

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

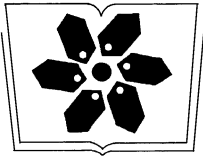
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第20期 Vol.31 No.20 **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 20 期 2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

- 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性..... 王宝强,薛俊增,庄 骅,等 (5865)
- 天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征..... 冯剑丰,王秀明,孟伟庆,等 (5875)
- 基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析..... 薛亚东,李 丽,李迪强,等 (5886)
- 三江平原湿地鸟类丰富度的空间格局及热点地区保护..... 刘吉平,吕宪国 (5894)
- 江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制 王 千,金晓斌,周寅康 (5903)
- 广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度..... 朱耀军,王 成,贾宝全,等 (5910)
- 景观结构动态变化及其土地利用生态安全——以建三江垦区为例 林 佳,宋 戈,宋思铭 (5918)
- 基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划..... 李 晖,易 娜,姚文璟,等 (5928)
- 苏南典型城镇耕地景观动态变化及其影响因素..... 周 锐,胡远满,苏海龙,等 (5937)
- 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..... 韩大勇,杨永兴,杨 杨,等 (5946)
- 放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因子..... 李 珂,杨永兴,杨 杨,等 (5956)
- 近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响..... 蓝文陆 (5970)
- 万仙山油松径向生长与气候因子的关系 彭剑峰,杨爱荣,田沁花 (5977)
- 50 年来山东塔山植被与物种多样性的变化 高 远,陈玉峰,董 恒,等 (5984)
- 热岛效应对植物生长的影响以及叶片形态构成的适应性..... 王亚婷,范连连 (5992)
- 遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响..... 刘建锋,杨文娟,江泽平,等 (5999)
- 遮荫对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响..... 韩忠明,赵淑杰,刘翠晶,等 (6005)
- 云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应..... 王 辉,谢永生,杨亚利,等 (6013)
- 杭州湾滨海滩涂盐基阳离子对植物分布及多样性的影响 吴统贵,吴 明,虞木奎,等 (6022)
- 藏北高寒草原针茅属植物 AM 真菌的物种多样性..... 蔡晓布,彭岳林,杨敏娜,等 (6029)
- 成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化..... 赵 平,邹绿柳,饶兴权,等 (6038)
- 荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性..... 杜 宁,张秀茹,王 炜,等 (6049)
- 短期极端干旱事件干扰后退化沙质草地群落恢复力稳定性的测度与比较..... 张继义,赵哈林 (6060)
- 滨海盐碱地土壤质量指标对生态改良的响应..... 单奇华,张建锋,阮伟建,等 (6072)
- 退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联..... 赵成章,任 珩 (6080)
- 延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应 龚时慧,温仲明,施 宇 (6088)
- 臭氧胁迫使两优培九倒伏风险增加——FACE 研究 王云霞,王晓莹,杨连新,等 (6098)
- 甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响 杨文亭,李志贤,舒 磊,等 (6108)
- 湿润持续时间对生物土壤结皮固氮活性的影响..... 张 鹏,李新荣,胡宜刚,等 (6116)
- 锌对两个品种茄子果实品质的效应..... 王小晶,王慧敏,王 菲,等 (6125)
- Cd²⁺ 胁迫对银芽柳 PS II 叶绿素荧光光响应曲线的影响 钱永强,周晓星,韩 蕾,等 (6134)
- 紫茉莉对铅胁迫生理响应的 FTIR 研究 薛生国,朱 锋,叶 晟,等 (6143)

结缕草对重金属镉的生理响应	刘俊祥,孙振元,巨关升,等 (6149)
两种大型真菌子实体对 Cd ²⁺ 的生物吸附特性	李维焕,孟凯,李俊飞,等 (6157)
富营养化山仔水库沉积物微囊藻复苏的受控因子	苏玉萍,林慧,钟厚璋,等 (6167)
一种新型的昆虫诱捕器及其对长足大竹象的诱捕作用	杨瑶君,刘超,汪淑芳,等 (6174)
光周期对梨小食心虫滞育诱导的影响	何超,孟泉科,花蕾,等 (6180)
农林复合生态系统防护林斑块边缘效应对节肢动物的影响	汪洋,王刚,杜瑛琪,等 (6186)
中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变	程琳,李锋,邓华锋 (6194)
城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例	张小飞,王如松,李正国,等 (6204)
唐山市域 1993—2009 年热场变化	贾宝全,邱尔发,蔡春菊 (6215)
基于投影寻踪法的武汉市“两型社会”评价模型与实证研究	王茜茜,周敬宣,李湘梅,等 (6224)
长株潭城市群生态屏障研究	夏本安,王福生,侯方舟 (6231)
基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例	赵丹,李锋,王如松 (6242)
基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测——以甘肃省为例	张勃,刘秀丽 (6251)
专论与综述	
孤立湿地研究进展	田学智,刘吉平 (6261)
甲藻的异养营养型	孙军,郭术津 (6270)
生态工程领域微生物菌剂研究进展	文娅,赵国柱,周传斌,等 (6287)
我国生态文明建设及其评估体系研究进展	白杨,黄宇驰,王敏,等 (6295)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 440 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 49 * 2011-10	



封面图说: 壶口瀑布是黄河中游流经秦晋大峡谷时形成的一个天然瀑布。此地两岸夹山,河底石岩上冲刷成一巨沟,宽达 30 米,深约 50 米,最大瀑面 3 万平方米。滚滚黄水奔流至此,倒悬倾注,若奔马直入河沟,波浪翻滚,惊涛怒吼,震声数里可闻。其形其声如巨壶沸腾,故名壶口。300 余米宽的滚滚黄河水至此突然收入壶口,有“千里黄河一壶收”之说。

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

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.

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.

放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因子

李 珂¹, 杨永兴^{1,*}, 杨 杨², 韩大勇¹

(1. 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;

2. 同济大学生命科学与技术学院, 上海 200092)

摘要:根据原生和退化沼泽水体、植被与土壤信息, 将放牧胁迫下若尔盖高原沼泽划分为 5 个等级, 即原始沼泽、轻度退化、中度退化、重度退化和极度退化沼泽, 系统地研究了若尔盖高原沼泽的退化特征及其影响因子。沼泽退化特征表现为: 退化沼泽水体总氮含量较高, 硝态氮、总磷含量以及碱度、矿化度随沼泽退化程度加剧而上升。退化沼泽物种丰富度增加, 群落组成和结构趋于多样化; 群落水分生态型结构变化明显, 中生植物逐渐取代沼生植物优势地位; 沿沼泽退化梯度, 植被演替速率降低。沼泽退化序列上, 土壤含水率、毛管孔隙度、全氮含量降低, 土壤容重、全磷和全钾含量上升; 土壤垂直剖面上, 退化沼泽较原始沼泽和轻度退化沼泽全量养分含量变化大, 并且, 全氮和全磷含量具有表聚性。退化沼泽环境指标 PCA 分析显示, 沼泽退化受土壤养分和水分含量的影响较大。

关键词:高原沼泽; 放牧; 退化特征; 退化影响因子; 若尔盖高原

Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau

LI Ke¹, YANG Yongxing^{1,*}, YANG Yang², HAN Dayong¹

1 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

2 School of Life Science and Technology, Tongji University, Shanghai 200092, China

Abstract: Swamp in the Zoige Plateau which was one of the five main pasture regions in China has been threatened by over-grazing for decades ever since 1960s. In this paper, typical degraded swamp was selected to figure out the main characteristics and critical influence factors under the stress of grazing. On the basis of its water, vegetation and soil information, the degraded swamp was classified into five stages, namely: primary swamp, lightly degradation, moderate degradation, severe degradation and extreme degradation. The degradation characteristics and their influence forces were discussed in this paper. The main characteristics of the degraded swamp water were: (1) TN was higher than normal, (2) TN, NO₃⁻, TP, alkaline and the total dissolved solids increased along the degraded gradient, (3) the pH of water is between 8 to 9, (4) HCO₃⁻ is the main contributor to the alkaline. The main changes of the degraded swamp vegetation were: (1) an increase of overall species abundance, (2) a decrease in the important values of helophyte, (3) an increase in the important values of mesophyte, (4) *Potentilla ansrina* replaced *Carex muliensis* and *C. meyeriana* as a dominant species in the community. By comparing the similarity between the communities of different degraded swamps, it was found that the rates of vegetation succession decreased along the swamp degraded gradient. The main changes of the degraded swamp soil along the degraded gradient were: (1) a decrease of soil water content, porosity, TN, (2) an increase of bulk density, TP,

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40771013, 41171074, U0933601, 40971285); 2004 年上海市科学技术委员会重大攻关项目(04DZ19302)

收稿日期: 2011-06-23; 修订日期: 2011-07-14

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

TK. The vertical changes of different nutrient contents in the soil profile of degraded swamps were complicated. On the whole, the content of TN and TP decreased along the soil depth gradient, and with the increase of depth, the influence of grazing on the content of TP decreased. In order to find out the main influence factors of swamp degradation under grazing, Principle components analysis (PCA) was employed in this paper. Five vegetation variables, eight water variables and six soil variables involved in PCA were simplified into three components which explained 50.77%, 30.50% and 16.72% of the total variables respectively. There was a significant positive relationship between PC1 and Shannon-Weiner index, the importance value of mesophyte as well as the total phosphorus content of soil and a negative relationship between PC1 and importance value of helophyte, Simpons index, water content as well as total nitrogen content of soil. The significant negative relationship between PC2 and pH of water was also observed. Principle components analysis indicated that water physical properties and nutrient of soil were the main driving factors that caused the swamp degradation in the Zoige Plateau. As the nineteen variables changed obviously along the degradation gradient, they were tried to be used to indicate the degree of swamp degradation. According to the three principle components gaining from PCA, a multiple linear regression model was developed based on the three factor scores which could be used to calculate the score of every kind of degraded swamp and it turned out to be useful in degraded swamp classification.

Key Words: plateau swamp; graze; degradation characteristic; degradation influence factors; Zoige Plateau

随人类活动对湿地生态系统干扰的加剧,单因子胁迫及多因子协同胁迫下湿地生态系统退化过程与机理和退化湿地生态系统生态恢复已成为湿地科学研究的重要议题之一^[1-2]。湿地退化表现为湿地生态系统结构破坏、功能衰退和资源丧失,它包括湿地水文与水质退化、生物群落退化和土壤退化等方面^[3]。短期的、波动的水文及水化学因子对湿地群落可产生微调作用,长期的水文条件和水质环境作用决定了土壤性状特征^[4],作为湿地生态系统的核心要素,水文及水环境的变化是湿地生态系统退化最敏感的指标,同时,水文及水环境的变化规律也预示了湿地生态系统的演替方向。目前,湿地水环境退化研究多侧重水文特征变化,而忽略了水环境质量的研究^[5-7]。湿地植物群落是维持和运行湿地生态系统功能的关键影响因子,是湿地生态系统稳定性的重要表征,群落结构特征、功能群组成、物种多样性以及生产力等都是有效反映湿地生态系统时间和空间演替规律的重要指标^[8-11]。土壤作为湿地生态系统的重要组成部分,是植物群落发生、发展的前提和基础,因而,湿地土壤环境退化研究主要侧重与植物有关的土壤性质,如土壤有机质、氮、磷含量和酶活性等^[12-16],也有研究对土壤的物理性质进行了探讨^[17-18]。若尔盖高原作为我国五大牧区之一,沼泽草场过度放牧严重,实际载畜量远远大于理论载畜量^[19],不合理的放牧行为严重威胁了本区高原沼泽湿地生态系统的健康,削弱了其生态功能。本文分别从湿地生态系统的水环境、植被和土壤3个主要方面入手,系统地阐述了放牧干扰下若尔盖高原沼泽湿地退化特征和规律,分析了影响高原沼泽湿地退化的主要环境因子,初步探讨了高原沼泽湿地退化的机制,为高原沼泽湿地生态恢复提供了科学理论依据与关键技术支持。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

若尔盖高原位于青藏高原的东北隅,西临巴颜克拉山,东抵岷山,北起西倾山,南至邛崃山,为一块完整的丘状高原。地理坐标为102°10'—103°55'E,32°20'—34°05'N,海拔3400—3900m。行政上主要包括四川省的红原县、若尔盖县,此外还包括甘肃省玛曲东南部、碌曲县南部以及青海省的久治县西南部。本区属青藏高原寒冷气候区,气候主要特点为寒冷而潮湿,四季分异不明显,仅有寒暖二季。本区年平均气温仅为0.6—1.2℃,7月气温最高,平均气温为9.1—11.4℃;1月气温最低,平均气温为-8.2—-10.9℃;气温日变化较大,平均为15℃,最大可达18℃。本区为黄河流域的多雨区,降水的频率较大,强度较小。降水量的年际变化不大。年平均降水量为560—860mm,约50%的降水量集中在5—8月,7、8月为最高峰,5月为次高峰。冬季积雪厚度只有14—24mm。年平均蒸发量较大,为1260—1290mm。年平均相对湿度为64%—73%。若尔盖高

原沼泽湿地植物资源丰富,仅红原沼泽湿地区植物就达 155 种,隶属 39 科,87 属,其中草本植物占绝对优势,共 151 种。该区沼泽湿地植被类型复杂,典型沼泽主要植物群落有:(1)藏嵩草(*Kobresia tibetica*)-驴蹄草(*Caltha palustris*)群落;(2)木里苔草(*Carex muliensis*)群落;(3)乌拉苔草(*C. meyeriana*)-眼子菜(*Potamogeton maackianus*)群落;(4)藏嵩草-木里苔草群落;(5)毛果苔草(*C. lasiocarpa*)-狸藻(*Utricularia interred*)群落;(6)水甜茅(*Glycetia aquatica*)-木里苔草群落;(7)木里苔草-眼子菜群落;(8)睡菜(*Menyanthes trifoliata*)-苔草(*C. tristachya*)群落;(9)藏嵩草-华扁穗草(*Blysmus sinocompressus*)-木里苔草沼泽。本区土壤类型多样,以沼泽土、泥炭土和草甸土为主,沼泽土和泥炭土主要分布在平坝沼泽区,草甸土主要分布在丘原草甸区。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择

以若尔盖高原放牧胁迫下典型退化沼泽区作为研究样地,设置样带,沿样带布设样点。通过以点代面,以空间代替时间,研究不同程度退化沼泽生态系统退化特征和规律。根据野外调查和观测样带上植被类型、水文状况、土壤类型和土壤发育特征,选定 9 个不同程度退化沼泽样点。结合室内分析数据,根据数据的完整性和代表性,将其中 5 个样点确定为原始沼泽(PW)、轻度退化(LW)、中度退化(MW)、重度退化(SW)、极度退化(EW)5 个沼泽退化梯度(表 1)。

表 1 不同梯度退化沼泽特征

Table 1 The character of five degraded swamp stages

退化梯度 Degradation gradient	水文 Hydrology	群落类型 Community type	土壤 Soil	地貌 Topography	干扰情况 Disturbance
原始沼泽(PW) Primary wetland	地表常年积水,水位较高,约 5—10cm	乌拉苔草—苔草	泥炭土	草丘地貌典型	原始沼泽区,无放牧等人为干扰
轻度退化(LW) Lightly degraded wetland	季节性积水,地下水位常年接近地表	木里苔草—藏嵩草	泥炭土	牛轭湖沼泽化形成,泥炭下尚有水层	受放牧影响很小
中度退化(MW) Moderately degraded wetland	地表较干,无积水,地下水位较深	乌拉苔草—鹅绒委陵菜	沼泽土	有草丘发育	牦牛等牲畜较少,受放牧影响较小
重度退化(SW) Severely degraded wetland	地表干燥,地下水位低	乌拉苔草—鹅绒委陵菜—高原毛茛	草甸土	地表平坦,微微倾斜,水分不易积累	受放牧干扰较为严重,植物适口性降低
极度退化(EW) Exceedingly degraded wetland	地表干燥	华扁穗草—鹅绒委陵菜—发草	草甸土	地势较高	靠近藏民帐篷,牦牛数量较多,放牧影响严重

1.2.2 样品采集和处理

于 2009 年 7—8 月植物生长季,采用样方法对若尔盖高原典型退化沼泽植物群落进行野外取样调查。在每个样点随机设置 3 个 1m×1m 的样方,分别观测植物种类、密度、盖度和高度等群落特征。

在采集植物样品的同时,进行水质样品采集,水样采集使用聚乙烯塑料桶盛装,现场分别进行硝酸和硫酸处理,将水样 pH 值调至 2 以下,同时采集自然水样。

土壤样品采集采用探坑采样法,与植物样品采集同步进行。土壤剖面分为四层(0—10cm、10—30cm、30—50cm 和 50—80cm),根据土壤发生层厚度,对个别样点进行适当调整。用环刀和铝盒采集表层(0—10cm)和亚表层(10—30cm)两层进行土壤物理性质的测定,同时以切割法采集 4 层土壤化学性质测定样品,以聚乙烯密封袋盛装。土壤样品在室内阴凉通风处风干,粉碎研磨,过直径 0.15mm 尼龙筛,装入聚乙烯密封袋贮存待测。

1.2.3 样品分析

水样主要测定指标如下:pH、总碱度、矿化度、总磷、总氮、硝态氮、 HCO_3^- 等。利用便携式 pH 计现场测定 pH 值;采用滴定法测定总碱度和 HCO_3^- 含量;采用差量法测定矿化度;采用过硫酸钾消解-钼酸铵分光光度法测定总磷,采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定总氮,采用紫外分光光度法测定硝态氮。

对土壤进行容重、含水率和毛管孔隙度的测定,采用环刀法测定容重,采用烘箱法测定含水率,采用浸水

法测定毛管孔隙度。对土壤样品进行全量氮、磷、钾分析。采用半微量开氏法测定全氮;采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法测定全磷;采用 NaOH 熔融-火焰光度法测定全钾。各类样品分析化验均采用平行样分析测试,平行样之间误差在标准允许范围内。

1.2.4 数据处理

$$\text{重要值} = (\text{相对密度} + \text{相对高度} + \text{相对盖度}) / 3$$

采用 Sorensen 相似性指数:

$$C = Z_j / (a + b)$$

式中, Z_j 为两个群落的共有种在各群落中重要值的总和, a 和 b 分别是两个群落中所有种重要值的总和。

对植物群落样方数据进行合并处理,用以描述对应退化梯度的植被特征。最后对所有的水质、植被和土壤指标进行主成分分析(Principle Component Analysis, PCA),揭示沼泽退化驱动因子。采用 BioDiversity pro 软件、SPSS 13.0 数据统计软件和 Microsoft Excel 2007 对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 水环境质量退化动态特征

若尔盖高原退化沼泽水体营养盐含量变化动态研究发现,原始沼泽水体总氮含量较高,轻度退化沼泽与原始沼泽相比,总氮含量下降约 43%;随轻度退化沼泽向极度退化沼泽发展,水体中总氮含量呈上升趋势,极度退化沼泽水体总氮含量为 2.1 mg/L,约为重度退化沼泽的 3.5 倍。与总氮相比,退化沼泽硝态氮含量较低,其中,原始沼泽硝态氮含量为 0.145 mg/L,仅占总氮含量的 17%;轻度和重度退化沼泽水体中硝态氮均占总氮的 50% 左右;极度退化沼泽水体的硝态氮含量最高,含量为 0.872 mg/L,仅占总氮的 41%。退化沼泽水体的总磷含量较低,除极度退化沼泽水体总磷含量为 0.139 mg/L 外,其余退化沼泽水体的总磷含量均低于国家地表水环境质量标准(GB3838—2002) II 类水体(0.1 mg/L)。

退化沼泽区沼泽水体偏碱性,以重碳酸型水为主,原始沼泽和极度退化沼泽的碱度较高,分别为 131 mg/L 和 199 mg/L,其它梯度退化沼泽的水体碱度均在 50 mg/L 左右。除极度退化沼泽的矿化度高达 353 mg/L 外,其它梯度上退化沼泽水体矿化度均较低,介于 110—160 mg/L 之间(表 2)。

表 2 退化沼泽水环境质量特征

Table 2 Water quality of degraded swamps

	总氮/(mg/L) TN	硝态氮/(mg/L) NO ₃ -N	总磷/(mg/L) TP	酸碱度 pH
PW	0.852±0.222	0.145±0.014	0.020±0.004	7.860±0.233
LW	0.495±0.028	0.266±0.013	0.052±0.011	8.915±0.098
MW	0.640±0.166	0.199±0.010	0.044±0.002	8.998±0.087
SW	0.652±0.066	0.316±0.016	0.066±0.006	8.383±0.133
EW	2.132±0.144	0.872±0.016	0.139±0.007	8.185±0.058
	碱度/(mg/L) Alkaline	重碳酸盐/(mg/L) HCO ₃ ⁻	矿化度/(mg/L) Total dissolved solids	氮磷比 N/P
PW	131.280±0.518	131.280±0.518	141.000±4.243	41.97
LW	48.238±1.554	44.208±2.072	118.000±8.485	9.52
MW	55.566±0.864	50.681±0.864	113.000±9.899	14.48
SW	53.734±0.345	53.734±0.345	159.000±4.243	9.90
EW	199.059±1.727	199.059±1.727	353.000±9.899	15.33

2.2 植被退化动态特征

2.2.1 退化沼泽群落组成结构

若尔盖高原退化沼泽植物群落样方定性调查结果显示,高原退化沼泽植物群落中共包含高等植物 28 种,

分属于 12 科 25 属,其中莎草科 4 属 7 种,禾本科 4 属 4 种,蔷薇科 2 属 2 种,伞形科 2 属 2 种,毛茛科 4 属 4 种,菊科 3 属 3 种,其它为玄参科、豆科、桔梗科、车前科、龙胆科和木贼科,各 1 属 1 种,其中沼生和湿生植物种类共占 43%。随高原沼泽退化程度加剧,物种丰富度总体呈上升趋势,植物群落组成趋于复杂化和多样化。但是,极度退化沼泽的物种丰富度低于中度和重度退化沼泽,这是由于极度退化沼泽环境已经不宜沼生和湿生植物生存,大量沼生和湿生植物退出该生境,此外,微地形异质性的降低在一定程度上也会降低群落物种多样性。

不同程度退化沼泽植物群落水分生态类型功能群组成呈现较为规律的变化。随原生沼泽向草甸生态系统逆向演替,沼生植物物种数量逐渐下降,而中生植物物种数量明显上升,其物种数占群落总物种数的比例由 17% 上升到 75%,增幅明显。中生植物逐渐替代了沼生植物,成为群落组成的主体和群落功能的主导者,反映出在沼泽退化过程中,植物种类对沼泽微环境水分梯度变化具有较为敏感、强烈的响应。

在沼生植物种类减少的同时,沼生植物在群落中的重要值也大幅度降低。原始沼泽与轻度退化沼泽植物群落中,若尔盖高原典型沼生植物木里苔草和乌拉苔草的重要值均高于其它物种,而中度退化沼泽,虽然乌拉苔草的重要值仍高达 0.252,但是与原始沼泽相比,其重要值降低了 50%,相反,中生植物鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)的重要值上升为 0.256,与乌拉苔草相当。物种重要值的变化在一定程度上代表了不同退化阶段植物群落微环境特征的改变(表 3)。

2.2.2 退化沼泽群落相似性

除了原始沼泽与轻度退化沼泽相似性系数为原始沼泽与其它梯度沼泽相似性系数最低值外,其它不同程度退化沼泽植物群落总是与相邻一级退化沼泽的植物群落的相似度最高,而且,随着沼泽退化程度差距的加大,退化沼泽植物群落的相似度逐渐降低。轻度退化与原始沼泽之间和轻度退化与中度退化沼泽之间的相似性较低,表明以典型沼生植物为优势种群的植物群落对环境变化较为敏感,随沼泽小环境因子改变,植物群落组成及结构变化较大。总体而言,沿沼泽退化梯度,植物群落相似性系数逐渐升高,说明群落演替过程减缓,群落演替速率降低,群落结构趋于稳定。研究表明,不同程度放牧干扰下退化沼泽的植物群落演替速率模式具有较大差异(表 4)。

2.3 土壤退化动态特征

2.3.1 不同沼泽退化梯度土壤物理性质变化特征

较好的持水性是沼泽土壤的重要特性之一,原始沼泽和轻度退化沼泽土壤含水率最高,在 80%—90% 之间。随沼泽退化程度加剧,土壤含水率急剧下降,中度退化沼泽约比轻度退化沼泽含水率低 28%。退化为中度退化沼泽后,土壤含水率保持在较低水平,且随沼泽退化程度加剧变幅不大,均在 60% 左右。原始沼泽和轻度退化沼泽的土壤表层和亚表层的含水率差别极小,而退化程度较重的沼泽土壤表层含水率均大于土壤亚表层含水率,可能与表层土壤较易获得大气降水等水源补给有关。不同程度退化沼泽土壤含水率动态规律表明,退化沼泽的土壤持水性受放牧等人为活动影响较大。

与退化沼泽土壤含水率动态变化规律相比,退化沼泽土壤容重呈现完全相反的变化趋势。原始沼泽和轻度退化沼泽的土壤容重最低,在 $0.5\text{g}/\text{cm}^3$ 左右。中度退化沼泽与轻度退化沼泽相比土壤容重急剧上升,亚表层土壤的增幅尤为明显。与土壤含水率变化规律相似,中度、重度和极度退化沼泽之间土壤容重变化较小,均在 $0.7\text{—}0.8\text{g}/\text{cm}^3$ 范围内。除轻度退化沼泽的表层土壤容重略大于亚表层之外,其它梯度沼泽表层土壤容重

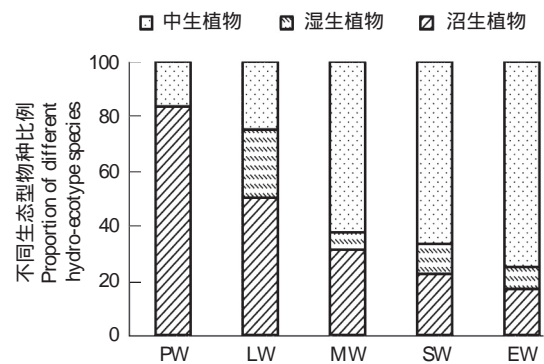


图 1 植物水分生态类型物种功能群变化动态

Fig. 1 The dynamic of the functional group assemblage of hydro-ecotypes

均小于亚表层,其中,中度和重度退化沼泽表层土壤容重比亚表层小 $0.2\text{g}/\text{cm}^3$ 左右。

表 3 不同退化沼泽梯度植物群落物种组成及其重要值

Table 3 Species composition and their importance values along the degradation gradient

水分生态型 Hydro-ecotypes	物种 Plant species	科 Family	退化沼泽物种重要值 Importance values of species in degraded swamps				
			PW	LW	MW	SW	EW
			沼生植物 Helophyte	木里苔草 <i>Carex muliensis</i>	莎草科 <i>Cyp.</i>		0.202
	乌拉苔草 <i>C. meyeriana</i>	莎草科 <i>Cyp.</i>	0.518		0.252	0.135	
	苔草 <i>C. tristachya</i>	莎草科 <i>Cyp.</i>	0.243				
	羊胡子草 <i>Eriophorum latifolium</i>	莎草科 <i>Cyp.</i>	0.066				
	毒芹 <i>Cicuta virosa</i>	伞形科 <i>Umb.</i>		0.196	0.026		
	泽芹 <i>Sium suave</i>	伞形科 <i>Umb.</i>		0.009	0.022	0.025	0.036
	驴蹄草 <i>Caltha palustris</i>	毛茛科 <i>Ran.</i>	0.034	0.065	0.024	0.044	0.069
	水木贼 <i>Equisetum heleocharis</i>	木贼科 <i>Equ.</i>	0.068				
	斑唇马先蒿 <i>Pedicularis longiflora</i>	玄参科 <i>Scr.</i>		0.033			
湿生植物 Hygrophyte	华扁穗草 <i>Blysmus sinocompressus</i>	莎草科 <i>Cyp.</i>			0.036	0.020	0.173
	藏嵩草 <i>Koeleria tibetica</i>	莎草科 <i>Cyp.</i>		0.259			
	嵩草 <i>K. myosuroides</i>	莎草科 <i>Cyp.</i>		0.167			
	湿生扁蕾 <i>Gentianopsis paludosa</i>	龙胆科 <i>Gen.</i>				0.035	
中生植物 Mesophyte	小白花地榆 <i>Sanguisorba parviflora</i>	蔷薇科 <i>Ros.</i>	0.071		0.011		0.027
	鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	蔷薇科 <i>Ros.</i>			0.256	0.251	0.167
	沙参 <i>Adenophora tetraphylla</i>	桔梗科 <i>Cam.</i>				0.029	
	剪股颖 <i>Agrostis matsumurae</i>	禾本科 <i>Poa.</i>				0.042	0.090
	(++治)草 <i>K. cristata</i>	禾本科 <i>Poa.</i>			0.051	0.074	
	披碱草 <i>Elymus dahuricus</i>	禾本科 <i>Poa.</i>			0.031		0.058
	发草 <i>Deschampsia caespitosa</i>	禾本科 <i>Poa.</i>			0.065	0.045	0.180
	车前草 <i>Planta goasiatica</i>	车前科 <i>Pla.</i>			0.022	0.026	0.006
	银莲花 <i>Anemone cathayensis</i>	毛茛科 <i>Ran.</i>			0.029	0.028	
	金莲花 <i>Trollius chinensis</i>	毛茛科 <i>Ran.</i>			0.013	0.011	
	高原毛茛 <i>Ranunculu stanguticus</i>	毛茛科 <i>Ran.</i>		0.068	0.091	0.129	0.119
	垂头菊 <i>Cremanthodium</i>	菊科 <i>Com.</i>					0.045
	紫苑 <i>Aster tataricus</i>	菊科 <i>Com.</i>				0.029	
	火绒草 <i>Leontopodium alpinum</i>	菊科 <i>Com.</i>				0.022	0.032
	棘豆 <i>Oxytropis falcata</i>	豆科 <i>Leg.</i>			0.031	0.028	
水分生态类型 Hydro-ecotype	沼生植物 helophyte		0.929	0.506	0.364	0.231	0.105
	湿生植物 hygrophyte		0	0.426	0.036	0.055	0.173
	中生植物 mesophyte		0.071	0.068	0.6	0.714	0.724

表 4 沼泽退化序列上群落相似性系数

Table 4 The similarity of communities in degradation succession processes

	沼泽退化梯度 Degradation gradient of swamp				
	PW	LW	MW	SW	EW
PW	1.000	0.050	0.455	0.365	0.100
LW		1.000	0.372	0.285	0.183
MW			1.000	0.887	0.696
SW				1.000	0.737
EW					1.000

不同程度退化沼泽土壤毛管孔隙度动态变化规律呈现出单峰趋势,轻度退化沼泽的土壤毛管孔隙度最大,表层土壤为 7.6%,其次为原始沼泽。轻度退化沼泽土壤毛管孔隙度比原始沼泽高 3%,比中度、重度和极度退化沼泽高 6% 左右。轻度退化沼泽为放牧轻度干扰下经过牛轭湖沼泽化过程发育的沼泽,土壤剖面中还存在净水层,土壤中较多的植物根系可能是导致孔隙度较大的原因。重度退化沼泽与中度退化沼泽土壤毛管

孔隙度相近,极度退化沼泽略有上升。除轻度退化沼泽表层土壤毛细孔隙度略小于亚表层外,其它各沼泽退化梯度表层土壤的毛细孔隙度均略大于亚表层土壤(图2)。

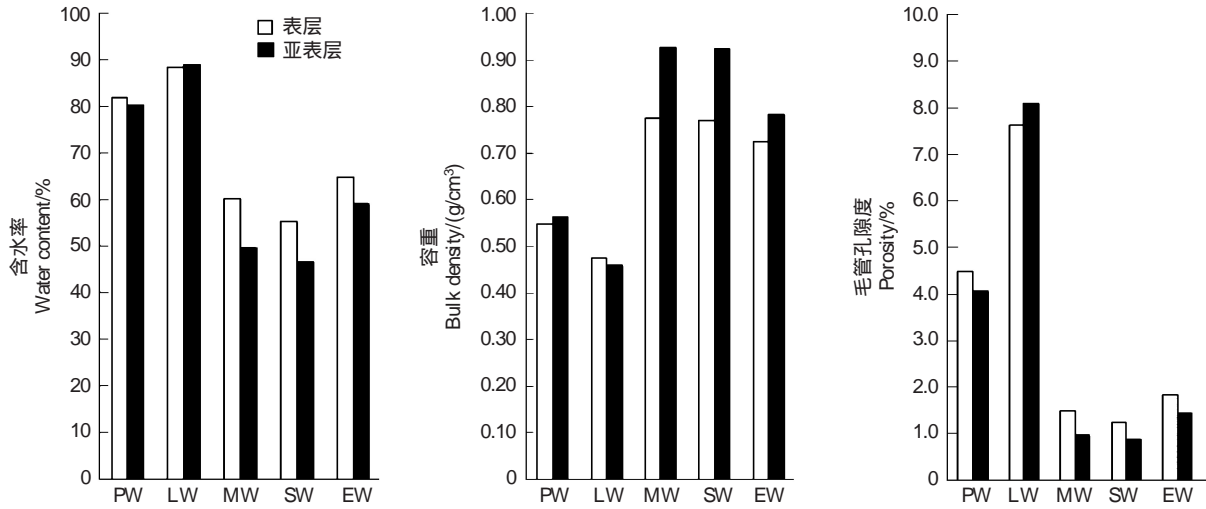


图2 退化沼泽土壤物理性质特征动态

Fig. 2 The dynamic of the soil physical characteristics along the degradation gradient

2.3.2 退化沼泽土壤营养元素空间分异特征

若尔盖高原沼泽退化序列上,土壤营养元素含量动态变化规律差异较大。从表层土壤全量养分的水平分布看(图3),原始沼泽和轻度退化沼泽的全氮含量明显高于退化比较严重的沼泽土壤,极度退化沼泽土壤的全氮含量略高于重度退化沼泽,可能与牛羊排泄物中有机氮的大量输入有关。退化沼泽全磷含量排序为:SW > MW > EW > PW > LW,与全氮含量排序恰好完全相反。原始沼泽和轻度退化沼泽表层土壤全磷含量明显低于退化较为严重的沼泽,但是,随着土壤剖面深度增加,退化土壤全磷含量逐渐下降到原始沼泽土壤全磷含量水平。退化沼泽土壤全钾含量变化规律呈单峰型,中度退化沼泽全钾含量最大,其次为重度退化沼泽,原始沼泽最小,轻度和极度退化沼泽的全钾含量相当,而且含量明显低于中度和重度退化沼泽。随着土壤深度增加,

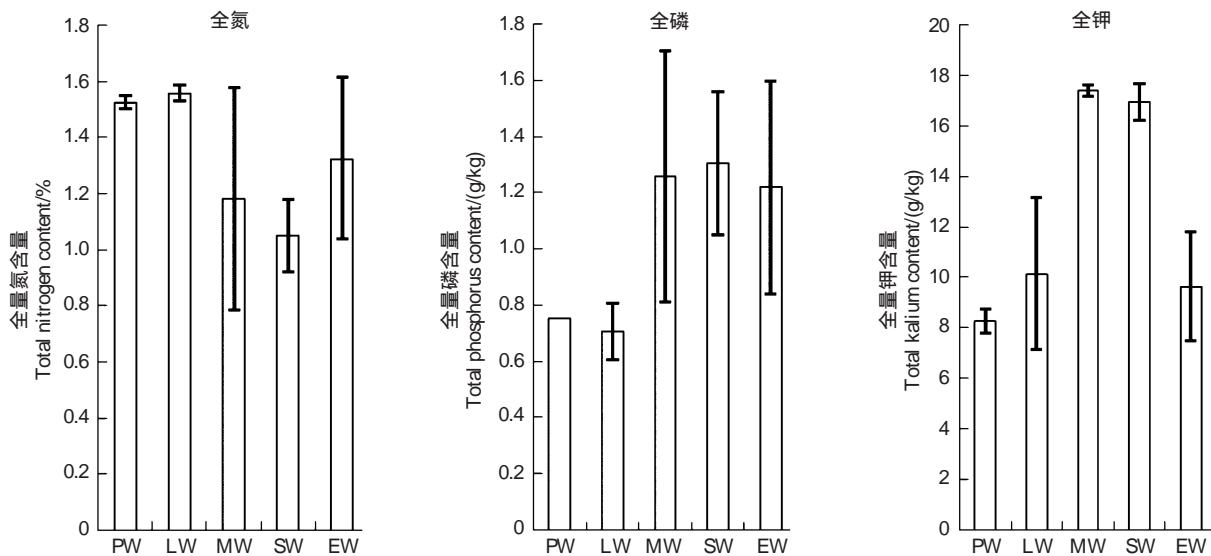


图3 退化沼泽土壤养分含量动态变化

Fig. 3 The dynamic of the soil nutrient content along the degradation gradient

中度退化沼泽的全钾含量有所下降,而重度退化沼泽全钾含量大幅度上升,因而在剖面深度 30cm 以下,重度退化沼泽的全钾含量高于中度退化沼泽。

不同程度退化沼泽土壤养分含量差异较大,土壤垂直剖面变化规律差异较明显(图 4)。随土壤剖面深度增加,原始沼泽和轻度退化沼泽的全氮、全磷和原始沼泽的全钾含量变化都不大,轻度退化沼泽土壤表层全钾含量最高,在 0—30cm 内,全钾含量随土壤剖面深度增加而迅速降低,在 30cm 下达到稳定水平。退化程度较严重的沼泽全氮含量随土壤深度增加变化规律差异较大,中度退化沼泽呈现出先降低后增加的趋势,在 10—30cm 处达到最小值,含量仅为 0.9%,在 50—80cm 处上升到表层土壤水平,而且略高于表层土壤;重度和极度退化沼泽呈现出下降的趋势,其中重度退化沼泽的降幅较大,约为 1%,极度退化沼泽降幅约为 0.7%。随土壤深度增加,中度、重度和极度退化沼泽土壤全磷含量呈现出先迅速降低后趋于稳定的变化规律,30cm 以下不同程度退化沼泽含量分异不明显,除重度退化沼泽的土壤全磷含量为 0.4g/kg 外,其它程度退化沼泽的土壤全磷含量均在 0.6 g/kg 左右。中度退化沼泽土壤全钾含量呈现出缓慢降低的趋势,但变化幅度不大,在 2g/kg 左右,相反,重度和极度退化沼泽的全钾含量呈现出上升趋势,其中,重度退化沼泽 0—10cm 土壤全钾含量在 17g/kg 左右,10—50cm 内土壤全钾含量迅速上升,在 30—50cm 处达到 25g/kg 左右,50cm 以下保持稳定水平,表明放牧活动主要影响 0—30 cm 土层的钾元素分布。

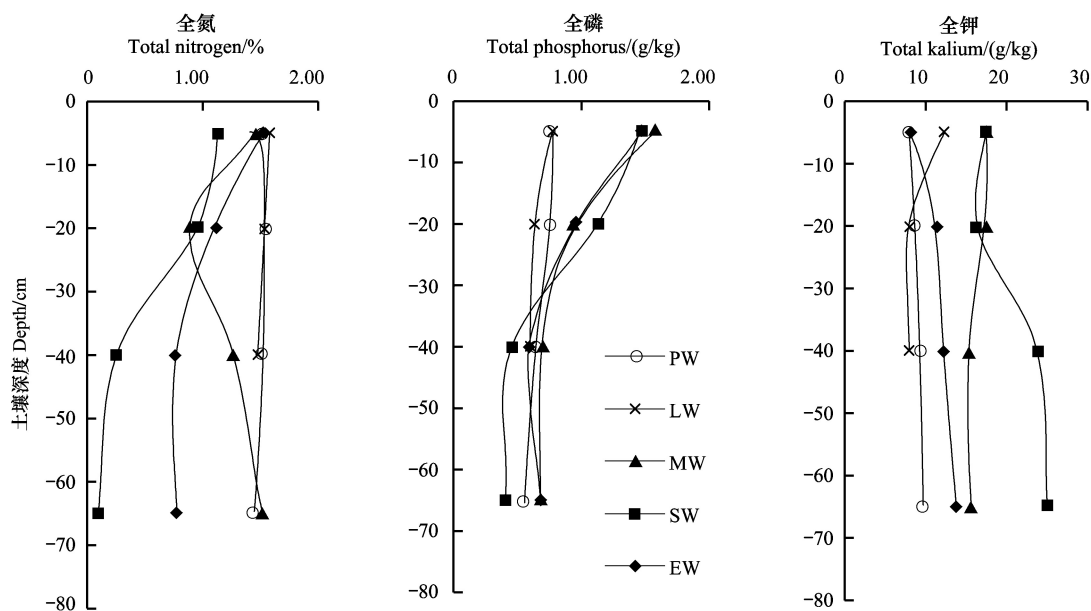


图 4 退化沼泽土壤养分含量垂直动态变化

Fig. 4 Vertical changes of nutrient content in the soil profile of degraded swamps

2.4 退化沼泽环境因子 PCA 分析

2.4.1 环境指标的 PCA 排序

对 5 个沼泽退化梯度的 19 项环境指标进行 PCA 分析,前 3 个主分量累积负载了 98% 的环境指标信息(表 5)。其中,第一、第二主分量共负载了 81% 的环境指标信息,可以较为全面地反映环境信息,因此,选择前 2 个主分量为坐标轴作环境指标的排序散点图(图 5)。PCA 排序图直观地反映了高原沼泽退化与水质、植被以及土壤变量之间的相互关系。第一主分量与 Shannon 多样性指数、中生植物重要值以及土壤全磷含量呈正相关,与 Simpsons 优势度指数、沼生植物重要值、土壤含水率以及土壤全氮含量呈负相关,因此,第一主分量为植被和土壤变量的变化,主要反映了沼泽退化的水分和养分变化梯度。第二主分量与水体碱度和总氮含量呈正相关,与水体 pH 值呈负相关,说明第二主分量为水质指标变化,主要反映了退化沼泽水体的酸碱性梯度与水体氮营养元素。

表 5 退化沼泽主成分特征值及其对环境指标解释量

Table 5 Eigenvalues of three components and the percentage variance of environmental indices explained by the components

主分量 Components	特征值 Eigenvalue	解释量 Variance/%	累积解释量 Cumulative/%
1	9.65	50.77	50.77
2	5.80	30.50	81.27
3	3.18	16.72	97.99

表 6 环境指标与 3 个主分量排序轴的相关系数

Table 6 Correlation coefficients of PCA ordination axes with environmental indices

生态系统成分 Ecosystem components	环境变量 Environmental variables	主分量 Components		
		1	2	3
植被 Vegetation	Shannon 多样性指数	0.93	-0.16	0.30
	Simpsons 优势度指数	-0.89	0.02	-0.39
	沼生植物重要值	-0.91	0.01	-0.41
	湿生植物重要值	-0.21	-0.01	0.98
	中生植物重要值	0.99	-0.05	-0.08
水体 Water	水体总氮	0.49	0.86	0.04
	水体硝态氮	0.66	0.63	0.41
	水体总磷	0.76	0.53	0.37
	水体 pH 值	-0.06	-0.76	0.48
	水体碱度	0.13	0.97	-0.20
	水体重碳酸盐碱度	0.14	0.97	-0.21
	水体矿化度	0.59	0.79	0.17
	水体氮磷比	-0.47	0.53	-0.69
土壤 Soil	土壤含水率	-0.89	0.26	0.37
	土壤容重	0.86	-0.30	-0.39
	土壤毛管孔隙度	-0.88	0.12	0.46
	土壤全氮	-0.83	0.43	0.31
	土壤全磷	0.96	-0.13	-0.21
	土壤全钾	0.57	-0.80	-0.18

2.4.2 退化沼泽 PCA 因子分值

通过 PCA 分析,将 19 个植被、水质和土壤变量简化为 3 个主分量,它们分别携带 50.8%、30.5% 和 16.7% 的指标信息,建立基于 PCA 3 个主分量因子分值的多元回归模型(1):

$$PCs = 0.5077PC1 + 0.3050PC2 + 0.1672PC3 \quad (1)$$

计算不同程度退化沼泽综合指标阈值,定量描述若尔盖高原不同程度退化沼泽。研究表明,若尔盖高原原始沼泽向极度退化沼泽退化的演替序列上,不同程度退化沼泽的综合因子分值(PCs)呈上升趋势,其中,原始沼泽、轻度退化和中度退化沼泽的 PCs 值均为负值,重度和极度退化沼泽的 PCs 值为正值。结合野外调查发现,原始沼泽和轻度退化沼泽未受或受放牧等人为干扰较小,为沼泽生态系统;重度和极度退化沼泽因受放牧影响较为严重,已经完全退化为草甸生态系统,而中度退化沼泽处于过渡阶段。说明基于多个退化沼泽环境指标 PCA 分析建立的综合湿地健康评价指标可以较为客观地划分沼泽退化类型,PCs 值为负值时,退化

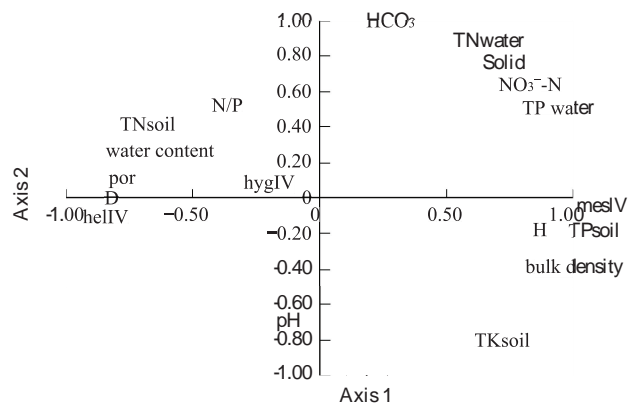


图 5 环境指标 PCA 排序图

Fig. 5 PCA ordination diagram of environmental indices

环境指标 PCA 分析建立的综合湿地健康评价指标可以较为客观地划分沼泽退化类型,PCs 值为负值时,退化

沼泽类型为沼泽或沼泽化草甸, PCs 值为正值时退化沼泽类型为草甸, PCs 值越大, 沼泽退化越严重。

3 讨论

3.1 退化沼泽水环境因子变化规律及其原因分析

若尔盖高原沼泽退化演替序列上, 原始沼泽和极度退化沼泽的总氮含量较高, 硝态氮占总氮含量的比例较低, 说明水体中无机氮含量较低, 而有机氮含量较高。原始沼泽水淹条件下, 植物枯落物分解不完全, 长期浸泡在沼泽水体中导致水体氮含量较高; 极度退化沼泽受过度放牧的严重影响, 由于有蹄类动物的践踏土壤结构破坏, 有机物质分解, 土壤氮素养分流失, 进入水体。此外, 地表径流也将牦牛等牲畜排泄物的有机氮冲刷进沼泽水体, 导致水体氮含量上升。除极度退化沼泽水体总磷含量较高外, 其它梯度退化沼泽水体的总磷含量较低, 但是沿沼泽退化梯度有上升的趋势。重度退化沼泽水体总磷含量已经达到了原始沼泽的 3.3 倍, 而极度退化沼泽接近 7 倍, 这说明退化沼泽不仅有氮富营养化的趋势, 而且磷元素的影响也日趋增强。研究表明, 湿地水体的营养程度会对植物群落的演替产生驱动作用^[4, 20], 当水体营养盐浓度超过一定阈值时, 会引起湿地生态系统的失调^[21], 因此, 水体营养状况变化对若尔盖高原沼泽退化的胁迫作用过程与机理还需要进一步研究。

本区沼泽水体呈碱性, 与 10a 前相比^[12], pH 值略有上升。随轻度退化沼泽向极度退化沼泽演替, 水体碱度和矿化度均呈上升趋势, 这与前人在同一地区的研究结果一致^[22]。

3.2 退化沼泽植物群落演替动态及其原因分析

若尔盖高原沼泽退化序列上物种组成和群落结构演替格局是对不同程度退化沼泽环境动态变化的响应, 是不同程度退化沼泽环境状况的表征, 对沼泽退化阶段具有指示作用。随原生沼泽向沼泽化草甸、草甸生态系统逆向演替, 群落优势物种优势度下降, 伴生种增多, 群落物种丰富度增加, 群落物种分布格局趋于均匀化, 这与平原沼泽湿地、滨海潮滩湿地以及高原湖滨湿地退化研究结果一致^[23-25]。在不同程度退化沼泽序列上, 植物群落建群种和优势种的变化动态与世界高寒湿地类型植被退化规律一致, 呈现出沼泽植物种类减少, 耐旱植物种类增加的趋势^[26]。木里苔草、乌拉苔草等典型原生沼泽植物优势度降低, 同时沼生植物种类减少, 相反, 鹅绒委陵菜在沼泽退化后期占据群落优势地位, 同时大量中生植物侵入。

虽然新构造运动的抬升作用和趋暖变干的气候变化对本区沼泽旱化都具有一定影响作用^[27], 但是, 人为干扰对沼泽植被退化及其群落物种组成的作用更为直接, 更为显著^[26]。作为全国五大牧区之一的若尔盖高原草场实际载畜量远远超过理论载畜量^[19], 过度放牧无疑是若尔盖高原沼泽生态系统健康的主要威胁因素之一。一方面放牧的选择性扰动改变植物群落固有结构, 造成植物群落断层, 提高外来物种侵入机会, 增加生境异质性, 另一方面过度的放牧干扰使土壤养分积累降低, 物种竞争加剧, 物种丰富度降低^[28-30], 这在本文的研究结果中也得到了印证。

3.3 退化沼泽土壤因子变化规律及其原因分析

若尔盖高原退化沼泽土壤研究发现, 原始沼泽和轻度退化沼泽的土壤含水率明显高于中度、重度和极度退化沼泽。原始沼泽位于宽谷沼泽中心低洼处, 地势较低, 地下水位高于地表; 轻度退化沼泽位于尚未完全沼泽化的牛轭湖的湖滨, 泥炭土下尚有水层, 地下水位接近地表; 而中度、重度和极度退化沼泽地势相对较高, 地下水位较低。由此可见, 地貌和水文差异是导致退化沼泽土壤含水率分异明显的主要原因。随地下水位降低, 土壤氧化环境改善, 泥炭大量分解, 土壤有机质含量下降, 也是导致土壤持水力迅速降低的重要原因。土壤容重受到土壤质地、有机质含量和孔隙度的影响, 随沼泽土壤由泥炭土、沼泽土向草甸土退化, 土壤有机质

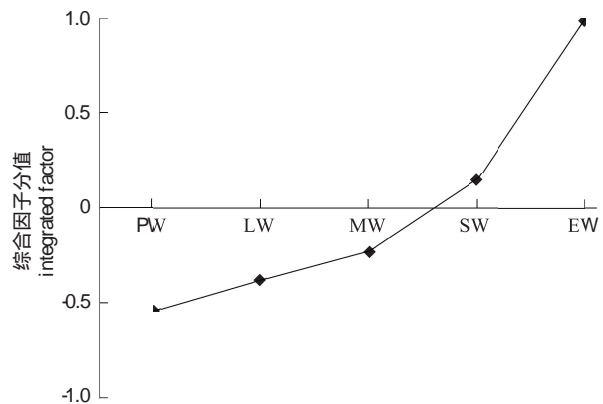


图 6 退化沼泽综合因子分值

Fig. 6 Integrated factor scores of degraded swamps

含量下降、矿物质含量上升、孔隙度减少导致土壤容重增大。此外,野外调查发现,中度、重度和极度退化沼泽牦牛数量较多,牲畜的践踏改变土壤结构、增加土壤紧实度、致使土壤板结,因此,放牧等人为干扰是导致沼泽土壤容重增加的重要原因之一。

若尔盖高原原始沼泽和轻度退化沼泽土壤全氮含量明显高于中度、重度和极度退化沼泽,在土壤垂直剖面上,随深度增加,原始沼泽和轻度退化沼泽土壤全氮含量变化不明显,氮素分布均匀,而中度、重度和极度退化沼泽土壤全氮含量在垂直剖面上的分异较大,而且具有较为明显的表聚性,表层土壤全氮含量明显大于底层土壤,这与喀斯特地貌区域退化湖滨湿地和三江平原环形湿地的研究结果一致^[31-32]。土壤氮素含量动态主要受到微生物硝化—反硝化作用的影响,中度、重度和极度退化沼泽水位和土壤持水量明显低于原始沼泽和轻度退化沼泽,土壤环境氧化性较强,增强了微生物的硝化作用^[33],同时,磷含量的增加又提高了微生物的反硝化速率^[34],因此,沼泽脱氮过程加强,土壤氮素含量降低。此外,中度、重度和极度退化沼泽区域受放牧影响较为严重,牦牛等牲畜啃食干扰了氮素的生物地球化学循环过程,降低了植物氮素的归还量,从而降低了土壤氮素的积累量。若尔盖高原原始沼泽和轻度退化沼泽土壤磷元素含量明显低于中度、重度和极度退化沼泽,原因可能是在水淹厌氧环境下,土壤中铁氧化物较少导致磷的吸附位点较少,土壤对磷的吸持能力较弱^[35]。中度、重度和极度退化沼泽土壤磷元素具有明显的表聚性,随土壤垂直剖面深度增加,土壤磷含量逐渐降低到原始沼泽磷含量水平,说明随深度增加,沼泽退化对磷含量的影响逐渐减弱。随若尔盖高原原始沼泽向轻度和中度退化沼泽演替,土壤全钾含量呈上升趋势,这与前人对若尔盖高原不同程度人为干扰下退化湿地研究结果一致^[36],但是随退化程度进一步加剧,退化沼泽土壤全钾含量又呈现出下降的趋势。受土壤母质和植物生命活动的共同影响,土壤钾元素变化过程较为复杂,其变化机理还需要进一步的研究。

3.4 沼泽退化主要影响因子分析

通过对若尔盖高原 19 个植被、水质和土壤指标进行 PCA 分析发现,若尔盖高原放牧胁迫下沼泽退化主要受土壤水分和养分影响。沼生植物重要值和土壤含水率与 PCA 分析第一主分量具有较高的负相关性,说明沿 PCA 第一排序轴自左向右,土壤水分下降,沼泽旱化加剧,原始沼泽向极度退化沼泽演替。沿水分梯度降低,适应于水淹或地表过湿环境的沼生植物逐渐被适应陆地环境的中生植物替代。此外,随原生沼泽向草甸退化,土壤磷含量上升,降低了磷养分对植物的限制作用,大量中生植物入侵,导致植物物种多样性上升。同时,物种多样性的改变也影响了退化沼泽土壤养分含量。PCA 第一主分量与 Shannon 多样性指数呈正相关,与土壤总氮含量呈负相关,说明随植物群落物种多样性上升,土壤总氮含量呈下降趋势。物种多样性的上升优化了植物群落结构,环境资源利用率通过群落物种生态位互补而实现最大化^[37],但是在过度放牧影响下,因大量牦牛等牲畜采食植物,氮素归还量降低,导致土壤氮素积累量降低,退化沼泽土壤趋于贫瘠化。

相对于植被退化和土壤退化对若尔盖高原沼泽退化的影响,水质退化贡献较小。这是由于重度和极度退化沼泽已经完全退化为草甸,中度退化沼泽处于沼泽向草甸退化的过渡阶段,水环境状况对其直接影响较小。

4 结论

4.1 沼泽水质退化规律

若尔盖高原退化沼泽水质偏碱性,以重碳酸型水为主,矿化度较高,并且随沼泽退化加剧有上升趋势。随沼泽退化加剧,硝态氮和总磷含量呈上升趋势。控制高原沼泽水体富营养化,改善沼泽水质,减缓沼泽退化速率。

4.2 沼泽植被退化规律

若尔盖高原沼泽生态系统退化演替序列上,植物群落物种丰富度上升,群落组成趋于多样化和复杂化,沼生植物群落向中生植物群落演替,沼泽群落优势物种木里苔草和乌拉苔草等被鹅绒委陵菜和高原毛茛取代,沼泽旱化趋势明显。随沼泽退化程度加剧,退化沼泽植物群落演替有减缓的趋势。探明不同程度退化沼泽生态需水量,改善退化沼泽植物群落水分环境,是进行退化沼泽植被恢复的重要方面。

4.3 沼泽土壤退化规律

若尔盖高原退化沼泽土壤含水率、毛管孔隙度和全氮含量降低,土壤容重、全磷和全钾含量上升。退化沼

泽土壤全氮、全磷含量随土壤剖面深度增加而减少,呈现表聚性特点。过度放牧严重破坏了沼泽土壤物理结构,干扰了沼泽生态系统营养元素循环。因此,应降低放牧强度,间歇性围栏,促进退化沼泽生态系统氮循环,恢复土壤肥力,遏制土壤养分流失,改善退化沼泽土壤环境。

4.4 沼泽退化主要影响因子

放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化主要受土壤水分和养分梯度驱动。土壤水分含量越低,氮养分含量越低,磷养分含量越高,沼泽退化越严重。通过建立基于 PCA 分析的多元回归模型,可以较为客观地将若尔盖高原退化沼泽分级,原始沼泽、轻度退化和中度退化沼泽的 PCs 值均为负值,重度和极度退化沼泽的 PCs 值为正值。但是,其分级阈值的确定还有待进一步研究。

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] Li K, Yang Y X, Yang Y, Han D Y, Yang Y M, Tian K, Zhang C B. Research progress of the degradation and restoration of the plateau wetlands in China. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(11): 6714-6716, 6719.
- [3] Zhang X L, Li P Y. Discussion on standard of wetland degradation. *Wetland Science*, 2004, 2(1): 36-41.
- [4] 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. *Journal of Lake Sciences*, 2007, 19(2): 151-157.
- [5] Davis J A, Froend R. Loss and degradation of wetlands in southwestern Australia: underlying causes, consequences and solutions. *Wetlands Ecology and Management*, 1999, 7(1/2): 13-23.
- [6] Chow-Fraser P, Lougheed V, Le Thiec V, Crosbie B, Simser L, Lord J. Long-term response of the biotic community to fluctuating water levels and changes in water quality in Cootes Paradise Marsh, a degraded coastal wetland of Lake Ontario. *Wetlands Ecology and Management*, 1998, 6(1): 19-42.
- [7] Schwerdtfeger J, Johnson M S, Weiler M, Couto E G. Isotopic estimation of water balance and groundwater-surface water interactions of tropical wetland lakes in the Pantanal, Brazil. San Francisco: American Geophysical Union, Fall Meeting, 2009.
- [8] Odland A, del Moral R. Thirteen years of wetland vegetation succession following a permanent drawdown, Myrkdalen Lake, Norway. *Plant Ecology*, 2002, 162(2): 185-198.
- [9] Shan G L, Xu Z, Ning F. The changes of community structure and species diversity in different succession stage in typical steppe. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2010, 24(2): 163-169.
- [10] Zhang J Y, Zhao H L, Zhang T H, Zhao X Y. Dynamics of species diversity of communities in restoration processes in Horqin sandy land. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(1): 86-92.
- [11] Xiao D R, Tian K, Yuan H, Li N Y, Xu S G. Composition of plant functional group and species diversity in degraded plateau wetland of Napahai northwestern Yunnan, China. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2006, 15(S1): 46-50.
- [12] Yang Y X. Ecological environment deterioration, mire degeneration and their formation mechanism in the Zoige plateau. *Journal of Mountain Research*, 1999, 7(4): 318-323.
- [13] Liu J S, Yang J S, Yu J B, Wang J D. Study on vertical distribution of soil organic carbon in wetlands Sanjiang plain. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(3): 5-8.
- [14] Lu M, Tian K, Cheng Y H, Chang F L, Mo J F. Studies on soil nutrients and enzyme activities of degraded wetland in Napahai. *Journal of Southwest Forestry College*, 2004, 24(1): 36-37.
- [15] Tian K, Chang F L, Lu M, Mo J F, Yang Y X. Impacts of human disturbances on organic carbon and nitrogen in Napahai wetlands, northwest Yunnan. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(5): 681-686.
- [16] Wang W Q, Zeng C S, Zhong C Q, Tong C. Effect of Human disturbance on ecological stoichiometry characteristics of soil carbon, nitrogen and phosphorus in Minjiang River Estuarine Wetland. *Environmental Science*, 2010, 31(10): 2411-2416.
- [17] Wang S Y. Analysis on change of physical characteristics of degraded wetland soils in Sanjiang Plain. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(3): 167-174.
- [18] Gao H F, Bai J H, Wang Q G, Huang L B, Xiao R. Distribution of soil pH values and soil water contents in floodplain wetlands in the lower reach of Huolin River. *Research of Soil and Water Conservation*, 2011, 18(1): 268-271.
- [19] Zheng Q Y, Ze B, Li H D, Chen M S. Stock capacity change of swamp meadow in Ruergai. *Prataculture and Animal Husbandry*, 2009, (6):

- 14-16.
- [20] Lou Y J, Zhao K Y, Hu J M. Species diversity of typical wetland plant communities in Sanjiang Plain. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(4): 364-368.
- [21] Richardson C J, King R S, Qian S S, Vaithyanathan P, Qualls R G, Stow C A. Estimating ecological thresholds for phosphorus in the everglades. *Environmental Science Technology*, 2007, 41(23): 8084-8091.
- [22] Zhao K Y, Lou Y J. Wetland degradation and biodiversity restoration in Ruoergai (Zoige) Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau // *CNC-Diversitas*, et al. *Advances in Biodiversity Conservation and Research in China — Proceedings of the seventh national symposium on the conservation and sustainable use of biodiversity in China*, Beijing: China Meteorological Press, 2007: 310-315.
- [23] Lou Y J, Zhao K Y, Ma K P. Change in floristic composition and species diversity of plant community along environment gradient in Honghe National Nature Reserve, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9): 3883-3891.
- [24] Yan Q, Lu J J, He W S. Succession character of salt marsh vegetations in Chongming Dongtan wetland. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(5): 1097-1101.
- [25] Xiao D R, Tian K, Yuan H, Yang Y M, Li N Y, Xu S G. The distribution patterns and changes of aquatic plant communities in Napahai Wetland in northwestern Yunnan Plateau, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3624-3629.
- [26] Pellerin S, Mercure M, Desaulniers A S, Lavoie C. Changes in plant communities over three decades on two disturbed bogs in southeastern Québec. *Applied Vegetation Science*, 2008, 12(1): 107-118.
- [27] Qiu S W, Sun G T, Xia Y M. Formation and evolution of marshes in the middle-east of the Sanjiang Plain. *Wetland Science*, 2008, 6(2): 148-159.
- [28] Yang L M, Li J D, Yang Y F. β -diversity of grassland communities along gradient of grazing disturbance. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(4): 442-446.
- [29] Jiang X L, Zhan W G, Yang Z Y, Wang G. The influence of disturbance on community structure and plant diversity of alpine meadow. *Acta Botanica Boreal-Occidentalia Sinica*, 2003, 23(9): 1479-1485.
- [30] Mao Z H, Zhu J J. Effects of disturbances on species composition and diversity of plant communities. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2695-2701.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] Tiemeyer B, Frings J, Kahle P, Köhne S, Lennartz B. A comprehensive study of nutrient losses, soil properties and groundwater concentrations in a degraded peatland used as an intensive meadow-implications for re-wetting. *Journal of Hydrology*, 2007, 345(1/2): 80-101.
- [34] White J R, Reddy K R. Nitrification and denitrification rates of Everglades wetland soils along a phosphorus-impacted gradient. *Journal of Environmental Quality*, 2003, 32(6): 2436-2443.
- [35] Chen Y D, Liang C H, Wang Y S, Li Y Y, Guo B D, Zhang Y H. Phosphorus adsorption and desorption characteristics of wetland soil under different redox conditions. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(4): 724-72.
- [36] Yang Y X, Wang S Y. Human disturbances on mire and peat soils in the Zoige plateau. *Resources Science*, 2001, 23(2): 37-41.
- [37] Pacala S, Tilman D. The transition from sampling to complementary // Kinzig A P, Pacala S, Tilman D, eds. *The Functional Consequences of Biodiversity: Empirical Progress and Theoretical Extensions*. Princeton: Princeton University Press, 2002: 151-166.

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): 150-155.
- [2] 李珂, 杨永兴, 杨杨, 韩大勇, 杨宇明, 田昆, 张昌兵. 中国高原湿地退化与恢复研究进展. *安徽农业科学*, 2011, 39(11): 6714-6716, 6719.
- [3] 张晓龙, 李培英. 湿地退化标准的探讨. *湿地科学*, 2004, 2(1): 36-41.
- [4] 金相灿, 颜昌富, 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.
- [9] 单贵莲, 徐柱, 宁发. 典型草原不同演替阶段群落结构与物种多样性变化. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(2): 163-169.
- [10] 张继义, 赵哈林, 张铜会, 赵学勇. 科尔沁沙地植被恢复系列上群落演替与物种多样性的恢复动态. *植物生态学报*, 2004, 28(1): 86-92.
- [11] 肖德荣, 田昆, 袁华, 李宁云, 徐守国. 高原退化湿地纳帕海植物功能群组成及多样性. *长江流域资源与环境*, 2006, 15(S1): 46-50.
- [12] 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, 7(4): 318-323.

- [13] 刘景双, 杨继松, 于君宝, 王金达. 三江平原沼泽湿地土壤有机碳的垂直分布特征研究. 水土保持学报, 2003, 17(3): 5-8.
- [14] 陆梅, 田昆, 陈玉惠, 常凤来, 莫剑锋. 高原湿地纳帕海退化土壤养分与酶活性研究. 西南林学院学报, 2004, 24(1): 36-37.
- [15] 田昆, 常凤来, 陆梅, 莫剑锋, 杨永兴. 人为活动对云南纳帕海湿地土壤碳氮变化的影响. 土壤学报, 2004, 41(5): 681-686.
- [16] 王维奇, 曾从盛, 钟春棋, 仝川. 人类干扰对闽江河口湿地土壤碳、氮、磷生态化学计量学特征的影响. 环境科学, 2010, 31(10): 2411-2416.
- [17] 王世岩. 三江平原退化湿地土壤物理特征变化分析. 水土保持学报, 2004, 18(3): 167-174.
- [18] 高海峰, 白军红, 王庆改, 黄来斌, 肖蓉. 霍林河下游典型洪泛区湿地土壤 pH 值和土壤含水量分布特征. 水土保持研究, 2011, 18(1): 268-271.
- [19] 郑群英, 泽柏, 李华德, 陈明胜. 若尔盖沼泽草甸载畜量变化. 草业与畜牧, 2009, (6): 14-16.
- [20] 娄彦景, 赵魁义, 胡金明. 三江平原湿地典型植物群落物种多样性研究. 生态学杂志, 2006, 25(4): 364-368.
- [22] 赵魁义, 娄彦景. 青藏高原若尔盖湿地退化与生物多样性修复//国际生物多样性计划中国委员会等. 中国生物多样性保护与研究进展 VII——第七届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集. 北京: 气象出版社, 2007: 310-315.
- [23] 娄彦景, 赵魁义, 马克平. 洪河自然保护区典型湿地植物群落组成及物种多样性梯度变化. 生态学报, 2007, 27(9): 3883-3891.
- [24] 闫芊, 陆健健, 何文珊. 崇明东滩湿地高等植被演替特征. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1097-1101.
- [25] 肖德荣, 田昆, 袁华, 杨宇明, 李宁云, 徐守国. 高原湿地纳帕海水生植物群落分布格局及变化. 生态学报, 2006, 26(11): 3624-3629.
- [27] 裘善文, 孙广友, 夏玉梅. 三江平原中东部沼泽湿地形成及其演化趋势的探讨. 湿地科学, 2008, 6(2): 148-159.
- [28] 杨利民, 李建东, 杨允菲. 草地群落放牧干扰梯度 β 多样性研究. 应用生态学报, 1999, 10(4): 442-446.
- [29] 江小蕾, 张卫国, 杨振宇, 王刚. 不同干扰类型对高寒草甸群落结构和植物多样性的影响. 西北植物学报, 2003, 23(9): 1479-1485.
- [30] 毛志宏, 朱教君. 干扰对植物群落物种组成及多样性的影响. 生态学报, 2006, 26(8): 2695-2701.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [35] 陈亚东, 梁成华, 王延松, 李月瑶, 郭宝东, 张永红. 氧化还原条件对湿地土壤磷吸附与解吸特性的影响. 生态学杂志, 2010, 29(4): 724-729.
- [36] 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. 31, No. 20 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port WANG Baoqiang, XUE Junzeng, ZHUANG Hua, et al (5865)

Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer FENG Jianfeng, WANG Xiuming, MENG Weiqing, et al (5875)

Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) using landscape genetics XUE Yadong, LI Li, LI Diqiang, WU Gongsheng, et al (5886)

Study on the spatial pattern of wetland bird richness and hotspots in Sanjiang Plain LIU Jiping, LÜ Xianguo (5894)

Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang (5903)

Landscape pattern gradient on tree canopy in the central city of Guangzhou, China ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (5910)

Research on dynamic changes of landscape structure and land use eco-security; a case study of Jiansanjiang land reclamation area LIN Jia, SONG Ge, SONG Siming (5918)

Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern LI Hui, YI Na, YAO Wenjing, WANG Siqi, et al (5928)

Changes of paddy field landscape and its influence factors in a typical town of south Jiangsu Province ZHOU Rui, HU Yuanman, SU Hailong, et al (5937)

Species composition and succession of swamp vegetation along grazing gradients in the Zoige Plateau, China HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5946)

Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau LI Ke, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5956)

Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhou bay and its potential ecological impacts LAN Wenlu (5970)

Response of radial growth Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) to climate factors in Wanxian Mountain of He'nan Province PENG Jianfeng, YANG Airong, TIAN Qinhua (5977)

Vegetation and species diversity change analysis in 50 years in Tashan Mountain, Shandong Province, China GAO Yuan, CHEN Yufeng, DONG Heng, et al (5984)

Effect of urban heat island on plant growth and adaptability of leaf morphology constitute WANG Yating, FAN Lianlian (5992)

Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant *Thuja sutchuenensis* LIU Jianfeng, YANG Wenjuan, JIANG Zeping, et al (5999)

Effects of shading on growth and quality of triennial *Clematis manshurica* Rupr. HAN Zhongming, ZHAO Shujie, LIU Cuijing, et al (6005)

Allelopathic effect of extracts from *Artemisia sacrorum* leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain WANG Hui, XIE Yongsheng, YANG Yali, et al (6013)

Effects of soil base cation composition on plant distribution and diversity in coastal wetlands of Hangzhou Bay, East China WU Tonggui, WU Ming, YU Mukui, et al (6022)

Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of *Stipa* L. in alpine grassland in northern Tibet in China CAI Xiaobu, PENG Yuelin, YANG Minna, et al (6029)

Water consumption and annual variation of transpiration in mature *Acacia mangium* Plantation ZHAO Ping, ZOU Lvliu, RAO Xingquan, et al (6038)

Foliar phenotypic plasticity of a warm-temperate shrub, *Vitex negundo* var. *heterophylla*, to different light environments in the field DU Ning, ZHANG Xiuru, WANG Wei, et al (6049)

An case study on vegetation stability in sandy desertification land; determination and comparison of the resilience among communities after a short period of extremely aridity disturbanc	ZHANG Jiyi, ZHAO Halin (6060)
Response of soil quality indicators to comprehensive amelioration measures in coastal salt-affected land	SHAN Qihua, ZHANG Jianfeng, RUAN Weijian, et al (6072)
Fine-scale spatial associations of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Stellera chamaejasme</i> population in alpine degraded grassland	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6080)
The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment	GONG Shihui, WEN Zhongming, SHI Yu (6088)
Ozone stress increases lodging risk of rice cultivar Liangyoupeijiu; a FACE study	WANG Yunxia, WANG Xiaoying, YANG Lianxin, et al (6098)
Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen	YANG Wenting, LI Zhixian, SHU Lei, et al (6108)
Effect of wetting duration on nitrogen fixation of biological soil crusts in Shapotou, Northern China	ZHANG Peng, LI Xinrong, HU Yigang, et al (6116)
Effects of zinc on the fruits' quality of two eggplant varieties	WANG Xiaojing, WANG Huimin, WANG Fei, et al (6125)
Rapid light-response curves of PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of <i>Salix leucopithecia</i> subjected to cadmium-ion stress	QIAN Yongqiang, ZHOU Xiaoxing, HAN Lei, et al (6134)
Physiological Response of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy	XUE Shengguo, ZHU Feng, YE Sheng, et al (6143)
Physiological response of <i>Zoysia japonica</i> to Cd ²⁺	LIU Junxiang, SUN Zhenyuan, JU Guansheng, et al (6149)
Biosorption of Cd ²⁺ using the fruiting bodies of two macrofungi	LI Weihuan, MENG Kai, LI Junfei, et al (6157)
Factors regulating recruitment of <i>Microcystis</i> from the sediments of the eutrophic Shanzai Reservoir	SU Yuping, LIN Hui, ZHONG Houzhang, et al (6167)
A new type of insect trap and its trapping effect on <i>Cyrtotrachelus buqueti</i>	YANG Yaojun, LIU Chao, WANG Shufang, et al (6174)
Photoperiod influences diapause induction of Oriental Fruit Moth(Lepidoptera: Tortricidae)	HE Chao, MENG Quanke, HUA Lei, et al (6180)
Influence of edge effects on arthropods communities in agroforestry ecological systems	WANG Yang, WANG Gang, DU Yingqi, et al (6186)
Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities	CHENG Lin, LI Feng, DENG Huafeng (6194)
Comprehensive assessment of urban ecological risks; the case of Huaibei City	CHANG Hsiaoifei, WANG Rusong, LI Zhengguo, et al (6204)
The dynamics of surface heat status of Tangshan City in 1993—2009	JIA Baoquan, QIU Erfa, CAI Chunju (6215)
A projection-pursuit based model for evaluating the resource-saving and environment-friendly society and its application to a case in Wuhan	WANG Qianqian, ZHOU Jingxuan, LI Xiangmei, et al (6224)
Research on ecological barrier to Chang-Zhu-Tan metropolitan area	XIA Benan, WANG Fusheng, HOU Fangzhou (6231)
Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent; a case study in Ningguo City, China	ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (6242)
Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model; a case study of Gansu Province, China	ZHANG Bo, LIU Xiuli (6251)
Review and Monograph	
A prospect for study on isolated wetland	TIAN Xuezhi, LIU Jiping (6261)
Dinoflagellate heterotrophy	SUN Jun, GUO Shujin (6270)
Research progress of microbial agents in ecological engineering	WEN Ya, ZHAO Guozhu, ZHOU Chuanbin, et al (6287)
The progress of ecological civilization construction and its indicator system in China	BAI Yang, HUANG Yuchi, WANG Min, et al (6295)

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 20 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 20 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
主 管 中国科学技术协会
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

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
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@espg.net

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@espg.net

订 购 全国各地邮局
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

Domestic All Local Post Offices in China
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