的定性指标作定量化处理并赋值(表 1)。其中,微地貌指数是按地貌对湿地发育影响程度赋值;干扰强度赋值区间从 0 到 10,依次代表无干扰的原生湿地到极度退化出现裸地的湿地退化程度。

表 1 纳帕海湖滨湿地退化指标定量化处理

Table 1 Quantification analysis of the degraded indices in lakeside wetlands, Napahai

群落类型指数 Community type	赋值 Value	微地貌指数 Microtopography	赋值 Value	干扰强度 Stress of disturbance	赋值 Value
水生植物群落	1	缓坡湖岸	1	无干扰	0
沼生植物群落	2	湖滨洼地	2	极度退化	10
湿生植物群落	3	沟谷洼地	3		
中生植物群落	4	沟谷平亢地	4		
		沟谷陡坡	5		

微地貌指数是按地貌对湿地发育影响程度赋值;干扰强度赋值区间从 0 到 10,依次代表无干扰的原生湿地到极度退化出现裸地的湿地退化程度

聚类分析结果如图 2。一方面为了保证尽量细分退化样点以利于深入揭示退化过程,另一方面要保证分类后各组之间特性差异明显,故在图中选取欧氏距离为 10,可以将 11 个退化样点分为 4 组:第 1 组包含样点 2、8;第 2 组包含样点 3、4、9;第 3 组包含样点 5、6、10、11;第 4 组包含样点 1、7。根据聚类分析结果,并结合样点环境特征,将 2 个样带共计 11 个样点分为 4 个退化梯度:原生湿地(PW)、轻度退化(LW)、中度退化(MW)、重度退化(SW)(表 2)。

2.2 湿地植被退化特征分析

样方统计显示, GAD 退化梯度上植物群落共包含高等植物 24 种,隶属 14 科 22 属。其中莎草科(Cyperaceae)4 属 4 种、毛茛科(Ranunculaceae)3 属 3 种、蓼科(Polygonaceae)1 属 3 种、伞形科(Umbelliferae)2 属 2 种、禾本科(Poaceae)2 属 2 种、蔷薇科(Rosaceae)2 属 2 种,其它为十字花科(Brassicaceae)、车前科(Plantaginaceae)、灯心草科(Juncaceae)、睡菜科(Menyanthaceae)、玄参科(Scrophulariaceae)、唇形科(Lamiaceae)、龙胆科(Gentianaceae)、眼子菜科(Potamogetonaceae)各 1 属 1 种。GD 退化梯度上植物群落共包含高等植物 26 种,隶属 15 科 25 属。其中莎草科 4 属 4 种、毛茛科 5 属 5 种、菊科(Compositae)2 属 3 种、玄参科 2 属 2 种、蝶形花科(Papilionaceae)2 属 2 种,其它为十字花科、车前科、大戟科(Euphorbiaceae)、灯心草科、禾本科、黑三棱科(Sparganiaceae)、蔷薇科、伞形科、杉叶藻科(Hippuridaceae)、睡菜科各 1 属 1 种。

GAD 和 GD 退化梯度上植物科、属、种数目逐渐增加,群落高度下降,向低矮型中生群落演替,群落密度和群落盖度也逐渐增加。随退化加剧,多样性指数和物种丰富度均表现出逐渐增加趋势。但 GD 退化梯度上 LW 出现草丘,伴生较多中生植物,导致 LW 的物种多样性稍有增加,多样性指数和物种丰富度排序为 PW<MW<LW<SW。两个退化梯度上均匀度指数波动幅度不大,变化范围为 0.6—0.9(图 3)。

退化梯度上,水生植物逐渐退出群落,沼生植物和湿生植物开始增加,最后以中生植物居多,成为群落主体。SW 下中生植物种数占物种总数目的比例也较高,GAD 和 GD 这一比例分别达 46.7% 和 61.1%(图 4)。

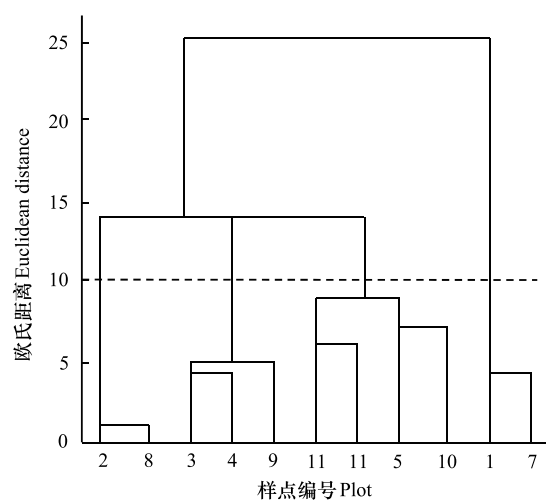


图 2 纳帕海湖滨湿地退化样点聚类分析

Fig. 2 Hierarchical cluster analysis of degraded samples in lakeside wetlands, Napahai

表 2 纳帕海湖滨湿地退化样点环境特征

Table 2 Environment characteristics of the degraded samples in lakeside wetlands, Napahai						
样地 Plot	梯度 Gradient	群落类型 Community type	地貌 Topography	水文 Hydrology	土壤 Soil	水源补给 Water supplement
1	SW	木里薹草-杂类草群落 Com. <i>Carex muliensis</i> -Herb	沟谷陡坡	地表干燥 无积水	沼泽化草甸土	降水
2	MW	灯心草-云生毛茛群落 Com. <i>Juncus effusus</i> - <i>Ranunculus nephelogenes</i> .	沟谷平亢地	地表湿润	沼泽化草甸土	降水
3	LW	水蓼群落 Com. <i>Polygonum hydropiper</i>	沟谷洼地	低洼处见积水	沼泽土	地下水,降水
4	LW	木里薹草群落 Com. <i>Carex muliensis</i>	沟谷洼地	地表偶见积水	泥炭土	地下水,降水
5	PW	水葱群落 Com. <i>Scirpus validus</i>	湖滨洼地	常年地表积水	泥炭土	地下水
6	PW	水葱-灯心草群落 Com. <i>Scirpus validus</i> - <i>Juncus effusus</i>	缓坡湖岸	常年地表积水	泥炭土	地下水
7	SW	木里薹草-杂类草群落 Com. <i>Carex muliensis</i> -Herb	沟谷陡坡	地表干燥 无积水	沼泽化草甸土	降水
8	MW	木里薹草-云生毛茛群落 Com. <i>Carex muliensis</i> - <i>Ranunculus nephelogenes</i>	沟谷平亢地	地表湿润	沼泽化草甸土	降水
9	LW	灯心草群落 Com. <i>Juncus effusus</i>	洼地	低洼处见积水	沼泽土	地下水,降水
10	PW	睡菜群落 Com. <i>Menyanthes trifoliata</i>	缓坡湖岸	常水位接近 地表	泥炭土	地下水,湖水
11	PW	水葱群落 Com. <i>Scirpus validus</i>	湖滨洼地	常年地表积水	泥炭土	地下水,湖水

PW: 原生湿地, Primary wetland; LW: 轻度退化, Lightly degraded wetland; MW: 中度退化, Moderately degraded wetland; SW: 重度退化, Severely degraded wetland

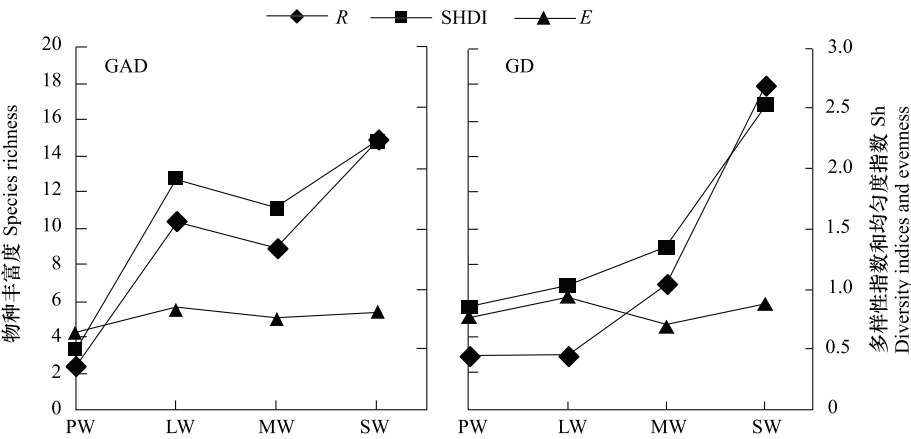


图 3 纳帕海湖滨湿地植物群落物种多样性变化

Fig. 3 Plant species diversity along the degraded gradients of lakeside wetlands, Napahai

R: 物种丰富度 Species richness; SHDI: 多样性指数 Shannon-Wiener diversity indices; E: 均匀度指数 Evenness; GAD: 过度放牧、水文改变协同胁迫, the synergistic impacts of overgrazing stress and water regime; GD: 过度放牧单独胁迫, the single impacts of overgrazing stress; PW: 原生湿地, Primary wetland; LW: 轻度退化, Lightly degraded wetland; MW: 中度退化, Moderately degraded wetland; SW: 重度退化, Severely degraded wetland

水生植物群落向湿生、中生植物群落演替过程中,湿地生产力逐渐提高,沿退化梯度,群落地上生物量(鲜质量)逐渐增加,地上生物量(干质量)变化趋势不明显。GAD 退化梯度上生物量(鲜质量)增幅达 27.3%,GD 上生物量(鲜质量)先稍有下降,然后逐渐上升,整个 GD 上增幅达 28.7%。而地上生物量(干质量)在两个退化梯度上增幅不大。生物量干湿比在两个退化梯度上均呈下降趋势,降幅分别达 16.6% 和 25.0% (图 5)。

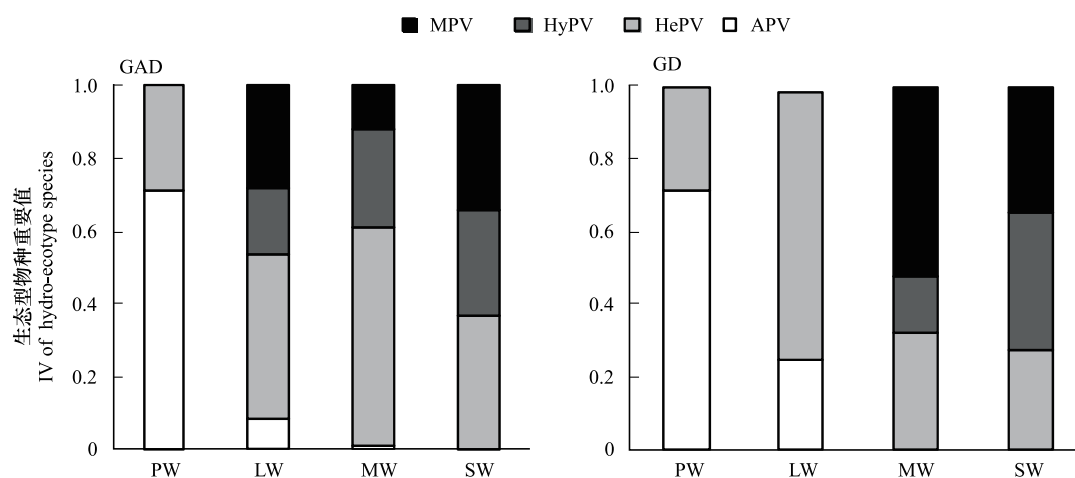


图 4 纳帕海湖滨湿地退化梯度上植物水分生态型特征

Fig. 4 Plant hydro-ecotypes along the degraded gradients of lakeside wetlands, Napahai

APV: 水生植物重要值 IV of aquatic plant; HePV: 沼生植物重要值 IV of helophyte plant; HyPV: 湿生植物重要值 IV of hygrophite plant; MPV: 中生植物重要值 IV of mesophyte plant

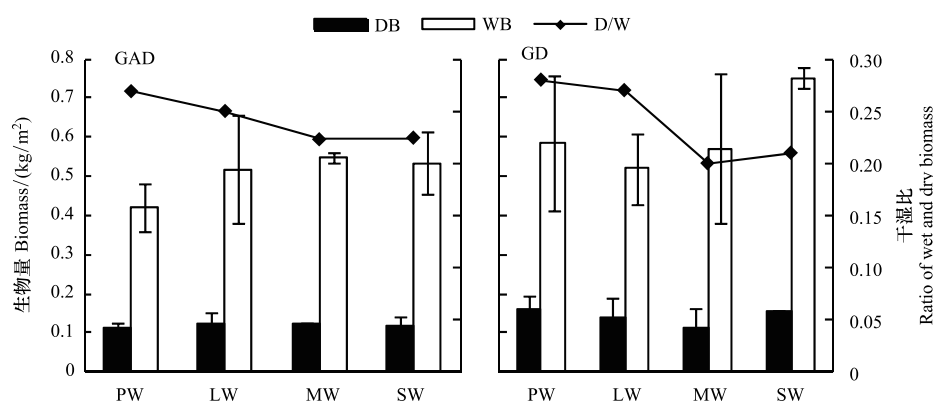


图 5 纳帕海湖滨湿地退化梯度上群落生物量变化

Fig. 5 Changes of plant biomass along the degraded gradients of lakeside wetlands, Napahai

DB: 地上生物量(干质量) Dry biomass; WB: 地上生物量(鲜质量) Wet biomass; D/W: 干湿比 Ratio of wet and dry biomass

2.3 湿地水体退化特征分析

2.3.1 水体矿化度、总硬度、总碱度变化特征

GAD 退化梯度受水文改变影响,导致湿地以高矿化度、硬度和碱度的地下水补给为主,而 MW 和 SW 的地表无积水,补给形式主要为融雪水和降水,故 GAD 退化梯度上 PW 的水体矿化度、总碱度和总硬度偏高,然后随退化加剧逐渐降低。而 GD 梯度上,随着过度放牧加剧,牲畜粪便排泄物输入导致水质恶化,牲畜践踏、啃食、翻拱等都不同程度地造成地表裸露,土壤矿化作用增强,导致受纳水体矿化度、总硬度和总碱度升高,SW 的各指标值偏低(图 6)。

2.3.2 水体氮、磷指标变化特征

GAD 退化梯度上,水体总氮、硝态氮和总磷含量呈下降趋势,氨氮含量有所波动。水体总氮降幅达 60%,硝态氮降幅达到 68%。总磷呈先上升后下降的变化趋势。GD 上总氮、氨氮、硝态氮、总磷均呈上升趋势。其中硝态氮上升了 5.1 倍,氨氮上升了 8.6 倍。总氮含量先下降然后逐渐上升,SW 水体总氮含量是 PW 的 1.4 倍,总磷含量增长超过 2 倍。GD 退化梯度上氨氮含量占总氮的比例很高,MW 和 SW 时这一比例分别达到 71% 和 95%。SW 的水体总氮含量(0.933mg/L)接近国家地表水环境质量标准(GB3838—2002)中Ⅲ类水总

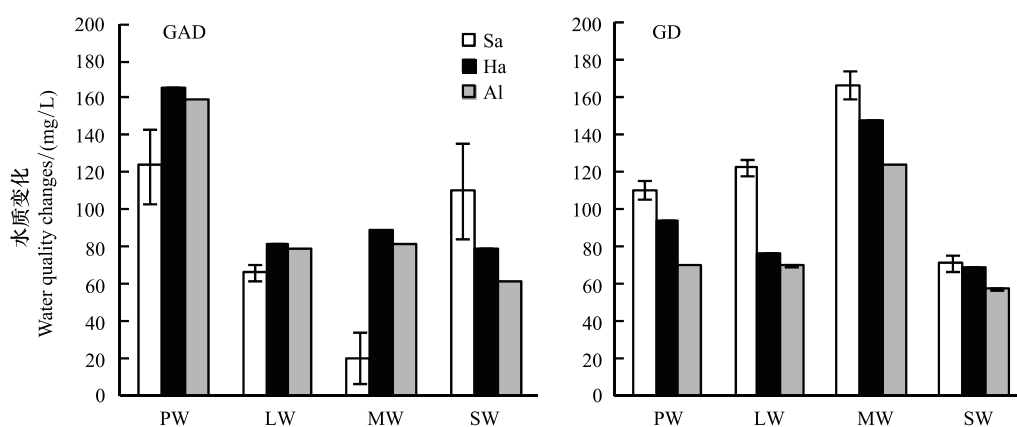


图6 纳帕海湖滨湿地退化梯度上水体基本性质变化

Fig. 6 Changes of water properties along the degraded gradients of lakeside wetlands, Napahai

Sa: 矿化度 Salinity; Ha: 总硬度 Total hardness; Al: 总碱度 Total alkalinity

氮标准,总磷含量(0.762mg/L)远远超过V类水总磷标准(图7)。

随退化加剧,GAD的水体N/P呈先下降后上升趋势,从PW的8.5:1下降到4.6:1,然后在SW又增加到12.3:1。GD下N/P变化幅度不大,稳定在1.4:1—1.9:1,但低于GAD(图7)。对比可知,GAD的水体总氮含量均高于GD,导致GAD退化梯度上水体N/P远远高于GD,二者受水源补给方式的差异导致水质变化较明显。

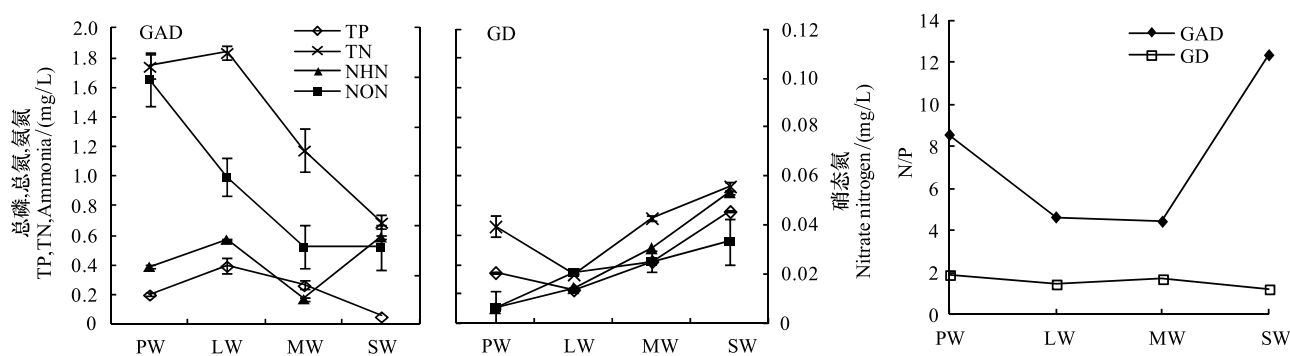


图7 纳帕海湖滨湿地退化梯度上水体氮、磷含量变化

Fig. 7 Changes of water N, P content along the degraded gradients of lakeside wetlands, Napahai

TN: 总氮 Total nitrogen; NHN: 氨氮 Ammonia nitrogen; NON: 硝态氮 Nitrate nitrogen; TP: 总磷 Total phosphorus

2.4 湿地土壤退化特征分析

2.4.1 土壤 pH 和有机质变化特征

纳帕海湿地土壤以中性偏酸性土壤为主,GAD上原生湿地土壤pH要高于退化后湿地,但LW的土壤pH在整个退化梯度上最低,表层和亚表层土壤pH排序为:LW < SW < MW < PW。GD退化梯度上pH呈下降趋势,表层和亚表层在整个退化梯度上降幅分别达24.1%和13.9%(图8)。在垂直剖面上,GAD土壤pH随深度增加有所下降,GD却表现出上升趋势,水源补给方式的差异导致GAD退化梯度上土壤pH要低于GD退化梯度。

沿退化梯度,受土壤矿化作用增强和人为干扰加剧影响,土壤有机质(OM)含量呈下降趋势。GAD退化梯度上表层土壤OM呈下降趋势,下层OM无明显变化规律。沿GD退化梯度,PW的土壤OM含量较高,表层和亚表层均高于下层。随退化加剧,GD的土壤OM含量呈下降趋势(图8)。

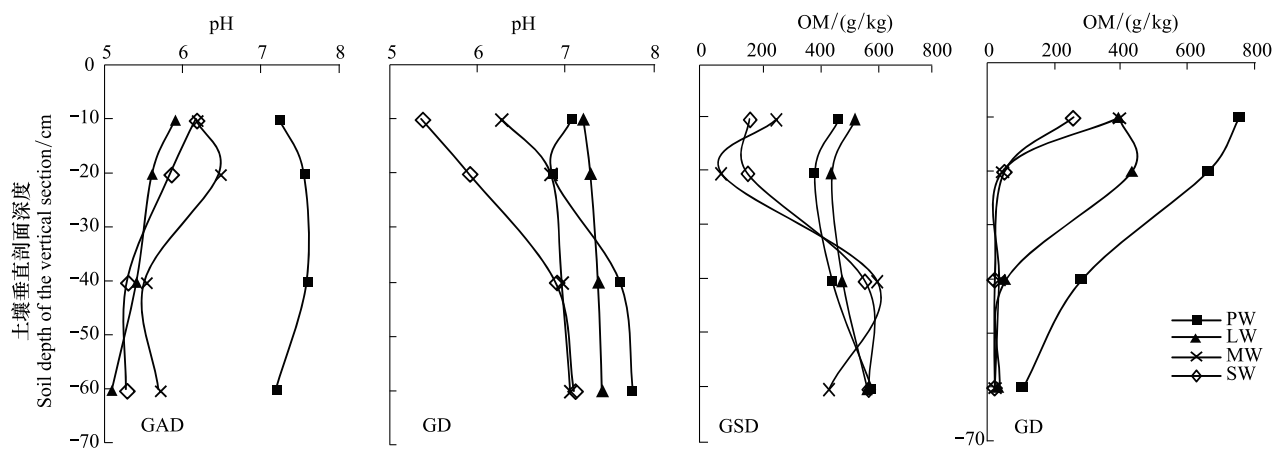


图8 纳帕海湖滨湿地退化梯度上土壤 pH、有机质变化

Fig. 8 Changes of soil pH and OM along the degraded gradients of lakeside wetlands, Napahai

pH: 土壤 pH Soil pH; OM: 土壤有机质 Organic matter

2.4.2 土壤养分指标变化特征

GAD 退化梯度上,土壤全氮含量逐渐下降,特别是表层(0—10cm)和亚表层(10—30cm)下降趋势较为明显,降幅分别高达 65.1%、67.1%。全磷和全钾却随退化加剧呈逐渐上升趋势,表层和亚表层全磷增幅分别达 91.8% 和 95.9%,全钾在 PW 土壤表层和亚表层含量均增加 1 倍左右。速效氮在 GAD 上逐渐下降,表层降幅达到 46.4%,亚表层降幅达 56.6%。速效磷含量随退化加剧有所升高,表层增幅明显。速效钾含量变化趋势并不明显,表层速效钾含量排序为 SW<MW<PW<LW。

GAD 土壤垂直剖面上,全氮含量随深度增加有所上升,PW 和 LW 的全氮含量随垂直深度增加而有少量增加,但 MW 和 SW 时增加较明显。全磷、全钾含量随深度增加有所下降,在 SW 时下降最为明显,50—80cm 处全磷、全钾含量分别只有表层的 51.3% 和 53.4%。速效氮和速效磷含量随土壤深度增加下降趋势不大,但速效钾含量下降幅度较大,在 30cm 以下土壤速效钾含量仅为表层的 11%—46%,具有明显的表聚性特征。

GD 退化梯度上,土壤全氮含量呈下降趋势,PW 向 MW 退化时全氮含量下降较明显,表层全氮下降幅度为 21.1%,亚表层达到 88.1%。全磷和全钾含量却随退化加剧而逐渐升高,表层土壤全磷含量增幅达 27.9%,表层全钾含量增幅高达 143.1%。速效氮含量呈下降趋势,表层降幅明显。土壤速效磷在整个 GD 上上升幅度并不明显,表层土壤速效磷含量排序为 LW<PW<SW<MW。速效钾含量有所波动,表层排序为 LW<SW<MW<PW。

GD 土壤垂直剖面上,全氮主要集中在表层(0—10cm)和亚表层(10—30cm),全磷含量在 30cm 深度以下基本上保持在 0.5g/kg 水平,显著低于上层。但是全钾含量却随土壤深度增加有所升高。土壤速效养分具有明显的表聚性,特别是速效钾。垂直剖面上 MW 和 SW 的速效氮下降趋势比 LW 和 PW 明显,MW 土壤 30cm 以下速效氮含量是表层的 10% 左右,而 SW 时也只有 15%。速效磷含量在 50—80cm 会高于中间 10—50cm 层,但仍低于表层 0—10cm 处。速效钾在 30cm 以下含量已降低到表层的 1/5—1/8(图 9)。

GAD 上土壤 C/N 在各层土壤中呈上升趋势,而在 GD 上 C/N 呈逐级下降趋势。GD 退化梯度 PW 及 LW 的 C/N 较高,退化加剧后则逐渐降低,各土壤层均表现出下降趋势。GAD 和 GD 上 N/P 逐渐下降,SW 时略有升高,总体呈下降趋势。GAD 的下层 N/P 要高于上层,特别是第四层 N/P 明显高于上层。而在 GD 上正相反,上层 N/P 基本要高于下层(图 10)。在两个退化梯度上土壤 C/N 和 N/P 主要取决于全氮含量的变化,氮素的赋存形态和含量是湿地退化的最明显特征。

3 湿地退化评价

对 30 个“植物-水体-土壤”指标采用 Z 标准化(标准值=[原始值-原始值均值]/原始值标准差)处理后

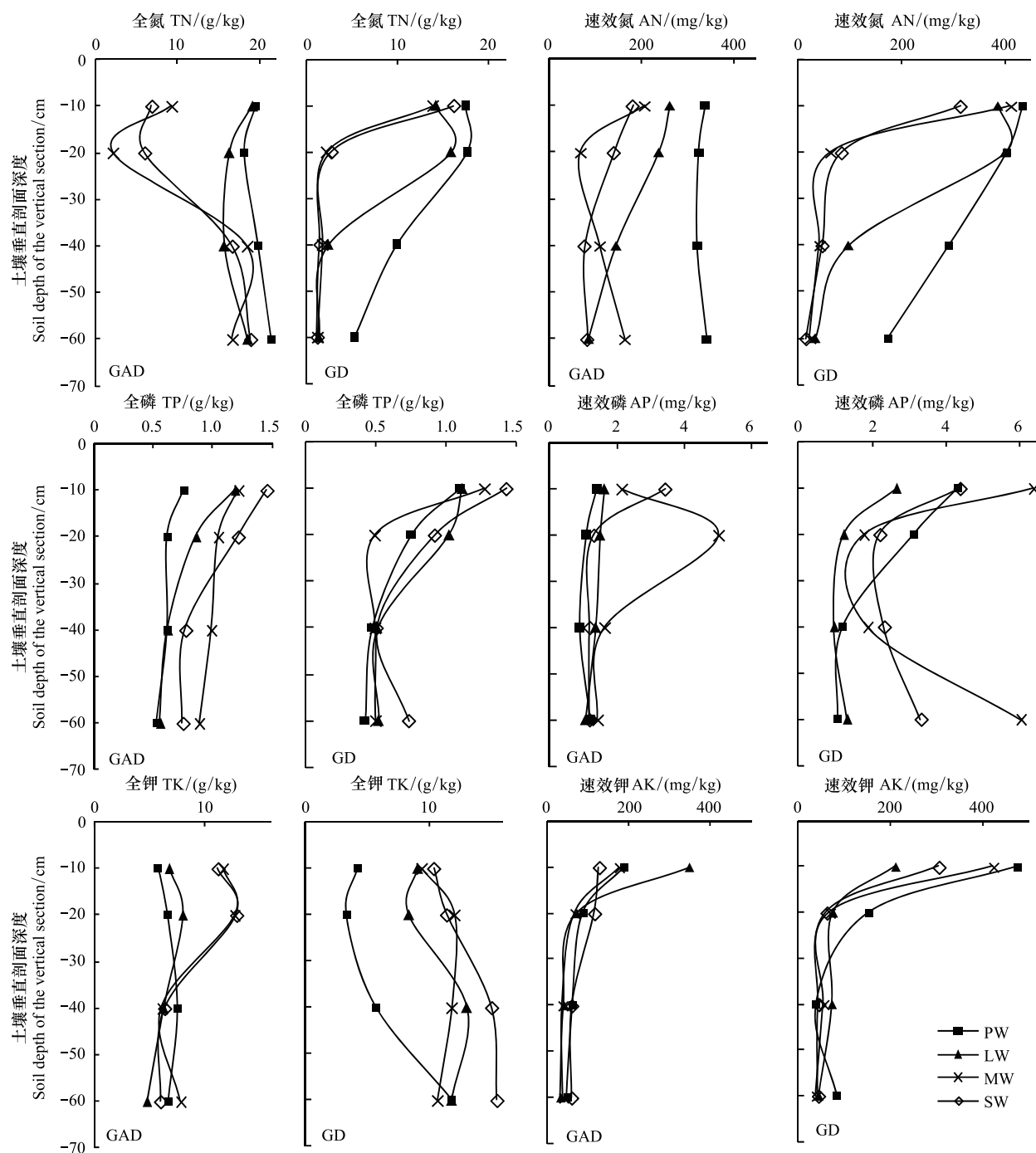


图9 纳帕海湖滨湿地退化梯度上土壤氮磷钾养分沿垂直剖面变化

Fig. 9 Changes of N, P, K content in the soil vertical profiles along the degraded gradients of lakeside wetlands, Napahai

进行主成分分析,前3个主成分分别解释了54.8%、29.1%和15.9%的原始信息,累计解释量为99.8%。其中第一、第二主成分共携带83.9%的原始信息,选择前两个主成分为坐标轴做系统指标排序散点图(图11)。第一主成分(PC1)与土壤速效磷、植物群落盖度、土壤全钾相关性最高,与土壤全氮、水体总氮、土壤有机质、土壤氮磷比相关性最低;第二主成分(PC2)与植物群落均匀度指数、中生植物重要值、地上生物量(干质量)的相关性最高,与水体总硬度、总碱度、土壤速效磷、速效钾、水生植物重要值、群落盖度相关性最低。因此,第一主成分集中代表了土壤信息,主要反映土壤指标变化。第二主成分集中代表了植物群落信息,主要反映植物群落指标变化。

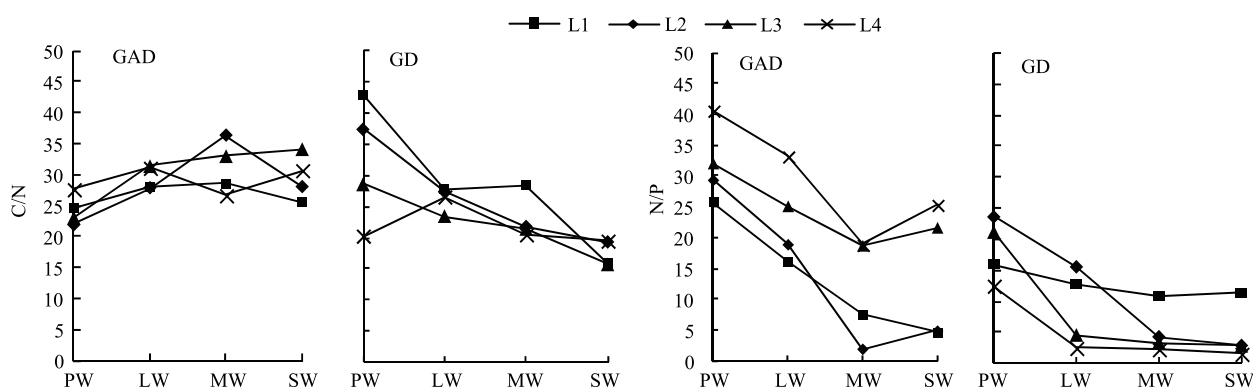


图 10 纳帕海湖滨湿地退化梯度上土壤碳氮比、氮磷比变化

Fig. 10 Changes of soil C/N and N/P along the degraded gradients of lakeside wetlands, Napahai

L1: 表层 (0—10cm); L2: 亚表层 (10—30cm); L3: 第三层 (30—50cm); L4: 第四层 (50—80cm)

通过主成分分析,将 30 个“植物-水体-土壤”指标简化为三个主成分,分别携带了原始指标 54.8%、29.1 和 15.9% 的信息,基于 PCA 三个主成分建立多元回归模型:

$$PC = 0.548 \times PC1 + 0.291 \times PC2 + 0.159 \times PC3$$

计算湿地退化梯度综合指标分值(PC 值),定量描述滇西北高原湖滨纳帕海湿地退化程度。结果显示(图 12),沿退化梯度,PC 值呈逐级上升趋势,PW 的 PC 值为负值,然后在 MW 和 SW 时为正,PC 值越大,代表湿地退化越严重。结合野外观察和 PCA 分析,将 PC 值划分为 4 个区间建立湿地评价模型:(1) $PC \leq -0.300$,为原生湿地(PW);(2) $-0.300 < PC \leq 0.100$,为轻度退化湿地(LW);(3) $0.100 < PC \leq 0.400$,为中度退化湿地(MW);(4) $PC > 0.400$,为重度退化湿地(SW)。

4 讨论

4.1 湿地植被退化过程及机制

随湿地退化加剧,植物群落物种科、属、种数目逐渐增多,群落密度和盖度增加,群落高度降低,地上生物量(鲜质量)有所增加。物种丰富度和多样性指数逐渐增加。水生植物逐渐退出生境,沼生、湿生植物比例逐渐增加,最后中生植物开始占据群落的主体。纳帕海湿地过度放牧胁迫下植被退化较快,适口性植物比例严重下降,鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)、北水苦荬(*Veronica anagallis*)、矮地榆(*Sanguisorba filiformis*)等杂草类比例较高,并出现草甸典型退化植物大狼毒(*Euphorbia jolkini*)等,部分区域甚至出现裸地,过度放牧在一定程度上加速了向草甸演化这一过程。前人对若尔盖高原沼泽植被退化研究时也发现这一规律,过度放牧干扰了群落固有演替模式,在演替方向上未发生本质变化,但过度放牧起到加速沼泽植被演替的作用^[18]。

经过两年湖滨带湿地野外考察与植物样方观测,并结合地貌、水文、土壤及环境条件,得到滇西北高原纳帕海湖滨湿地植物群落演替模式(图 13)。GAD 样带受水文改变胁迫,水分梯度影响群落演替模式,从积水较深的水葱群落向水葱-灯心草群落、水蓼群落演替,然后随地表积水减少向木里藁草群落退化,严重退化的草甸区群落退化成灯心草-云生毛茛群落和木里藁草-杂类草群落(图 13a)。GD 样带所处区域地势较缓,具

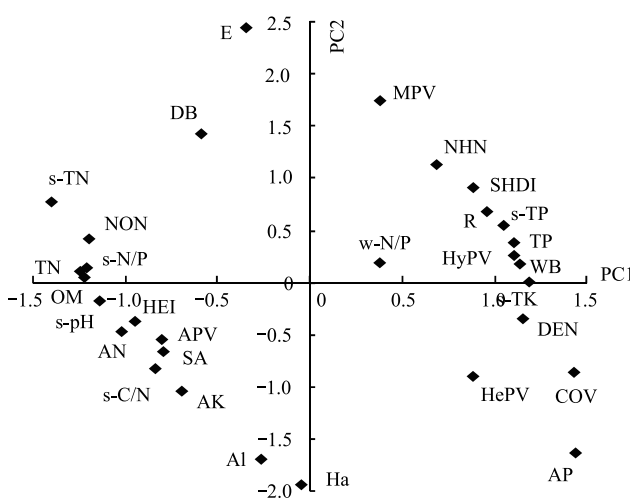


图 11 纳帕海湖滨湿地系统指标 PCA 排序图

Fig. 11 PCA ordination diagram of indices in degraded wetlands on the lakeside zone, Napahai

COV: 群落盖度 Coverage; HEI: 群落高度 Height; DEN: 群落密度 Density. 其他指标同前 The others are same to before

有渐变生境特征,湖滨带主要以水葱群落为主,然后逐渐向睡菜群落演替,沼泽化草甸主要以灯心草群落为主,然后逐渐向木里藎草-云生毛茛群落、木里藎草-杂类草群落演替,严重退化区地表甚至无植被(图 13b)。在纳帕海湿地综合演替模式上,水分梯度主导该区植物群落演替,微地貌变化和人为活动干扰加剧会导致湿地植物群落出现跳跃式演替,但并不改变群落演替方向(图 13c)。在前人的研究基础上进一步深入后^[13,19],总结出纳帕海湿地植物群落演替规律为:水生植物群落→沼泽植物群落→沼泽化草甸植物群落→草甸植物群落。

4.2 湿地水体退化过程及机制

在 GAD 和 GD 上,水体指标变化规律有所差异。沿 GAD 退化梯度,原生湿地水体矿化度、总硬度、总碱度较高,随退化加剧逐渐下降。总氮、硝态氮和总磷指标在整个 GAD 退化梯度呈下降趋势,氨氮指标出现波动。沿 GD 退化梯度,矿化度、总硬度、总碱度、总氮、氨

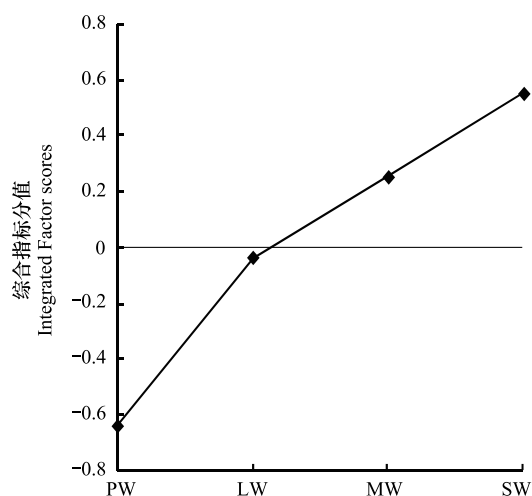


图 12 纳帕海湖滨退化湿地综合指标分值

Fig. 12 Integrated factor scores of five degraded gradients of lakeside wetlands, Napahai

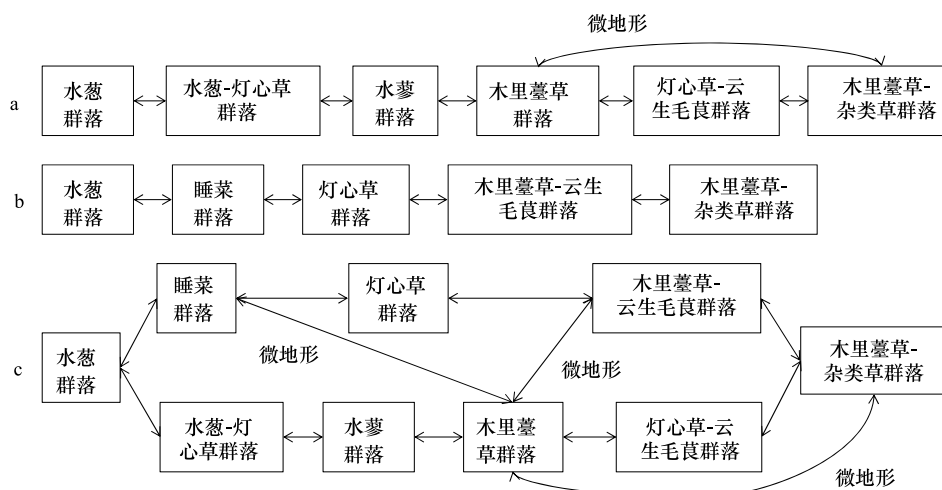


图 13 纳帕海湖滨湿地植物群落演替模式

Fig. 13 Plant community succession of the lakeside wetlands community, Napahai

a: GAD 退化梯度样带 Transect of GAD; b: GD 退化样带 Transect of GD; c: 纳帕海湿地综合演替模式 General succession mode of wetlands

氮、硝态氮、总磷等指标均逐渐升高。且氨氮含量占总氮的比例也逐渐升高,水体呈现一定富营养化趋势。

GAD 与 GD 上水体指标变化趋势有所差异,这与湿地退化胁迫因素有紧密联系。GD 退化主要受过度放牧影响,沿退化梯度水质氮、磷指标有所升高,主要原因是:(1)过度放牧胁迫下牛、马、猪等牲畜排泄物过量输入湿地水体,有机物容易分解;(2)牲畜践踏导致土壤结构功能破坏,有机物分解加快使土壤氮、磷营养物进入沼泽地表水体,总氮和总磷严重超标;(3)湿地退化后,净化水质能力下降,环境容量减小,水质会随之退化,过度放牧胁迫下湿地水体退化是一个正反馈的过程。而 GAD 退化受水文改变影响导致湿地水源补给主要来自高矿化度、高硬度和高碱度的地下水,故原生沼泽湿地水体指标含量较高;而重度退化时湿地地表无积水,主要受融雪水和降水补给,沿退化梯度水体指标有所降低。湿地水体的营养程度会对植物群落演替产生重要影响^[20],而水文改变胁迫对水质退化影响较明显。

4.3 湿地土壤退化过程及机制

沿退化梯度,土壤 pH、有机质、全氮含量逐渐下降,其机制如下:湿地逐渐向草甸退化,土壤通气性增加,

加速了有机质矿化过程。植物群落啃食严重导致有机物输入量减少,分解量增加,土壤有机质含量急剧下降。土壤全氮与土壤有机质之间存在显著正相关性,放牧胁迫下土壤全氮亦随分解加剧而降低。研究发现,随着湿地土壤水分被排干,通气性增加导致全氮被分解而使速效氮含量增加^[12],但本研究中土壤速效氮含量却随沼泽土向沼泽化草甸土退化过程中逐渐下降。分析可知,采样期 7、8 月为该区植物生长旺季,速效氮被植物吸收和微生物利用增强而有所下降。前人对纳帕海湿地土壤速效氮含量研究也发现,沼泽土速效氮组分含量显著高于沼泽化草甸土和中生草甸土^[21]。

湿地土壤钾含量主要来自可利用营养物的累积,它取决于湿地植物吸收和植物残体死亡后累积^[22]。退化梯度上群落生产力逐渐提高,土壤全磷、全钾含量表现出逐渐上升趋势。而土壤速效磷养分上升趋势并不明显,速效钾养分变化无明显规律。此外,GD 退化梯度土壤碳氮比和氮磷比沿湿地退化梯度逐渐下降,GAD 退化梯度上土壤氮磷比也逐渐下降,但碳氮比稍有升高,这主要受土壤全氮含量影响。有对美国佛罗里达州大沼泽地湿地退化研究发现,其退化原因是沼泽区水文条件和土地利用方式变化以及过量施肥导致沼泽磷污染严重,进而引起湿地退化^[23]。随退化加剧,土壤有机质和氮磷含量受影响较大^[24],尤其是对氮含量的影响最显著,氮素的赋存形态和含量变化是湿地退化的最明显特征。

在土壤垂直剖面上,GD 退化梯度土壤全氮、速效氮养分比 GAD 表聚性更明显。GD 由于受湖水周期性补给,氮素在干湿交替下分解较为严重,植物残体层厚度要低于 GAD 退化梯度,下层土壤全氮和速效氮含量较低。而严重退化后土壤养分积累量急剧下降,植物残体厚度非常薄,下层养分含量明显低于表层,湿地退化后土壤逐渐变得贫瘠,这与三江平原典型湿地土壤营养元素空间分异规律相近^[25]。

4.4 湿地指标排序分析

对多指标进行 PCA 分析,第一主成分主要代表土壤指标,第二主成分主要代表植物指标。随湿地退化加剧,退化梯度与土壤指标的相关性逐渐增加,湿地退化对土壤指标影响显著。湿地土壤养分变化反映了土壤环境的改变,并随胁迫强度的加剧而退化。在人类活动干扰下,土壤养分含量降低,湿地土壤退化日趋严重,人类活动是导致土壤质量下降的主要原因,与我国三江平原、若尔盖高原以及国外湿地土壤退化形成机制基本相同^[25-27]。原生湿地退化梯度与植物指标呈负相关,中度、重度退化梯度与植物指标相关性逐渐增加,说明随湿地退化加剧植物群落演替速率逐渐加快,由水生或沼生植物群落向中生植物群落退化。

相对于土壤退化和植被退化对纳帕海湖滨湿地退化的响应程度,水体指标受湿地退化影响复杂。一方面是由于水文周期变化导致湿地水质并不十分稳定;另一方面,严重退化时湿地已经完全退化为草甸,地表已无明显积水,水源补给方式差异对水质影响程度较大。

5 结论

(1)随湿地退化加剧,植物群落结构趋于复杂,物种多样性、丰富度增加,地上生物量也逐渐增加。水生、沼生植物群落逐渐向湿生、中生植物群落演替。纳帕海湖滨湿地植物群落演替模式为:水生植物群落→沼泽植物群落→沼泽化草甸植物群落→草甸植物群落。水文改变影响下微地形差异导致湿地植物群落类型更加复杂。放牧活动干扰了群落固有演替过程,在演替方向上未发生本质变化,但加快群落演替速率,在一定程度上加速了沼泽化草甸向草甸演替这一过程。

(2)过度放牧胁迫下水体矿化度、总硬度、总碱度升高,氮、磷含量增加,而水文改变和过度放牧协同胁迫对水体影响规律与之相反,水文改变是导致湿地水质退化规律差异的主要因素。

(3)过度放牧和水文改变胁迫导致土壤养分含量逐渐下降,土壤有机质、全氮、速效氮含量降低,土壤全磷、全钾增加,速效磷、速效钾含量变化不明显。在垂直剖面上,土壤全磷、速效磷和速效钾含量具有表聚性。过度放牧干扰对土壤结构和养分变化负面影响更剧烈。氮素的赋存形态和含量是湿地退化的最明显特征。

(4)PCA 研究显示,植物群落和土壤指标随着纳帕海湖滨湿地退化加剧变化显著,而水质的响应程度复杂。基于 PCA 建立纳帕海高原湖滨湿地退化定量评价模型: $PC=0.548 \times PC1+0.291 \times PC2+0.159 \times PC3$ 。并进行湿地退化评价: $PC \leq -0.300$,原生湿地; $-0.300 < PC \leq 0.100$,轻度退化; $0.100 < PC \leq 0.400$,中度退化; $PC >$

0.400, 重度退化。

References:

- [1] Yang Y X. The 21st century hot point and forward position field of international wetland research from Quebec 2000-Millennium Wetland Event. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(2): 150-155.
- [2] Yang Y X. Ecological environment deterioration, mire degeneration and their formation mechanism in the Zoige Plateau. *Journal of Mountain Science*, 1999, 17(4): 318-323.
- [3] Frank D A. The interactive effects of grazing ungulates and aboveground production on grassland diversity. *Oecologia*, 2005, 143(4): 629-634.
- [4] Boswell J S, Olyphant G A. Modeling the hydrologic response of groundwater dominated wetlands to transient boundary conditions; Implications for wetland restoration. *Journal of Hydrology*, 2007, 332: 467-476.
- [5] Li K, Yang Y X, Yang Y, Han D Y. Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(20): 5956-5969.
- [6] Manier D J, Hobbs N T. Large herbivores in sagebrush steppe ecosystems; livestock and wild ungulates influence structure and function. *Oecologia*, 2007, 152(4): 739-750.
- [7] Prieto M R, Rojas F. Changing climatic and anthropogenic influences on the Bermejo wetland, through archival documents-Mendoza, Argentina, 16th—20th centuries. *Clim. Past Discuss*, 2011, (7): 3775-3794.
- [8] Zamolyi A, Szekely B, Draganits E, Timar G. Neotectonic control on river sinuosity at the western margin of the Little Hungarian Plain. *Geomorphology*, 2010, 122(3/4): 231-243.
- [9] Jiang J H, Huang Q, Sun Z D. Analysis of ecological environment of lake-wetland in Yangtze River basin. *Ecology and Environment*, 2006, 15(2): 424-429.
- [10] Yang Y X, Yang Y, Liu C E. The basic academic issue of wetland and wetland science and ecological and environmental function of wetland ecosystem. *Landscape Architecture China*, 2009, 3: 14-17.
- [11] Xiao D R, Tian K, Yang Y M, Yun H, Li N Y, Xu S G. Relationship between plant diversity and soil fertility in Napahai wetland of Northwestern Yunnan Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 16(2): 523-529.
- [12] Tian K. Mechanism and Process of Soil Degradation in Napahai Wetland on Yunnan Plateau. Changchun: Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, 2004.
- [13] Tian K, Mo J F, Lu M, Chang F L, Yang Y X. Human disturbances on the ecological environment degradation of Napahai wetland in the upstream of Yangtze river. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2004, 13(3): 292-295.
- [14] Wang Y, Li Q L, Guan L, Fang R, Jiang R. Effect of Traffic Noise around Napahai Wetland Highway on Birds. *Chinese Journal of Zoology*, 2011, 46(6): 65-72.
- [15] Chinese SEPA. Water and wastewater analytical method (The fourth edition). Beijing: China Environmental Sciences Press, 2002.
- [16] The Institute of Soil Science, CAS. Analysis of Soil Physical and Chemical Characteristics. Shanghai: Shanghai scientific & Technical Publishers, 1987.
- [17] Ma K P, Huang J H, Yu S L, Chen L Z. Plant community diversity in Dongling mountain, Beijing, China II: Species richness, evenness and species diversities. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(3): 268-277.
- [18] Han D Y, Yang Y X, Yang Y, Li K. Species composition and succession of swamp vegetation along grazing gradients in the Zoige plateau, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(20): 5946 - 5955.
- [19] Zhang K, Tian K, Mo J F, Chang F L, Lu M, Li L Y. Impacts of hydrological periods on organic matters in Napahai wetlands. *J. Lake Sci*, 2007, 19(6): 705-709.
- [20] Jin X C, Yan C Z, Xu Q J. The community features of aquatic plants and its influence factors of lakeside zone in the north of Lake Taihu. *J. Lake Sci*, 2007, 19(2): 151-157.
- [21] Hu J M, Yuan H, Li J, Dong Y X, Ma B B. Variation of soil rapid available nitrogen components and its implication in Napahai lake-marsh region, Northwest Yunnan Mountain. *Journal of Mountain Science*, 2011, 29(3): 269-275.
- [22] Venterink H O, Pieterse N M, Belgers J D, Wassen M J, DeRuiter P C. N, P, and K budgets along nutrient availability and productivity gradients in wetlands. *Ecological Applications*, 2002, 12(4): 1010-1026.
- [23] Newman S, Grace J B, Koebel J W. Effects of nutrients and hydro period on *Typha*, *Cladium*, and *Eleocharis*; Implications for everglades restoration. *Ecological Application*, 1996, 6(3): 774-783.
- [24] Tian K, Chen 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): 1937-1943.

- [25] Liu J P, Yang Q, Lu X G. Study on spatial distribution of soil nutrient elements of annular wetlands in Sanjiang Plain. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(2): 76-79.
- [26] Yang Y X, Wang S Y. Human disturbances on mire and peat soils in the Zoige plateau. Resources Science, 2001, 23(2): 37-41.
- [27] Andreas Grunig, ed. Mire and Man: Mire Conservation in a Densely Populated Country the Swiss Experience, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Switzerland, 1994.

参考文献:

- [1] 杨永兴. 从魁北克 2000-世纪湿地大事件活动看 21 世纪国际湿地科学研究的热点与前沿. 地理科学, 2002, 22(2): 150-156.
- [2] 杨永兴. 若尔盖高原生态环境恶化与沼泽退化及其形成机制. 山地学报, 1999, 17(4): 318-323.
- [5] 李珂, 杨永兴, 杨杨, 韩大勇. 放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因子. 生态学报, 2011, 31(20): 5956-5969.
- [9] 姜加虎, 黄群, 孙占东. 长江流域湖泊湿地生态环境状况分析. 生态环境, 2006, 15(2): 424-429.
- [10] 杨永兴, 杨杨, 刘长娥. 湿地与湿地科学基本理论问题与湿地生态系统的生态、环境功能. 景观设计学, 2009, 3: 14-17.
- [11] 肖德荣, 田昆, 杨宇明, 袁华, 李宁云, 徐守国. 高原退化湿地纳帕海植物多样性格局特征及其驱动力. 生态环境, 2007, 16(2): 523-529.
- [12] 田昆. 云南纳帕海高原湿地土壤退化过程及驱动机制. 北京: 中国科学院研究生院, 2004.
- [13] 田昆, 莫剑锋, 陆梅, 常凤来, 杨永兴. 人为活动干扰对纳帕海湿地环境影响的研究. 长江流域资源与环境, 2004, 13(3): 292-295.
- [14] 王云, 李麒麟, 关磊, 房锐, 姜睿. 纳帕海环湖公路交通噪声对鸟类的影响. 动物学杂志, 2011, 46(6): 65-72.
- [15] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第四版). 中国环境科学出版社, 2002.
- [16] 中国科学院南京土壤所. 土壤理化性质分析. 上海: 上海科技出版社, 1987.
- [17] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 陈灵芝. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II: 丰富度、均匀度和物种多样性指数. 生态学报, 1995, 15(3): 268-277.
- [18] 韩大勇, 杨永兴, 杨杨, 李珂. 放牧干扰下若尔盖高原沼泽湿地植被种类组成及演替模式. 生态学报, 2011, 31(20): 5946 - 5955.
- [19] 张昆, 田昆, 莫剑锋, 常凤来, 陆梅, 李宁云. 水文周期对纳帕海高原湿地草甸土壤碳素的影响. 湖泊科学, 2007, 19(6): 705-709.
- [20] 金相灿, 颜昌宙, 许秋瑾. 太湖北岸湖滨带观测场水生植物群落特征及其影响因素分析. 湖泊科学, 2007, 19(2): 151-157.
- [21] 胡金明, 袁寒, 李杰, 董云霞, 马彬斌. 滇西北纳帕海湿地区域土壤速效氮组分的分异及指示意义. 山地学报, 2011, 29(3): 269-275.
- [24] 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): 1937-1943
- [25] 刘吉平, 杨青, 吕宪国. 三江平原典型环型湿地土壤营养元素的空间分异规律. 水土保持学报, 2005, 19(2): 76-79.
- [26] 杨永兴, 王世岩. 人类活动干扰对若尔盖高原沼泽土、泥炭土资源影响的研究. 资源科学, 2001, 23(2): 37-41.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 15 Aug. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review on the application of remote sensing in mangrove ecosystem monitoring SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, GUO Wenyong, et al (4523)
- Urban metabolism process based on emergy synthesis: Theory and method LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (4539)
- Theoretical considerations on ecological civilization development and assessment ZHAO Jingzhu (4552)

Autecology & Fundamentals

- Assemblage composition and distribution of meiobenthos in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in autumn-winter season Yu Tingting, XU Kuidong (4556)
- Ecological distribution and nutrient limitation of phytoplankton in adjacent sea of Guanhe Estuary in spring FANG Tao, HE Xinran, FENG Zhihua, et al (4567)
- The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring HUANG Kaixuan, ZHANG Yun, OU Linjian, et al (4575)
- Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica* LIANG Xiaoqin, LIU Jian, DING Wenjuan, et al (4583)
- Allelopathic effects of organic acid allelochemicals on melon ZHANG Zhizhong, SUN Zhihao, CHEN Wenhui, et al (4591)
- Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH₄ emission fluxes WU Jiamei, JI Xionghui, HUO Lianjie, et al (4599)
- Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide WANG Huangping, ZHANG Qing, WENG Boqi, et al (4608)
- Comparison of isolation rate of mycobacteriophage in the different type soils XU Fengyu, SU Shengbing, MA Hongxia, et al (4616)
- Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars BIAN Yajiao, HUANG Jie, SUN Qisong, et al (4623)
- The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking LI Bingbing, WEI Xiaohong, XU Yan (4631)
- Physiological responses of four golden-leaf trees to SO₂ stress CHONG Peifang, SU Shiping (4639)
- Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil XIONG Bailian, ZHANG Jinzhong, DAI Juan, et al (4649)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal dynamics of food web energy pathways at the community-level XU Jun, ZHOU Qiong, WEN Zhourui, et al (4658)
- Population dynamics of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (4665)
- Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region ZHU Qiulian, XING Xiaoyi, ZHANG Hong, et al (4674)
- Adaptation strategies of reproduction of plant community in response to grassland degradation and artificial restoration LI Yuanyuan, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (4683)
- Effect of different *Cunninghamia lanceolata* plantation soil qualities on soil microbial community structure LIU Li, XU Mingkai, WANG Silong, et al (4692)
- Effects of different maize hybrids (inbreds) on the growth, development and population dynamics of *Rhopalosiphum maidis* Fitch ZHAO Man, GUO Xianru, LI Weizheng, et al (4707)
- Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve LU Xunling, DING Shengyan, YOU Li, et al (4715)

- Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China LIU Wei, MEN Lina, LIU Xinmin (4724)
- Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations KE Wenshan, CHEN Shijian, XIONG Zhiting, et al (4737)
- Measurement and retrieval of leaf area index using remote sensing data in Kanas National Nature Reserve, Xinjiang ZAN Mei, LI Dengqiu, JU Weimin, et al (4744)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City LIANG Youjia, XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, et al (4758)
- Spatiotemporal characteristics of *Spartina alterniflora* marsh change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities ZHANG Huabing, LIU Hongyu, Hou Minghang (4767)
- Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau SHANG Wen, YANG Yongxing, HAN Dayong (4776)
- On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS NAN Ying, JI Zhe, FENG Hengdong, et al (4790)
- Evaluation and simulation of historical range of variability of forest landscape pattern in Huzhong area WU Zhifeng, LI Yuehui, BU Rencang, et al (4799)
- Effects of precipitation timing on aboveground net primary productivity in inner mongolia temperate steppe GUO Qun, HU Zhongmin, LI Xuanran, et al (4808)
- Research Notes**
- Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China WANG Jianjian, WANG Yongji, LAI Liming, et al (4818)

《生态学报》2013 年征订启事

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

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大16开本,300页,国内定价90元/册,全年定价2160元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

本期责任副主编 赵景柱

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15期 (2013年8月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 15 (August, 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