

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学学会2011年学术年会专辑



第31卷 第19期 Vol.31 No.19 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 (SHENTAI XUEBAO)

第31卷 第19期 2011年10月 (半月刊)

目 次

卷首语	本刊编辑部 (I)
我国生态学研究及其对社会发展的贡献	李文华 (5421)
生态学的现任务——要在混乱和创新中前进	蒋有绪 (5429)
发展的生态观:弹性思维.....	彭少麟 (5433)
中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展	刘世荣,王晖,栾军伟 (5437)
区域尺度陆地生态系统碳收支及其循环过程研究进展.....	于贵瑞,方华军,伏玉玲,等 (5449)
流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展	刘丽娟,李小玉,何兴元 (5460)
中国珍稀濒危孑遗植物珙桐种群的保护.....	陈艳,苏智先 (5466)
水资源投入产出方法研究进展.....	肖强,胡聃,郭振,等 (5475)
我国害鼠不育控制研究进展.....	刘汉武,王荣欣,张凤琴,等 (5484)
基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究	李辉霞,刘国华,傅伯杰 (5495)
毛乌素沙地克隆植物对风蚀坑的修复.....	叶学华,董鸣 (5505)
近 50 年黄土高原地区降水时空变化特征.....	王麒翔,范晓辉,王孟本 (5512)
森林资源可持续状况评价方法.....	崔国发,邢韶华,姬文元,等 (5524)
黄土丘陵区景观格局对水土流失过程的影响——景观水平与多尺度比较.....	王计平,杨磊,卫伟,等 (5531)
未来 10 年黄土高原气候变化对农业和生态环境的影响	俄有浩,施茜,马玉平,等 (5542)
山东近海生态资本价值评估——近海生物资源现存量价值.....	杜国英,陈尚,夏涛,等 (5553)
山东近海生态资本价值评估——供给服务价值.....	王敏,陈尚,夏涛,等 (5561)
特大冰冻灾害后大明山常绿阔叶林结构及物种多样性动态.....	朱宏光,李燕群,温远光,等 (5571)
低磷和干旱胁迫对大豆植株干物质积累及磷效率的影响	乔振江,蔡昆争,骆世明 (5578)
中国环保模范城市生态效率评价.....	尹科,王如松,姚亮,等 (5588)
污染足迹及其在区域水污染压力评估中的应用——以太湖流域上游湖州市为例.....	焦雯珺,闵庆文,成升魁,等 (5599)
近二十年来上海不同城市空间尺度绿地的生态效益.....	凌焕然,王伟,樊正球,等 (5607)
城市社区尺度的生态交通评价指标.....	戴欣,周传斌,王如松,等 (5616)
城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例	李锋,叶亚平,宋博文,等 (5623)
中国居民消费隐含的碳排放量变化的驱动因素	姚亮,刘晶茹,王如松 (5632)
煤矿固废资源化利用的生态效率与碳减排——以淮北市为例	张海涛,王如松,胡聃,等 (5638)
城市遮阴环境变化对大叶黄杨光合过程的影响	于盈盈,胡聃,郭二辉,等 (5646)
广东永汉传统农村的聚落生态观	姜雪婷,严力蛟,后德仟 (5654)
长江三峡库区昆虫丰富度的海拔梯度格局——气候、土地覆盖及采样效应的影响	刘晔,沈泽昊 (5663)
东南太平洋智利竹筍鱼资源和渔场的时空变化	化成君,张衡,樊伟 (5676)
豚草入侵对中小型土壤动物群落结构特征的影响.....	谢俊芳,全国明,章家恩,等 (5682)

我国烟粉虱早春发生与秋季消退.....	陈春丽, 郭军锐, 戈 峰, 等 (5691)
变叶海棠及其伴生植物峨眉小檗的水分利用策略	徐 庆, 王海英, 刘世荣 (5702)
杉木人工林不同深度土壤 CO ₂ 通量.....	王 超, 黄群斌, 杨智杰, 等 (5711)
不同浓度下四种除草剂对福寿螺和坑螺的生态毒理效应.....	赵 兰, 骆世明, 黎华寿, 等 (5720)
短期寒潮天气对福州市绿地土壤呼吸及组分的影响.....	李熙波, 曾文静, 李金全, 等 (5728)
黄土丘陵沟壑区景观格局对流域侵蚀产沙过程的影响——斑块类型水平.....	王计平, 杨 磊, 卫 伟, 等 (5739)
气候变化对物种分布影响模拟中的不确定性组分分割与制图——以油松为例.....	张 雷, 刘世荣, 孙鹏森, 等 (5749)
北亚热带马尾松年轮宽度与 NDVI 的关系	王瑞丽, 程瑞梅, 肖文发, 等 (5762)
物种组成对高寒草甸植被冠层降雨截留容量的影响.....	余开亮, 陈 宁, 余四胜, 等 (5771)
若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能	熊远清, 吴鹏飞, 张洪芝, 等 (5780)
桂西北喀斯特峰丛洼地不同植被演替阶段的土壤脲酶活性.....	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (5789)
利用混合模型分析地域对国内马尾松生物量的影响	符利勇, 曾伟生, 唐守正 (5797)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林土壤理化性质的影响.....	张 喜, 朱 军, 崔迎春, 等 (5809)
不同培育时间侧柏种基盘苗根系生长和分布.....	杨喜田, 董娜琳, 闫东锋, 等 (5818)
Cd ²⁺ 与 CTAB 复合污染对枫香幼苗生长与生理生化特征的影响	章 芹, 薛建辉, 刘成刚 (5824)
3 种入侵植物叶片挥发物对旱稻幼苗根的影响	张风娟, 徐兴友, 郭艾英, 等 (5832)
米槠-木荷林优势种群的年龄结构及其更新策略	宋 坤, 孙 文, 达良俊 (5839)
褐菖鲉肝 CYP 1A 作为生物标志物监测厦门海域石油污染状况	张玉生, 郑榕辉, 陈清福 (5851)
基于输入-输出流分析的生态网络 φ 模式能流、 ρ 模式能流测度方法	李中才, 席旭东, 高 勤, 等 (5860)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 444 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 50 * 2011-10



封面图说:胡杨是我国西北干旱沙漠地区原生的极其难得的高大乔木,树高 15—30 米,能忍受荒漠中的干旱环境,对盐碱有极强的忍耐力。为适应干旱气候一树多态叶,因此胡杨又称“异叶杨”。它对于稳定荒漠河流地带的生态平衡,防风固沙,调节绿洲气候和形成肥沃的森林土壤具有十分重要的作用。秋天的胡杨林一片金光灿烂。

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

熊远清, 吴鹏飞, 张洪芝, 崔丽巍, 何先进. 若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能. 生态学报, 2011, 31(19): 5780-5788.
Xiong Y Q, Wu P F, Zhang H Z, Cui L W, He X J. Dynamics of soil water conservation during the degradation process of the Zoigê Alpine Wetland. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(19): 5780-5788.

若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能

熊远清¹, 吴鹏飞^{2,*}, 张洪芝², 崔丽巍², 何先进²

(1. 四川省阿坝州若尔盖县林业局, 若尔盖 624500; 2. 西南民族大学生命科学与技术学院, 成都 610041)

摘要:若尔盖湿地是青藏高原上面积最大的沼泽湿地,也是长江、黄河两大河流的水源区,对区域水循环起重要调节作用。近年来在全球变化及放牧的影响下,若尔盖湿地出现了不同程度的退化。为了查明若尔盖湿地退化过程中水源涵养功能的变化趋势,2009年8月对该区域的沼泽草甸、草原草甸和沙化草甸3个阶段的土壤水源涵养功能进行了调查。结果为:若尔盖湿地由沼泽草甸向草原草甸和沙化草甸的退化过程中,土壤容重显著增加($P<0.01$),毛管孔隙度和总孔隙度显著下降($P<0.01$),且容重和孔隙度在土壤剖面自然分布规律也发生变化;沼泽草甸的土壤自然含水量、毛管持水量、最小持水量和最大持水量均显著高于草原草甸和沙化草甸($P<0.01$);0—100 cm深度范围内的沼泽草甸土壤的最大持水量(8486.27 t/hm²)显著高于草原草甸(4944.98 t/hm²)和沙化草甸(4637.96 t/hm²)($P<0.01$)。土壤持水量与有机质含量、毛管孔隙度和总孔隙度有显著正相关($P<0.01$),与土壤容重呈显著负相关($P<0.01$),并受植被盖度和泥炭层厚度的影响。研究结果表明,若尔盖湿地退化过程中植被盖度、土壤有机质含量及泥炭层厚度的下降和土壤质地沙化是导致若尔盖湿地水源涵养功能下降的主要原因。

关键词:若尔盖湿地; 沼泽草甸; 草原草甸; 沙化草甸; 水源涵养功能

Dynamics of soil water conservation during the degradation process of the Zoigê Alpine Wetland

XIONG Yuanqing¹, WU Pengfei^{2,*}, ZHANG Hongzhi², CUI Liwei², HE Xianjin²

1 Ruoergai Forestry Bureau in Aba Autonomous Prefecture in Sichuan Province, Ruoergai 624500, China

2 Life Sciences and Technologies of Southwest University for Nationalities, Chengdu 610041, China

Abstract: Zoigê wetland, located on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau, is the largest area alpine wetland and headwaters of Yangtse River and Yellow River, and plays an important role in the water cycling. But in recent decades, Zoigê wetland degraded seriously under the influence of global change and human disturbance. The investigations were conducted at three degradation stages of swampy meadow, grassland meadow and sandy meadow to study the dynamics of soil water conservation functions during the alpine wetland degradation progress. The result showed that: (1) the soil bulk density increased significantly ($P<0.01$), and the capillary porosity and total porosity decreased significantly ($P<0.01$) during the alpine wetland degenerating from swampy meadow to grassland meadow and sandy meadow, with change of vertical distribution along soil profile, (2) significant decreases ($P<0.01$) were recorded in the natural water holding-capacity, capillary water-holding capacity, minimum water-holding capacity and maximum water-holding capacity during the degradation process; (3) the maximum water-holding capacity within 0—100 cm soil depth significantly reduced ($P<0.01$) from 8486.27 t/hm² of swampy meadow to 4944.98 t/hm² of grassland meadow and 4637.96 t/hm² of sandy meadow and (4) the soil water-holding capacities are positively correlated ($P<0.01$) with the soil organic material content, capillary

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(40801092); 四川省应用基础研究项目(07JY029-130); 教育部科学技术研究重点项目(209154); 四川省科技支撑项目(2010SZ0126); 中央高校基本科研业务费专项(11NZYTH01)资助; 西南民族大学研究生学位点建设项目(2011XWD-S071012)

收稿日期:2011-05-18; 修订日期:2011-07-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail:

porosity and total porosity, but negatively with soil bulk density ($P<0.01$) , as well as influenced by plant coverage and depth of peat soil indirectly. These results indicated that the degradation of Zoigê alpine wetland can lead to the decline of soil water conservation function and the decreases of plant coverage, soil organic material and peat soil depth are the basically reasons for the reduce of water conservation function.

Key Words: Zoigê wetland; swampy meadow; grassland meadow; sandy meadow; water conservation function

水资源是人类赖以生存和发展的物资条件,是经济、社会可持续发展的重要基础^[1]。随着全球水资源需求量的不断增加以及水环境的急剧恶化,水资源紧缺已成为世人所共同关注的全球性问题^[2]。水源涵养是生态系统的重要服务功能之一^[3],而土壤蓄水能力是评价陆地生态系统水源涵养、调节水循环的主要指标之一^[4]。此外,土壤含水量还能够控制各种营养物质的矿化和转移速度^[5-6],对植物的生长^[7]和繁殖^[8]有重要影响。因此,土壤水分是影响植物生长的重要因素,也是退化生态系统植被恢复与重建的关键因子。

湿地是陆生生态系统和水生生态系统之间具有独特水文、土壤、植被与生物特征的多功能过渡性生态系统,在涵养水源、调节洪水径流及生物多样性形成等方面具有十分重要的作用。因此,湿地有“地球之肾”和“生物基因库”之称^[9]。若尔盖湿地位于青藏东缘,是青藏高原上面积最大的高原沼泽湿地分布区,也是黄河、长江两大河流的源头区,被科技界誉为“中华民族的水塔”。从20世纪50年代左右开始,由于受气候变化及人类活动^[10-11]的影响,若尔盖沼泽湿地开始向自然疏干方向发展,湿地面积萎缩^[12-14]。近些年来,荒漠化及沙化的草地面积继续扩大^[15-17]。沼泽湿地退化后,植物群落^[18]、土壤养分^[9]及土壤呼吸^[19-20]都发生明显变化,但目前未见关于若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能方面的研究。因此,研究若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能动态对揭示高原湿地结构和功能的变化趋势具有重要意义。

本文以若尔盖湿地的沼泽草甸、草原草甸和沙化草甸为对象,研究3个不同生境的土壤物理性质和水源涵养功能,旨在查明若尔盖湿地演化过程中土壤水源涵养功能的变化趋势,其结果可为江河源区的生态保护及退化湿地的生态恢复提供科学依据。

1 研究区概况

若尔盖湿地位于青藏高原东部边缘,属于黄河上游地区,其地理坐标介于东经 $102^{\circ}08'—103^{\circ}39'$,北纬 $32^{\circ}56'—34^{\circ}19'$ 之间。海拔3400—3800 m,平均海拔3500 m。气候为典型的大陆性高原寒温带湿润半湿润季风气候。最冷月(1月)多年平均气温 -10.6°C ,绝对最低气温 -33.7°C ,最大冻土深72 cm;最热月(7月)平均气温 10.8°C ,绝对最高气温 24.6°C ,年平均气温 0.7°C 。年降雨量600—800 mm,多年平均降雨量656.8 mm,其中86%集中于4月下旬至10月中旬。年均日照2389 h,平均日照12 h。年均蒸发量1232 mm。植被以沼泽植被和草甸植被为主,沼泽植物的优势种有木里苔草(*Carex miliensis*)、毛果苔草(*Carex lasiocarpa*)、乌拉苔草(*Carex meyeriana*)、藏嵩草(*Kobresia tibetica*)等,盖度可达40%—90%;草甸植被以嵩草属(*Kobresia* spp.)、蓼属(*Polygonum* spp.)植物为主,禾本科草及毒害草占有一定数量。近几十年来,在全球气候变化及放牧等因素的影响下,若尔盖湿地不断退化,出现了旱化沼泽草甸、草甸和沙化草甸多种生境类型并存的景观格局。

2 研究方法

2.1 样品采集

2009年7月,在若尔盖湿地根据退化程度选择了沼泽草甸、草甸和沙化草甸3种典型生境,每种生境各选取3个样地,各样地基本情况如表1。每个样地内各挖一个土壤剖面,深度为1.2 m,宽度为0.8 m。根据自然发生层对土壤剖面进行分层,并记录各层次的深度、质地等情况。用容积 200 cm^3 环刀($\Phi70 \text{ mm} \times H52 \text{ mm}$)分层取样,第1层取5个,其余各层每层取3个。环刀样品编号后放入密封袋内,采样当天用精度为0.01 g的电子天平称量每个环刀样品的鲜重(m_{sl} ,g)。共采集土壤环刀样品105个。

表1 湿地不同退化阶段采样点的基本概况

Table 1 The basic information of the samples at different degradation stages

退化阶段 Degradation stages	序号 No.	地形 Topography	海拔/m Elevation	经度 Longitude	纬度 Latitude	植被高度 [*] Plant high/cm	植被盖度/% Coverage	土壤类型 Soil type	有机质/g/kg SOM
沼泽草甸	1	闭流宽谷	3441.00	102°49.560'	33°30.853'	5—20/7	90	沼泽土	132.68
Swampy meadow	2	闭流宽谷	3490.70	103°03.645'	33°28.081'	8—20/15	95	沼泽土	154.93
	3	闭流宽谷	3468.10	102°42.514'	33°28.900'	15—30/20	90	沼泽土	147.87
草原草甸	4	阶地	3446.00	102°55.567'	33°41.335'	8—20/15	90	草甸土	77.69
Grassland meadow	5	闭流宽谷	3441.40	102°27.025'	33°21.002'	8—20/15	85	草甸土	59.58
	6	阶地	3445.30	102°39.132'	33°39.006'	8—20/15	85	草甸土	71.34
沙化草甸	7	浅丘山麓	3469.08	102°30.234'	33°44.984'	5—20/10	25	风沙土 ^①	6.41
Sandy meadow	8	浅丘山麓	3476.60	102°30.768'	33°44.959'	5—20/10	15	风沙土 ^①	3.17
	9	浅丘山麓	3446.00	102°28.993'	33°43.358'	20—50/40	20	风沙土 ^②	3.60

* 范围值/平均高度值; ① 0—55 cm 范围内为风沙土, 55 cm 之下为沙壤土; ② 0—100 cm 范围内均为风沙土; SOM: Soil organic material

2.2 土壤水分物理性质测定

土壤容重和持水量使用环刀法一次取样连续测定, 将装有原状土壤的环刀在水中浸泡 12 h 称重(m_{s2} , g), 计算最大持水量(C_{max} , g/cm³); 然后放于干砂上 2 h, 此时环刀中土壤的非毛管水已全部流出, 称重(m_{s3} , g)计算毛管持水量(C_{cap} , g/cm³); 再将其放于干砂上 24 h, 此时环刀中土壤的水分为毛管悬着水, 称重(m_{s4} , g)计算最小持水量(C_{min} , g/cm³); 最后将环刀中土壤放入烘箱烘干(105 °C), 称量环刀中的干土质量(m_{s0} , g)。该方法详见《森林土壤定位研究方法》^[21]。容重、孔隙度与持水量的计算公式如下:

$$D = \frac{m_{s0}}{V}; C_{nat} = \frac{m_{s1} - m_{s0}}{V}; C_{max} = \frac{m_{s2} - m_{s0}}{V}; C_{cap} = \frac{m_{s3} - m_{s0}}{V}; C_{min} = \frac{m_{s4} - m_{s0}}{V}; \\ P_{non} = (C_{max} - C_{cap}) \times D; P_{cap} = C_{cap} \times D; P_{tot} = P_{non} + P_{cap} \times D$$

式中, m_{s0} 、 m_{s1} 、 m_{s2} 、 m_{s3} 、 m_{s4} (g)分别为环刀内土壤干重、鲜重、浸泡 12 h 后的饱和重量、失去非毛管水后的重量和仅持有毛管悬着水的重量; D (g/cm³)为土壤容重; V (cm³)为环刀容积; C_{nat} 、 C_{max} 、 C_{cap} 、 C_{min} (g/cm³)分别为土壤自然含水量、最大持水量、毛管持水量和最小持水量; P_{non} 、 P_{cap} 、 P_{tot} (体积分数%)为非毛管孔隙度、毛管孔隙度和总孔隙度。单位换算后, 求出各退化阶段土壤剖面各层的平均容重、孔隙度、持水量, 以及各剖面 0—100 cm 的最大持水量(t/hm²)。

利用 Excel 2003 和 SPSS15.0 软件对数据进行分析处理。

3 结果与分析

3.1 土壤物理性质动态

3.1.1 土壤容重

若尔盖湿地从沼泽草甸向草原草甸、沙化草甸的演替过程中, 土壤的容重在变化较大(表2)。沼泽草甸生境土壤剖面各层平均容重的变化范围在 0.10—0.75 g/cm³, 草原草甸各层的平均容重在 0.80—1.46 g/cm³之间, 而沙化草甸为 0.87—1.49 g/cm³。3 个阶段土壤剖面各层的平均容重分别为 0.32、1.13 和 1.37 g/cm³。统计分析结果表明 3 个演替阶段的土壤容重间差异极显著($F=182.98, P<0.01$), 多重比较结果表明 3 个阶段间的土壤容重依次增加($P<0.05$)。

各退化阶段土壤容重沿剖面的变化趋势也有所不同。沼泽草甸土壤剖面的第 1、2、3 层的平均容重分别为 0.25、0.30、0.43 g/cm³; 草原草甸的前 3 层平均容重依次为 0.92、1.13、1.36 g/cm³; 沙化草甸的依次为 1.39、1.25、1.40 g/cm³。沼泽草甸和草原草甸两生境的土壤容重由上至下均逐渐增加, 沙化草甸呈波动性变化, 表明湿地退化及沙化可以改变土壤容重的自然垂直分布规律。

3.1.2 土壤孔隙度

若尔盖湿地不同生境阶段土壤剖面各层的毛管孔隙度、非毛管孔隙度和总孔隙度的情况如表2。为了便

于分析孔隙度的变化趋势,对每个阶段土壤剖面上前3层的孔隙度以及各层平均孔隙度进行比较。

表2 不同退化阶段湿地土壤物理性质

Table 2 Soil physical properties at different degradation stages of Zoigê wetland

阶段 Degradation stages	剖面序号 No.	层次/cm Layer	容重/(g/cm ³) Soil bulk density	毛管孔隙度/% Capillary porosity	非毛管孔隙/% Non-capillary porosity	总孔隙度/% Total porosity
沼泽草甸 Swampy meadow	1	0—15	0.24±0.11	82.11±11.16	10.60±2.89	92.77±12.56
		15—40	0.39±0.02	70.98±3.72	8.10±1.91	79.09±2.99
		40—100	0.75±0.03	66.09±1.92	3.26±0.80	69.35±2.72
	2	0—25	0.14±0.11	81.91±13.42	13.06±2.03	94.97±11.40
		25—43	0.12±0.01	87.22±0.93	10.79±0.58	98.01±0.35
		43—65	0.19±0.01	92.53 ±0.98	6.26 ±0.34	98.59 ±0.35
		65—100	0.10±0.01	94.42±1.42	5.33±0.40	99.73±0.50
	3	0—24	0.36±0.00	76.30±1.03	5.89±0.79	82.20±0.26
		24—65	0.38±0.05	71.94±1.97	8.34±2.46	80.28±0.50
		65—100	0.35±0.04	76.56±2.86	5.39±2.00	81.95±0.86
	各层平均值	Mean	0.32±0.20 a	79.60±10.33 a	7.49±3.19 a	87.07±11.23 a
草原草甸 Grassland meadow	4	0—13	1.00±0.00	53.11±0.57	5.21±1.19	58.32±1.76
		13—42	1.13±0.06	46.18±3.42	7.91±2.37	54.09±3.36
		42—100	1.24±0.08	43.81±2.01	5.97±1.06	49.78±2.54
	5	0—20	0.80±0.03	57.74±1.69	7.48±2.72	65.22±1.16
		20—40	1.05±0.03	50.49 ±1.29	6.98±0.28	57.46±1.01
		40—100	1.46±0.00	39.67±0.78	4.04±0.35	43.71±0.44
	6	0—20	0.95±0.07	49.35±2.13	12.30±3.98	61.65±2.40
		20—60	1.22±0.06	45.72±1.75	6.25±1.54	51.97±3.21
		60—100	1.39±0.22	38.54±0.72	5.81±1.52	44.35±1.07
	各层平均值	Mean	1.13±0.21 b	47.22±6.10 b	7.32±3.09 ab	54.54±7.42 b
沙化草甸 Sandy meadow	7	0—32	1.42±0.05	35.14±0.45	7.22±1.38	42.36±1.83
		32—55	1.57±0.01	34.12±0.54	4.93±0.70	39.04±1.24
		55—100	1.27±0.03	49.81±2.66	2.93±0.33	52.74±2.33
	8	0—24	1.26±0.06	37.36±1.10	7.70±2.06	45.06±2.21
		24—55	0.87±0.02	59.71±0.89	3.99±0.39	63.70±0.50
		55—100	1.42±0.01	37.64±0.64	4.73±0.69	42.37±0.05
	9	0—20	1.48±0.03	40.10±0.36	3.99±1.21	44.09±1.56
		20—40	1.31±0.14	37.72±0.82	6.74±1.34	44.47±0.52
		40—60	1.49±0.23	35.27±1.08	6.92±1.94	42.00±0.70
		60—100	1.44±0.22	36.53±1.12	6.48±1.82	42.84±0.71
	各层平均值	Mean	1.37±0.20 c	39.65±7.27 c	5.74±1.97 b	45.35±6.44 c

同一列中带有相同字母的数据差异不显著($P>0.05$)

毛管孔隙度在湿地退化过程中逐渐降低,第1层的变化最为明显。3个剖面第1层的平均毛管孔隙度由沼泽草甸的80.11%分别下降到草原草甸的53.40%和沙化草甸的37.53%;第2层的平均毛管孔隙度分别为76.71%、47.46%和43.85%;第3层的依次为78.39%、40.67%和40.91%。3个阶段土壤剖面的平均毛管孔隙度依次为79.60%、47.22%和39.65%,并有显著差异($F=172.86, P<0.01$)。此外,毛管孔隙度在剖面上的变化趋势也存在差异。沼泽草甸的毛管孔隙度在剖面上呈波动性下降,草原草甸的毛管孔隙度呈明显的下降趋势,沙化草甸的则呈波动性增加。

3个阶段土壤剖面第1层的非毛管孔隙度平均值分别为9.85%、8.33%和6.30%,第2层的分别为

9.08%、7.05%和5.22%，第3层的分别为4.97%、5.28%和4.86%。方差分析结果表明，第1、3层非毛管孔隙度变化不显著($P>0.05$)，第2层显著下降($P<0.01$)。3个演替阶段土壤剖面各层的平均非毛管孔隙度分别为79.60%、47.22%和39.65%，下降趋势不显著($F=2.78, P>0.05$)，但沼泽草甸显著高于沙化草甸($P<0.05$)。此外，3个阶段土壤非毛管孔隙度沿剖面的变化趋势均是从上到下逐渐降低。

总孔隙度的变化趋势与毛管孔隙度相似。第1层的平均总孔隙度由沼泽草甸的89.96%分别降低到草原草甸的61.73%和沙化草甸的43.84%；第2层依次为85.79%、54.51%和49.07%；第3层为83.29%、45.95%和45.70%。方差分析结果表明，前3层的总孔隙度均呈显著下降趋势($P<0.01$)。3个演替阶段土壤剖面各层的平均总孔隙度分别为87.07%、54.54%和45.35%，呈显著下降($F=164.24, P<0.01$)。此外，从总孔隙度的垂直变化情况可知，沼泽草甸和草原草甸的总孔隙度沿剖面均呈显著下降趋势($P<0.01$)，沙化草甸呈波动性增加($P>0.05$)。

3.2 土壤持水量动态

若尔盖湿地不同退化阶段土壤剖面的自然含水量、毛管持水量、最小持水量和最大持水量情况如表3。

沼泽草甸、草原草甸和沙化草甸的土壤自然含水量变化范围分别为1058.33—2842.60 t/hm²、479.53—1734.30 t/hm²和184.33—2197.91 t/hm²。3个退化阶段土壤剖面0—100 cm范围内的平均自然含水量依次为7240.31 t/hm²、2618.76 t/hm²和2301.17 t/hm²，沼泽草甸的自然含水量显著高于草原草甸和沙化草甸($F=27.53, P<0.01$)。土壤剖面各层的平均自然含水量在3个退化阶段间变化较大，第1、2、3层的平均自然含水量分别由沼泽草甸的1514.78、1847.03和2816.59 t/hm²下降到沙化草甸的366.30、674.18和1119.15 t/hm²。统计分析结果表明土壤剖面前3层的自然含水量在湿地退化过程中均显著降低($P<0.01$)。

土壤毛管持水量在湿地退化过程中也呈明显的变化。沼泽草甸阶段的毛管持水量变化范围在1231.60—3965.50 t/hm²；草原草甸变化范围690.43—2540.88 t/hm²；沙化草甸为705.32—2241.34 t/hm²。3个阶段土壤剖面0—100 cm范围内的平均毛管持水量依次为7796.59 t/hm²、4336.7 t/hm²和4104.94 t/hm²，沼泽草甸显著高于草原草甸和沙化草甸($F=30.79, P<0.01$)，表明湿地退化可导致土壤毛管持水量显著下降。各退化阶段第1层的毛管持水量从沼泽草甸的1703.56 t/hm²下降到草原草甸的944.06 t/hm²和沙化草甸的941.06 t/hm²，分别降低了44.58%和44.76%；第2层毛管持水量分别为2097.93、1238.57和1130.01 t/hm²，依次降低40.96%和8.76%；第3层的毛管持水量分别为2893.56、2154.13和1546.78 t/hm²，依次下降25.55%和28.19%。不同退化阶段相同层次的毛管持水量间差异显著($P<0.01$)，表明湿地退化也可改变毛管持水量在土壤剖面的分布状况。

3个退化阶段土壤剖面各层的最小持水量变化范围分别为1203.60—3860.80 t/hm²、645.71—2399.65 t/hm²和184.33—2197.91 t/hm²。在0—100 cm范围内沼泽草甸土壤的最小持水量为7536.04 t/hm²，显著高于草原草甸73951.01 t/hm²和沙化草甸3873.28 t/hm²($F=32.78, P<0.01$)。各层最小持水量在退化过程中也呈明显下降趋势，第1层的最小持水量由沼泽草甸的1641.90 t/hm²下降到沙化草甸的881.90 t/hm²，下降了46.29%；第2层由沼泽草甸的2014.42 t/hm²下降到沙化草甸1070.63 t/hm²，降低了46.85%；第3层由2800.37 t/hm²降到1468.98 t/hm²，降低47.54%。各层最小持水量的下降也均达到极显著水平($P<0.01$)。

沼泽草甸的最大持水量变化范围在1390.58—4161.20 t/hm²，草原草甸的变化范围在758.12—2887.05 t/hm²，沙化草甸为839.98—2373.08 t/hm²。沼泽草甸0—100 cm范围的平均最大持水量为8486.27 t/hm²，显著高于草原草甸4944.98 t/hm²和沙化草甸4637.96 t/hm²($F=26.76, P<0.01$)。土壤剖面各层的最大持水量也随湿地退化逐渐降低。第一层最大持水量由沼泽草甸的1912.54 t/hm²，降低到沙化草甸的1106.21 t/hm²，降低了42.16%；第2层由沼泽草甸的2344.21 t/hm²降到沙化草甸1254.00 t/hm²，降低了46.55%；第3层由3066.06 t/hm²降到1706.57 t/hm²，降低44.37%。方差分析结果表明退化过程中前3层土壤的最大持水量均呈显著下降($P<0.01$)。

表3 不同退化阶段湿地土壤的持水量

Table 3 Soil water-holding capacity at different degradation stages of Zoigê wetland

阶段 Stages	序号 No.	层次/cm Layer	自然含水量/(t/hm ²) Natural water-holding capacity	毛管持水量/(t/hm ²) Capillary water-holding capacity	最小持水量/(t/hm ²) Minimum water-holding capacity	最大持水量/(t/hm ²) Maximum water-holding capacity
沼泽草甸 Swampy meadow	1	0—15	1058.33±208.85	1231.65±167.37	1203.60±170.53	1390.58±188.33
		15—40	1443.67±116.78	1774.58±93.12	1721.46±88.20	1977.17±57.23
		40—100	3842.60±107.51	3965.50±115.38	3860.80±103.18	4161.20±163.21
		0—100	6344.59	6971.73	6785.86	7528.94
	2	0—25	1743.81±385.46	2047.75±335.52	1970.69±326.42	2374.31±284.88
		25—43	1348.88±33.03	1569.87±16.67	1512.27±6.24	1764.09±6.24
		43—65	1995.63±48.87	2035.77±21.62	1965.71±8.11	2168.90±7.67
		65—100	3185.75±110.31	3304.60±49.64	3238.06±18.89	3490.40±17.45
		0—100	8274.07	8957.99	8686.73	9797.71
	3	0—24	1742.20±9.62	1831.28±24.81	1751.40±35.81	1972.72±6.18
草原草甸 Grassland meadow		24—65	2748.54±105.96	2949.34±80.60	2809.53±66.10	3291.38±20.44
		65—100	2611.53±58.90	2679.43±99.98	2574.60±116.81	2868.08±29.95
		0—100	7102.26	7460.04	7135.53	8132.17
		0—100 cm 平均值	7240.31±972.12 a	7796.59±1035.01 a	7536.04±1011.75 a	8486.27±1175.10 a
	4	0—13	551.83±10.43	690.43±7.42	645.71±9.55	758.12±22.87
		13—42	479.53±23.94	877.36±64.90	821.78±59.06	1027.65±63.86
		42—100	1468.37±97.81	2540.88±116.72	2399.65±84.29	2887.05±147.29
		0—100	2499.72	4108.67	3867.15	4672.81
	5	0—20	821.57±79.51	1154.73±33.90	1087.37±25.28	1304.40±23.21
		20—40	539.20±278.46	1009.70±272.38	951.25±39.99	1149.20±115.92
沙化草原 Sandy meadow		40—100	1734.30±69.58	2379.90±47.09	2151.00±64.06	2622.60±26.30
		0—100	3095.07	4544.33	4189.62	5076.20
	6	0—20	627.95±53.58	987.03±42.69	895.00±45.80	1233.00±48.08
		20—60	1017.60±74.73	1828.67±70.16	1608.13±101.35	2078.80±128.39
		60—100	615.93±68.72	1541.60±28.99	1293.13±18.67	1774.13±42.69
		0—100	2261.48	4357.29	3796.27	5085.93
		0—100 cm 平均值	2618.76±429.35 b	4336.77±218.55 b	3951.01±209.66 b	4944.98±235.76 b
	7	0—32	599.04±8.19	1124.43±14.26	1035.63±20.35	1355.41±58.52
		32—55	628.82±31.23	784.65±12.52	731.40±12.52	897.98±28.54
		55—100	2197.91±117.57	2241.34±119.48	2147.51±88.94	2373.08±104.69
0—100 cm 平均值		0—100	3425.77	4150.41	3914.54	4626.47
	8	0—24	315.52±26.72	896.68±26.41	846.56±40.54	1081.36±53.04
		24—55	1120.67±55.26	1850.95±27.53	1770.58±63.81	1974.71±15.60
		55—100	951.41±9.07	1693.69±28.80	1600.99±1.11	1906.65±2.23
		0—100	2387.60	4441.32	4218.13	4962.72
	9	0—20	184.33±1.59	802.07±7.11	763.50±6.93	881.87±31.22
		20—40	273.05±3.04	754.45±16.33	709.90±13.29	889.30±10.47
		40—60	208.12±3.28	705.32±21.59	658.45±17.44	839.98±13.98
		60—100	424.64±6.69	1461.26±44.74	1355.32±35.89	1713.56±28.52
		0—100	1090.14	3723.09	3487.17	4324.70

3.3 土壤持水量的主要影响因素

研究结果表明若尔盖湿地退化过程中土壤持水功能呈显著下降趋势,尤其表现在沙化草甸阶段。由相关

分析结果(表4)可知,土壤持水量与有机质含量、毛管孔隙度和总孔隙度有显著的正相关($P<0.01$),与土壤容重有显著的负相关($P<0.01$);而土壤有机质也与容重有显著的负相关($P<0.01$),与毛管孔隙度和总孔隙度有显著正相关($P<0.01$)。表明土壤有机质含量对土壤持水量有直接和间接影响,其他研究也证明土壤有机质不仅能影响土壤持水性能^[22],还能改变土壤结构状^[23]。若尔盖地区沼泽草甸的土壤有机质含量显著高于草原草甸和沙化草甸($F=206.05, P<0.01$),且3个阶段间均存在显著差异($P<0.01$)(表1),表明高寒草甸的退化可以导致土壤有机质含量显著下降。其他研究结果也表明若尔盖地区沼泽土和泥炭土的有机碳含量远高于草甸土^[24]。由于近几十年来气候变化和人为干扰^[11],若尔盖湿地水位下降。土壤水分的减少可使通透性增加,导致土壤微生物活性和土壤呼吸速率增强,有机质分解速率加快^[25-26],而当土壤含水量达到一定程度时,土壤呼吸强度会受到抑制^[27-28]。

由表4还可知,虽然植被盖度与土壤持水量间无显著相关($P>0.05$),但是与土壤的有机质含量、容重和孔隙度均有显著相关关系($P<0.01$ 或 $P<0.05$),表明植被盖度可以通过影响土壤的理化性质间接影响土壤持水量。也有研究表明草甸植被盖度的下降可以导致土壤含水量下降^[29]。若尔盖高寒草甸3个退化阶段间的植被盖度逐渐降低(表1),方差分析及多重比较的结果表明沼泽草甸和草原草甸的植被盖度显著高于沙化草甸($F=345.80, P<0.01$)。导致植被盖度下降的主要原因是放牧。首先,随着沼泽旱化,放牧强度增加,植物地上部分对土壤的有机质输入量下降,土壤有机质主要来源于植物地下部分^[24],使有机质含量降低。其他研究也证明放牧作用可使土壤有机碳含量下降^[30]。此外,放牧作用也能直接降低土壤孔隙度、增加容重^[31-32]。因此,放牧作用对高寒草甸的土壤水源涵养功能有重要影响。

表4 土壤持水量与主要影响因素的相关分析(2-尾检验)

Table 4 Correlations between soil water-holding capacity and environment factors (2-tailed)

	盖度 Coverage	有机质 SOM	容重 SBD	毛管孔隙 CP	非毛管孔隙 NCP	总孔隙 TP	自然 含水量 NWHC	毛管 持水量 CWHC	最小 持水量 MIWHC	最大 持水量 MAWHC
盖度 Coverage	1									
有机质 SOM	0.87 **	1								
容重 SBD	-0.82 **	-0.97 **	1							
毛管孔隙 CP	0.67 *	0.93 **	-0.96 **	1						
非毛管孔隙 NCP	0.68 *	0.66	-0.65	0.57	1					
总孔隙 TP	0.69 *	0.94 **	-0.96 **	0.99 **	0.61	1				
自然含水量 NWHC	0.58	0.87 **	-0.90 **	0.97 **	0.44	0.96 **	1			
毛管持水量 CWHC	0.58	0.88 **	-0.91 **	0.99 **	0.55	0.99 **	0.98 **	1		
最小持水量 MIWHC	0.55	0.87 **	-0.90 **	0.99 **	0.51	0.98 **	0.98 **	0.99 **	1	
最大持水量 MAWHC	0.58	0.89 **	-0.91 **	0.99 **	0.58	0.99 **	0.97 **	0.99 **	0.99 **	1

毛管孔隙度、非毛管孔隙度和总孔隙度为剖面各层的平均值;自然含水量、毛管持水量、最小持水量和最大持水量为剖面各层持水量的总和; ** $P<0.01$, * $P<0.05$; SOM: Soil organic material; SBD: Soil bulk density; CP: Capillary porosity; NCP: Non-capillary porosity; TP: Total porosity; NWHC: Nature water-holding capacity; CWHC: Capillary water-holding capacity; MWHC: Minimum water-holding capacity; MAWHC: Maximum water-holding capacity

若尔盖高寒草甸土壤水源涵养功能的下降还与土壤质地变化有关。在沼泽草甸向草原草甸和沙化草甸的演替过程中,泥炭层厚度逐渐下降,并逐步被壤土和风沙土所取代。在沼泽草甸的3个剖面中,有2个剖面的土壤泥炭层厚度达到65 cm,另一个剖面为40 cm,泥炭层之下则为粘土或沙壤土。草原草甸的3个剖面均无泥炭层,取而代之的是壤土,厚度达40 cm左右,其下则是沙壤土或粘土层。沙化草甸的土壤剖面分层更单一,3个剖面中风沙土的厚度分别为32、55 cm和100 cm,风沙土之下是沙壤层。在严重沙化的地方,风沙土的厚度达200 cm以上。根据土壤质地的变化情况,可以认为泥炭层厚度的下降或消失是导致湿地生态系统水源涵养功能下降的另一重要原因。

4 结论

若尔盖湿地在由沼泽草甸向草原草甸和沙化草甸的退化过程中,土壤容重显著增加,毛管孔隙度、非毛管孔隙度和总孔隙度均呈显著下降;且土壤容重和孔隙度沿剖面的分布规律也发生变化。土壤容重和孔隙度的变化导致持水量的下降,其中沼泽草甸土壤的自然含水量、毛管持水量、最小持水量和最大持水量均显著高于草原草甸和沙化草甸。0—100 cm 范围内的土壤最大持水量由沼泽草甸的 8486.27 t/hm² 分别下降到草原草甸 4944.98 t/hm² 和沙化草甸的 4637.96 t/hm², 呈显著变化趋势。植被盖度、土壤有机质含量及泥炭层厚度的下降是造成若尔盖湿地土壤水源涵养功能下降的主要因素,土壤质地沙化也可对持水量造成一定影响。

参考文献:

- [1] Sun X H, Zhang D M, Wan H, Chen T T, Yan F J. Analysis of coupling between soil and water conservation and economic-social development. Chinese Journal of Population, Resources and Environment, 2009, 7(1): 76-81.
- [2] Guo J K, Shi Z L, He M Q, Zhang X Q, Zhang A M, Jia X. Development of water-saving wheat cultivars to limit water shortage in North China — a case study of Hebei Province. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(4): 876-879.
- [3] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387: 253-260.
- [4] Zhao S W, Zhou Y D, Wu J S. Soil moisture characteristics of different vegetations in Northern of Ziwuling. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(4): 119-122.
- [5] McMurtrie R E, Benson M L, Linder S, Running S W, Talsma T, Crane W J B, Myers B J. Water/nutrient interaction affecting the productivity of stands of *Pinus radiata*. Forest Ecology and Management, 1990, 30(1/4): 415-423.
- [6] Powers R F. Nitrogen mineralization along an altitudinal gradient: interactions of soil temperature, moisture and substrate quality. Forest Ecology and Management, 1990, 30(1/4): 19-29.
- [7] Alavi G. The impact of soil moisture on stem growth of spruce forest during a 22-year period. Forest Ecology and Management, 2002, 166(1/3): 17-33.
- [8] Durán Zuazo V H, Rodríguez Pleguezuelo C R, Arroyo Panadero L, Martínez Raya A, Francia Martínez J R, Cáceres Rodríguez B. Soil conservation measures in rainfed olive orchards in South-Eastern Spain: impacts of plant strips on soil water dynamics. Pedosphere, 2009, 19(4): 453-464.
- [9] Tian Y B, Xiong M B, Song G Y. Restoration succession of wetland soils and their changes of water and nutrient in Ruoergai Plateau. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(1): 21-25.
- [10] Deng M L, Tian K, Yang Y X, Wang J Q. Variation of landscape of the Ruo Ergai National Reserve of plateau wetland and its driving forces. Journal of Ecology and Rural Environment, 2010, 26(1): 58-62.
- [11] Zhang S Q, Guo H Y, Luo Y. Assessment on driving force of climate change & livestock grazing capacity to grassland sanding in Ruoergai. Chinese Journal of Grassland, 2007, 29(5): 64-71.
- [12] Bai J H, Ouyang H, Cui B S, Wang Q G, Chen 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.
- [13] Wang S Y, Zhang H, Du J. Recent land cover changes in Roige Region of Qinghai-Tibetan Plateau. Journal of Mountain Science, 2008, 26(4): 496-502.
- [14] Deng M L, Tian K, Duan Z L, Zhou Y H, Yang J, Wang J Q. The changes of landscape at Zoige Plateau wetland reserve in Sichuan, China. Journal of Mountain Science, 2010, 28(2): 240-246.
- [15] Yong G W, Shi C C, Qiu P F. Monitoring on desertification trends of the grassland and shrinking of the wetland in Ruoergai Plateau in North-west Sichuan by means of remote-sensing. Journal of Mountain Science, 2003, 21(6): 758-762.
- [16] Hu G Y, Dong Z B, Wei Z H, Lu J F, Yan C Z. Spatial and temporal change of desertification land of Zoige Basin in recent 30 years and its cause analysis. Advances in Earth Science, 2009, 24(8): 908-916.
- [17] Shi C C, Tu J. Remote sensing monitory study on land desertification in Ruoergai plateau of Sichuan province during 40 Years. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2009, 22(6): 1662-1664.
- [18] Wang Q, Bao W K, Yan Z L, Timo K, Alfred C, Angela M. Basic types and characters of the western Zoige meadows and their changes in recent decades. Chinese Journal of Applied and Environmental and Biology, 2002, 8(2): 133-141.
- [19] Chen H, Gao Y H, Yao S P, Wu N, Wang Y F, Luo P, Tian J Q. Spatiotemporal variation of methane emissions from alpine wetlands in Zoige Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 3425-3437.
- [20] Wang D X, Song C C, Wang Y Y, Zhao Z C. CO₂ fluxes in mire and grassland on Ruoergai plateau. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(2): 285-289.

- [21] Zhang W R, Xu B T. The Method of Long-Term Research on Forest Soil. Beijing: Chinese Forestry Press, 1986: 30-36.
- [22] Ghuman B S, Sur H S. Tillage and residue management effects on soil properties and yields of rainfed maize and wheat in a subhumid subtropical climate. *Soil and Tillage Research*, 2001, 58(1/2): 1-10.
- [23] Acosta-Martínez V, Reicher Z, Bischoff M, Turco R F. The role of tree leaf mulch and nitrogen fertilizer on turfgrass soil quality. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 29(1): 55-61.
- [24] Tian Y B, Xiong M B, Xiong X S, Song G Y. The organic carbon distribution and flow in wetland soil-plant system in Ruoergai plateau. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(4): 490-495.
- [25] Paul E A, Clark F E. *Soil Microbiology and Biochemistry*. New York, London: Academic Press Inc, 1989, 31(1): 91-130.
- [26] Wang C K, Lu X G, Cai Z C, Luo Y. Methane oxidation in the meadow soil and peat soil in Zoigé Plateau. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, 29(4): 584-588.
- [27] Oomes M J M, Kuikman P J, Jacobs F H H. Nitrogen availability and uptake by grassland in mesocosms at two water levels and two water qualities. *Plant and Soil*, 1997, 192(2): 249-259.
- [28] Ding F J, Gao Y P, Wu P, Cui Y C, Hu Q. Soil respiration and impact factors of 3 forest types in Karst regions. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(3): 217-221, 237-237.
- [29] Wang G X, Chen G D, Shen Y P, Qian J. Impact to the alpine meadow soil from the change of the soil cover. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(23): 1771-1777.
- [30] Fu H, Chen Y M, Wang Y R, Wan C G. Organic carbon content in major grassland types in Alex, Inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 469-456.
- [31] Warren S D, Nevill M B, Blackburn W H, Garza N E. Soil response to trampling under intensive rotation grazing. *Soil Science Society of America Journal*, 1986, 50(5): 1336-1341.
- [32] Melinda A W, Trlica M J, Frasier G W, Reeder J D. Seasonal grazing affects soil physical properties of a montane riparian community. *Journal of Range Management*, 2002, 55(1): 49-56.

参考文献:

- [2] 郭进考, 史占良, 何明琦, 张相岐, 张爱民, 贾旭. 发展节水小麦缓解北方水资源短缺——以河北省冬小麦为例. *中国生态农业学报*, 2010, 18(4): 876-879.
- [4] 赵世伟, 周印东, 吴金水. 子午岭北部不同植被类型土壤水分特征研究. *水土保持学报*, 2002, 16(4): 119-122.
- [9] 田应兵, 熊明标, 宋光煜. 若尔盖高原湿地土壤的恢复演替及其水分与养分变化. *生态学杂志*, 2005, 24(1): 21-25.
- [10] 邓茂林, 田昆, 杨永兴, 王进琼. 高原湿地若尔盖国家级自然保护区景观变化及其驱动力. *生态与农村环境学报*, 2010, 26(1): 58-62.
- [11] 张顺谦, 郭海燕, 罗勇. 气候变化和载畜量对若尔盖草地沙化的驱动力评价. *中国草地学报*, 2007, 29(5): 64-71.
- [12] 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.
- [13] 王石英, 张宏, 杜娟. 青藏高原若尔盖地区近期土地覆被变化. *山地学报*, 2008, 26(4): 496-502.
- [14] 邓茂林, 田昆, 段宗亮, 周耀华, 杨佼, 王进琼. 高原湿地若尔盖国家级自然保护区景观变化. *山地学报*, 2010, 28(2): 240-246.
- [15] 雍国玮, 石承苍, 邱鹏飞. 川西北高原若尔盖草地沙化及湿地萎缩动态遥感监测. *山地学报*, 2003, 21(6): 758-762.
- [16] 胡光印, 董治宝, 魏振海, 逯军峰, 颜长珍. 近30a来若尔盖盆地沙漠化时空演变过程及成因分析. *地球科学进展*, 2009, 24(8): 908-916.
- [17] 石承苍, 涂军. 近40年四川省若尔盖高原土地荒漠化遥感监测研究. *西南农业学报*, 2009, 22(6): 1662-1664.
- [18] 王乾, 包维楷, 晏兆莉, Timo K, Alfred C, Angela M. 若尔盖西部草甸的基本类型、特点及近几十年来的变化. *应用与环境生物学报*, 2002, 8(2): 133-141.
- [19] 陈槐, 高永恒, 姚守平, 吴宁, 王艳芬, 罗鹏, 田建卿. 若尔盖高原湿地甲烷排放的时空异质性. *生态学报*, 2008, 28(7): 3425-3437.
- [20] 王德宣, 宋长春, 王毅勇, 赵志春. 若尔盖高原沼泽湿地与草地二氧化碳通量的比较. *应用生态学报*, 2008, 19(2): 285-289.
- [21] 张万儒, 许本彤. 森林土壤定位研究方法. 北京: 中国林业出版社, 1986: 30-36.
- [24] 田应兵, 熊明彪, 熊晓山, 宋光煜. 若尔盖高原湿地土壤-植物系统有机碳的分布与流动. *植物生态学报*, 2003, 27(4): 490-495.
- [26] 王长科, 吕宪国, 蔡祖聪, 罗勇. 若尔盖高原草甸土与泥炭土氧化 CH_4 研究. *冰川冻土*, 2007, 29(4): 584-588.
- [28] 丁访军, 高艳平, 吴鹏, 崔迎春, 胡蕖. 喀斯特地区3种林型土壤呼吸及其影响因子. *水土保持学报*, 2010, 24(3): 217-221, 237-237.
- [29] 王根绪, 程国栋, 沈永平, 钱鞠. 土地覆盖变化对高山草甸土壤特性的影响. *科学通报*, 2002, 47(23): 1771-1777.
- [30] 傅华, 陈亚明, 王彦荣, 万长贵. 阿拉善主要草地类型土壤有机碳特征及其影响因素. *生态学报*, 2004, 24(3): 469-456.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31 ,No. 19 October ,2011(Semimonthly)
CONTENTS

Ecology research and its effects on social development in China	LI Wenhua (5421)
The current mission of ecology-advancing under the situation of chaos and innovation	JIANG Youxu (5429)
Resilience thinking: development of ecological concept	PENG Shaolin (5433)
A review of research progress and future prospective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China .....	..... LIU Shirong, WANG Hui, LUAN Junwei (5437)
Research on carbon budget and carbon cycle of terrestrial ecosystems in regional scale: a review .....	..... YU Guirui, FANG Huajun, FU Yuling, et al (5449)
Advances in the studying of the relationship between landscape pattern and river water quality at the watershed scale .....	..... LIU Lijuan, LI Xiaoyu, HE Xingyuan (5460)
Research on the protection of <i>Davidia involucrata</i> populations, a rare and endangered plant endemic to China .....	..... CHEN Yan, SU Zhixian (5466)
Progress on water resources input-output analysis	XIAO Qiang, HU Dan, GUO Zhen, et al (5475)
Research advances of contraception control of rodent pest in China .....	..... LIU Hanwu, WANG Rongxin, ZHANG Fengqin, et al (5484)
Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region .....	..... LI Huixia, LIU Guohua, FU Bojie (5495)
Remediation of blowout pits by clonal plants in Mu Us Sandland .....	..... YE Xuehua, DONG Ming (5505)
Precipitation trends during 1961—2010 in the Loess Plateau region of China .....	..... WANG Qixiang, FAN Xiaohui, WANG Mengben (5512)
An evaluation method for forest resources sustainability	CUI Guofa, XING Shaohua, JI Wenyuan, et al (5524)
Effects of landscape patterns on soil and water loss in the hilly area of loess plateau in China: landscape-level and comparison at multiscale .....	..... WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5531)
The impacts of future climatic change on agricultures and eco-environment of Loess Plateau in next decade .....	..... E Youhao, SHI Qian, MA Yuping, et al (5542)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: standing stock value of biological resources .....	..... DU Guoying, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5553)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: provisioning service value .....	..... WANG Min, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5561)
The dynamics of the structure and plant species diversity of evergreen broadleaved forests in Damingshan National Nature Reserve after a severe ice storm damage in 2008, China	ZHU Hongguang, LI Yanqun, WEN Yuanguang, et al (5571)
Interactive effects of low phosphorus and drought stress on dry matter accumulation and phosphorus efficiency of soybean plants .....	..... QIAO Zhenjiang, CAI Kunzheng, LUO Shimeng (5578)
The eco-efficiency evaluation of the model city for environmental protection in China .....	..... YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (5588)
Pollution footprint and its application in regional water pollution pressure assessment: a case study of Huzhou City in the upstream of Taihu Lake Watershed	JIAO Wenjun, MIN Qingwen, CHENG Shengkui, et al (5599)
Ecological effect of green space of Shanghai in different spatial scales in past 20 years .....	..... LING Huanran, WANG Wei, FAN Zhengqiu, et al (5607)
Assessing indicators of eco-mobility in the scale of urban communities	DAI Xin, ZHOU Chuanbin, WANG Rusong, et al (5616)
Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: a case study in Changzhou City, China .....	..... LI Feng, YE Yaping, SONG Bowen, et al (5623)
The carbon emissions embodied in Chinese household consumption by the driving factors .....	..... YAO Liang, LIU Jingru, WANG Rusong (5632)
The research on eco-efficiency and carbon reduction of recycling coal mining solid wastes: a case study of HuaiBei City, China .....	..... ZHANG Haitao, WANG Rusong, HU Dan, et al (5638)
Effects of urban shading on photosynthesis of <i>Euonymus japonicas</i> .....	..... YU Yingying, HU Dan, GUO Erhui, et al (5646)

Ecological view of traditional rural settlements: a case study in Yonghan of Guangdong Province	JIANG Xueting, YAN Lijiao, HOU Deqian (5654)
The altitudinal pattern of insect species richness in the Three Gorge Reservoir Region of the Yangtze River: effects of land cover, climate and sampling effort	LIU Ye, SHEN Zehao (5663)
Spatial-temporal patterns of fishing grounds and resource of Chilean jack mackerel (<i>Trachurus murphyi</i>) in the Southeast Pacific Ocean	HUA Chengjun, ZHANG Heng, FAN Wei (5676)
Impacts of <i>Ambrosia artemisiifolia</i> invasion on community structure of soil meso- and micro- fauna	XIE Junfang, QUAN Guoming, ZHANG Jiae, et al (5682)
Appearance in spring and disappearance in autumn of <i>Bemisia tabaci</i> in China	CHEN Chunli, ZHI Junrui, GE Feng, et al (5691)
Water use strategies of <i>Malus toringoides</i> and its accompanying plant species <i>Berberis aemulans</i>	XU Qing, WANG Haiying, LIU Shirong (5702)
Analysis of vertical profiles of soil CO ₂ efflux in Chinese fir plantation	WANG Chao, HUANG Qunbin, YANG Zhijie, et al (5711)
Eco-toxicological effects of four herbicides on typical aquatic snail <i>Pomacea canaliculata</i> and <i>Crown conchs</i>	ZHAO Lan, LUO Shiming, LI Huashou, et al (5720)
Effects of short-term cold-air outbreak on soil respiration and its components of subtropical urban green spaces	LI Xibo, ZENG Wenjing, LI Jinquan, et al (5728)
Effects of landscape pattern on watershed soil erosion and sediment delivery in hilly and gully region of the Loess Plateau of China: patch class-level	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5739)
Partitioning and mapping the sources of variations in the ensemble forecasting of species distribution under climate change: a case study of <i>Pinus tabulaeformis</i>	ZHANG Lei, LIU Shirong, SUN Pengsen, et al (5749)
Relationship between masson pine tree-ring width and NDVI in North Subtropical Region	WANG Ruili, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (5762)
Effects of species composition on canopy rainfall storage capacity in an alpine meadow, China	YU Kailiang, CHEN Ning, YU Sisheng, et al (5771)
Dynamics of soil water conservation during the degradation process of the Zoigé Alpine Wetland	XIONG Yuanqing, WU Pengfei, ZHANG Hongzhi, et al (5780)
Soil urease activity during different vegetation successions in karst peak-cluster depression area of northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (5789)
Analysis the effect of region impacting on the biomass of domestic Masson pine using mixed model	FU Liyong, ZENG Weisheng, TANG Shouzheng (5797)
Influence of fire on a <i>Pinus massoniana</i> soil in a karst mountain area at the center of Guizhou Province, China	ZHANG Xi, ZHU Jun, CUI Yingchun, et al (5809)
The growth and distribution of <i>Platycladus orientalis</i> Seed-base seedling root in different culture periods	YANG Xitian, DONG Nalin, YAN Dongfeng, et al (5818)
Effects of complex pollution of CTAB and Cd ²⁺ on the growth of Chinese sweetgum seedlings	ZHANG Qin, XUE Jianhui, LIU Chenggang (5824)
The influence of volatiles of three invasive plants on the roots of upland rice seedlings	ZHANG Fengjuan, XU Xingyou, GUO Aiying, et al (5832)
Age structure and regeneration strategy of the dominant species in a <i>Castanopsis carlesii-Schima superba</i> forest	SONG Kun, SUN Wen, DA Liangjun (5839)
A study on application of hepatic microsomal CYP1A biomarkers from <i>Sebastiscus marmoratus</i> to monitoring oil pollution in Xiamen waters	ZHANG Yusheng, ZHENG Ronghui, CHEN Qingfu (5851)
The method of measuring energy flow and pin ecological networks by input-output flow analysis	LI Zhongcai, XI Xudong, GAO Qin, et al (5860)

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 19 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 19 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@ cspg. net	Distributed by Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010) 64034563 E-mail: journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044	Foreign China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号	



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元