

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会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 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	王麒麟,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)
东南太平洋智利竹筴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, 鄧军锐, 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早稻幼苗根的影响 ·····	张凤娟, 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

余开亮, 陈宁, 余四胜, 王刚. 物种组成对高寒草甸植被冠层降雨截留容量的影响. 生态学报, 2011, 31 (19): 5771-5779.

Yu K L, Chen N, Yu S S, Wang G. Effects of species composition on canopy rainfall storage capacity in an alpine meadow, China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (19): 5771-5779.

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¹, 陈 宁¹, 余四胜², 王 刚^{1,*}

(1. 兰州大学生命科学学院, 兰州 730000; 2. 鄂州林业科学研究所, 鄂州 436062)

摘要:高寒草甸退化减少地上生物量、叶面积指数 (LAI), 因而减少冠层降雨截留容量 (S)。但是, 未有研究评价物种组成改变对 S 的影响。用水浸泡法和水量平衡法研究青藏高原高寒草甸 3 个不同退化阶段下 (未退化、轻度退化、中度退化) 的 S 变化规律, 并评价物种组成改变对 S 的影响。结果表明: 高寒草甸退化显著减少 S ($P < 0.05$)。在未退化、轻度退化、中度退化的高寒草甸, 水浸泡法测得的 S 分别为 0.612 mm, 0.289 mm 和 0.217 mm; 水量平衡法测得的 S 分别为 0.979 mm, 0.493 mm 和 0.419 mm。物种组成改变对 S 的影响表现为: 随着高寒草甸的 3 个不同退化阶段, S 减少的幅度先大于后小于 LAI 减少的幅度。原因是: (1) 在未退化的草甸, 鹅绒委陵菜 (*Potentilla arserina*) 的叶面积占有显著优势, 占总叶面积的 31.18%; 在轻度退化的草甸, 禾本科植物 (Graminoid) 的叶面积占有显著优势, 占总叶面积的 44.41%, 而鹅绒委陵菜是稀有种, 仅占总叶面积的 3.76%; 在中度退化的草甸, 鹅绒委陵菜的叶面积占有显著优势, 占总叶面积的 19.91%; (2) 鹅绒委陵菜的叶单位面积吸附水量 (S_L) 是禾本科植物的大约 2.5 倍。

关键词:高寒草甸退化; 物种组成; 冠层降雨截留容量

Effects of species composition on canopy rainfall storage capacity in an alpine meadow, China

YU Kailiang¹, CHEN Ning¹, YU Sisheng², WANG Gang^{1,*}

¹ School of Life Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

² Ezhou Academy of Forest Sciences, Ezhou 436062, China

Abstract: Canopy rainfall storage capacity (S) strongly affects the rainfall interception (I) processes and is therefore a parameter that is required in rainfall interception models. Most investigations of rainfall interception loss concentrate on forests, while a paucity of information is available for alpine meadow interception. Previous studies suggest that meadow degradation leads to reduced aboveground biomass, leaf area index (LAI) and subsequent reduction in S . However, the effect of changes in species composition on S is poorly understood. In this paper, we estimated herbaceous S along three different stages of alpine meadow degeneration (non-degraded, lightly degraded and moderately degraded) in the Qinghai-Tibetan Plateau, China, and evaluated the effect of changes in species composition on S . The water soakage method and the water budget balance method using rain simulations were used to estimate S . While evaluating the effect of changes in species composition on S , K-means clustering was used to objectively classify all the species into four groups with the greatest possible differences of specific storage capacity per unit one-sided leaf area (S_L) between their average values and the minimum variance within each group. We found that alpine meadow degeneration significantly reduced S ($P < 0.05$). In non-degraded, lightly degraded and moderately degraded alpine meadows, S estimated using the water soakage method were 0.612 mm, 0.289 mm, 0.217 mm, respectively; S estimated using the water budget balance method were 0.979 mm,

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30970465)

收稿日期: 2011-06-21; 修订日期: 2011-09-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wmg36@lzu.edu.cn

0.493 mm, 0.419 mm, respectively. This implies the importance of considering the evaporation (E) during rainfall in evaluating the eco-hydrological significance of significant reduction in S during meadow degeneration. The effect of changes in species composition on S was highlighted by the fact that the reduction in S was firstly more than and then less than the proportional reduction in LAI along the three different stages of alpine meadow degradation. This could be explained by the following: (1) In non-degraded meadow, *Potentilla arserina* was the dominant species, accounting for 31.18% of the total leaf area; in lightly degraded meadow, graminoid plants were the dominant species, accounting for 44.41% of the total leaf area, while *Potentilla arserina* was a rare species with a leaf area of only 3.76%; in moderately degraded meadow, *Potentilla arserina* was the dominant species with a leaf area of 19.91%, respectively; (2) S_L of *Potentilla arserina* was approximately 2.5 times greater than that of graminoid plants. We concluded that the difference of S_L among different species and the magnitude of change in each species leaf area relative to the total leaf area during meadow degeneration together determined the effect of changes in species composition on S . The larger the difference of S_L among different species and the magnitude of change in species leaf area relative to the total leaf area are, the larger the effect of changes in species composition on S will be.

Key Words: alpine meadow degradation; species composition; canopy rainfall storage capacity

冠层降雨截留容量(S)是被植物冠层截留而不落到地面的最大降雨量^[1]。它不仅是冠层截留模型的重要参数^[2],也影响植物疾病的传播^[3]、植物表面气体交换过程^[4]、植物光合作用、生产力以及污染物沉积^[5]。因此, S 的测定是生态水文学研究的核心问题之一。

以往的降雨截留研究多集中在森林冠层而忽视了草地 S 的测定^[1]。在中国,草地的面积占总土地面积的41.7%。近来研究表明,青藏高原的草地处于不同的退化阶段^[6]。随着草地的退化, S 的改变是最明显的水文变化之一。早期的学者一致认为,草地退化减少植被地上生物量,因而减少 S ^[7-8]。近来,Pypker等^[9]评价了森林中物种组成对 S 的影响。Wohlfahrt等^[10]测定了高山草甸不同物种的叶单位面积吸附水量(S_L),其差异很大,范围为0.0132 mm(*Trifolium pratense*)—0.314 mm(*Carum carvi*),但还未评价物种组成对草甸 S 的影响。

水浸泡法和水量平衡法是测定 S 的常用方法。水浸泡法的优点是简便^[11],它是一种理想状态下的冠层可吸附水量,因而它不能反映真实的冠层降雨截留特性。在水量平衡法中,研究者往往用乳胶密封土壤表面,然后在人工降雨模拟情况下收集径流来测定草甸 S ^[7-12]。但是,长期地密封土壤表面会导致植物因缺少水分供应而改变其生长状况和 S ^[1]。在降雨前,当人为清除草甸地表少量的掉落物时,经冠层截留后的净降雨将直接渗入土壤。因此,可以通过测定人工降雨后的土壤水增加量来确定净降雨量。Shachnovich等^[13]研究发现,净降雨量与土壤水增加量非常接近。

本文用水浸泡法和水量平衡法研究青藏高原高寒草甸3个不同退化阶段下(未退化、轻度退化、中度退化)的 S 变化规律,阐明物种组成影响 S 的机理,旨在为研究高寒草甸退化的生态水文效应提供科学依据和基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究区地理环境和植被状况

研究工作在位于青藏高原东部甘肃省甘南州合作市(120°53'E, 34°55'N)的兰州大学高寒草甸与湿地生态系统定位研究站进行。该地海拔2900 m,年平均气温为2℃,最冷的12、1、2月3个月份的平均气温为-8.9℃;最热的6—8月3个月份的平均气温为11.5℃。年平均降雨545 mm,主要发生在7—9月份。年均日照2294 h,无霜期35d。亚高寒草甸土(草毡土),略偏碱性。植被类型为亚高山草甸,生长季节为5—9月份。

1.2 观测项目和测定方法

1.2.1 试验设计

根据退化的标准,选取未退化(植被盖度 92%)、轻度退化(植被盖度 75%)、中度退化(植被盖度 54%) 的 3 块地形平坦草地(10 m × 10 m)(表 1)。样地间间距 100m 左右,土壤容重差异不显著($P>0.05$)(表 1)。每块样地中选择 8 个地形平坦的样方(0.5 m × 0.5 m)进行植被调查和人工模拟降雨试验。

1.2.2 水浸泡试验

2010 年 8 月份初,在各个样方中进行植被调查,根据物种的个体大小和多度确定用于水浸泡试验的物种,这些物种总盖度占冠层盖度 97% 以上。在晴天,每个样地采集大小植物样本各 8 株带回实验室。在实验室无风条件下,分别测定植物样本的叶面积和茎的鲜重,将植物样本的叶和茎分别浸泡在新鲜的雨水中 10 秒^[10-11],吸附水量为浸泡后的重量与浸泡前重量的差值。根据吸附水量-叶面积关系换算物种的叶单位面积吸附水量($S_L, \text{g}/\text{cm}^2$),根据吸附水量-茎鲜重关系换算物种的茎单位鲜重吸附水量($S_s, \text{g}/\text{g}$)。方便地, $10 \times S_L$ (g/cm^2) = 叶单位面积吸附水深度(mm)。测定时,毛莲菜(*Picris japonica*)、刺儿菜(*Cirsium setosum*)、甘青蒿(*Artemisia apiacea*)和禾草的叶和茎分开。其余物种的叶和茎混合在一起,因为这些物种的茎很小。将叶在 70℃ 下烘干 72h 测定每个样地中物种的比叶重($SLA, \text{cm}^2/\text{g}$)^[14]。

2010 年 8 月底,收割 24 个样方。针对水浸泡试验中叶和茎分开的物种,测定收割的样方中叶的干重和茎的鲜重;针对其他物种,测定叶和茎混合后的干重。叶面积指数的测定采用比叶重法^[14]。

叶的降雨截留容量(SL, mm)计算为:

$$SL = \sum_{i=1}^n (SLA_i \times B_i \times SL_i) / G \quad (1)$$

式中, n 是物种数, SLA_i 是物种“ i ”的比叶重, B_i 是物种“ i ”的干重(g), SL_i 是物种“ i ”的叶单位面积吸附水量, G 是样方面积(0.5 m × 0.5 m)。

茎的降雨截留容量(SS, mm)计算为:

$$SS = \sum_{i=1}^n (S_{si} \times F_i) / G \quad (2)$$

式中, S_{si} 是物种“ i ”的茎单位鲜重吸附水量, F_i 是物种“ i ”的茎鲜重(g)。

冠层的降雨截留容量(S)计算为: $S = SS + SL$ 。

1.2.3 人工模拟降雨试验

水量平衡法是基于降雨过程中的水质量平衡方程: $S + E = Pg - Pn$,其中 E 为降雨期间的蒸发, Pg 为总降雨量, Pn 为经冠层截留后的净降雨量^[15]。人工降雨前,人为清除样方内少量的掉落物,而尽可能不影响样方内植被空间结构和土壤表面结构。为确保降雨前冠层完全干燥,降雨前的日照干期至少为 8h^[16]。为忽略降雨期间的蒸发,人工降雨试验在 8—9 月份的晴天傍晚(17:30—19:20)进行^[17]。人工模拟降雨期间风速为 1—2 m/s,湿度为 59%—64%。

采用便携式野外人工降雨器进行人工模拟降雨,它由喷头体、碎流挡板、出流孔等部分组成,更换不同直径的孔板,调节压力表的读数,可获得不同降雨强度^[12]。进行 10 次重复试验对降雨进行校正。该试验采用的降雨强度是 100 mm/h,降雨历时为 4min(标准差为 0.26),原因是:(1)根据一些文献报道^[8-12],如此的降雨强度和历时将使冠层达到最大截留容量;(2)如此短的降雨历时可进一步减少降雨期间的蒸发;(3)能确保 24 个样方的人工模拟降雨试验在同一天完成。为避免可能的边界效益,降雨面积为 0.7 m × 0.7 m。降雨期间,由于各个样地的地形平整,未产生明显的地表径流。每个样方(0.5 m × 0.5 m)里,由 3 套 EM50 土壤水分数据采集器(15 个探头,Decagon Devices, Inc., USA)测定人工模拟降雨后土壤水含量增加量。经校正后,它的测量精度可达到±(1%—2%)。8—9 月份期间,共进行了 6 次人工模拟降雨试验。冠层截留容量计算为人工降雨量与土壤水含量增加量的差值。

1.3 数据处理与分析

数据分析采用 SPSS16.0 统计软件。对不同样地土壤容重、冠层盖度、地上生物量、各物种叶面积占总叶面积比例和相同物种 S_L 、 S_S , 不同样地冠层降雨截留容量(S) 进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 用 LSD 法进行多重比较。

快速聚类分析是一种能将具有不同性质的对象快速分类的统计方法, 它能确保分类的类群间有最大的差异而类群内差异最小^[13]。该研究用快速聚类分析将物种的 S_L 划分为不同的类群, 旨在阐明不同物种对 S 影响的机理。作图采用 Origin 8.0。

2 结果与分析

2.1 高寒草甸 3 个不同退化阶段下的冠层性质

从表 1 可以看出, 高寒草甸退化显著减少了 LAI 和地上生物量($P<0.05$)。在未退化、轻度退化、中度退化的高寒草甸, 叶面积指数(LAI) 分别为 3.18 、 2.11 m^2/m^2 和 1.25 m^2/m^2 , 地上生物量分别为 276.1 、 158.1 g/m^2 和 94.8 g/m^2 。随着高寒草甸退化, 物种的叶面积占总叶面积的比例发生显著差异的物种有禾草($G.$)、刺儿菜($C. s.$)、毛莲菜($P. j.$)、蒲公英($T. o.$)、车前($P. a.$)、鹅绒委陵菜($P. a.$)、花苜蓿($M. f.$)、牻牛儿苗($E. s.$)和二裂委陵菜($P. b.$) ($P<0.05$) (表 2)。从物种的叶面积占总叶面积的角度分析, 未退化的高寒草甸优势物种分别为禾草($G. 23.4\%$)、鹅绒委陵菜($P. a. 31.18\%$) 和花苜蓿($M. f. 21.82\%$); 轻度退化的高寒草甸优势物种分别为禾草($G. 44.41\%$)、刺儿菜($C. s. 11.36\%$)、花苜蓿($M. f. 10.03\%$) 和甘青蒿($A. a. 16.73\%$); 中度退化的高寒草甸优势物种分别为禾草($G. 12.82\%$)、刺儿菜($C. s. 24.7\%$)、鹅绒委陵菜($P. a. 19.91\%$) 和甘青蒿($A. a. 9.39\%$) (表 2)。

表 1 未退化(A)、轻度退化(B)、中度退化(C)草甸的冠层性质和土壤容重

Table 1 Canopy properties and soil bulk density in non-degraded (A), lightly degraded (B) and moderately degraded (C) meadows

样地 Plot	盖度 Coverage/%	生物量 Biomass/g	叶面积指数 $LAI/(m^2/m^2)$	土壤容重 Soil bulk density/(g/cm^3)
A	$92\pm2.8a$	$276.1\pm24.0a$	$3.18\pm0.28a$	$1.64\pm0.31a$
B	$75\pm5.9b$	$158.1\pm18.4b$	$2.11\pm0.18b$	$1.78\pm0.49a$
C	$54\pm8.2c$	$94.8\pm9.0c$	$1.25\pm0.09c$	$1.93\pm0.37a$

列中不同小写字母代表差异显著($P<0.05$); 数据为平均值 $\pm$ 标准差, 重复为 8

表 2 未退化(A)、轻度退化(B)、中度退化(C)草甸物种(占冠层盖度的 97% 以上)叶面积占总叶面积比例、叶单位面积吸附水(S_L) 和茎单位鲜重吸附水(S_S)

Table 2 The species leaf area fraction of total leaf area, storage capacity per unit one-sided leaf area (S_L) and per unit stem fresh weight (S_S) of species which occupy over 97% canopy coverage in non-degraded (A), lightly degraded (B) and moderately degraded (C) meadows

物种 Species	缩写 Abbr.	样地 Plot	各物种叶面积/ 总叶面积 Species/Total/%	叶单位面积吸附水 S_L/mm	茎单位鲜重吸附水 $S_S/(g/g)$
兰石草 <i>Herba lanceate</i>	H. l.	B	$0.9\pm1.12a$	0.132 ± 0.044	
		C	$4.64\pm3.08a$		
		A	$1.79\pm1.28c$		
刺儿菜 <i>Cirsium setosum</i>	C. s.	B	$11.36\pm7.02b$	0.126 ± 0.036	0.163 ± 0.028
		C	$24.7\pm8.42a$		
		A	$2.92\pm2.06ab$		
毛莲菜 <i>Picris japonica</i>	P. j.	B	$0.23\pm0.26b$	0.143 ± 0.033	0.217 ± 0.043
		C	$7.14\pm5.13a$		
		A	$23.4\pm6.63b$		
禾草 Gramineae	G.	B	$44.41\pm18.03a$	0.106 ± 0.046	0.214 ± 0.037
		C	$12.82\pm5.47b$		

续表					
物种 Species	缩写 Abbr.	样地 Plot	各物种叶面积/ 总叶面积 Species/Total/%	叶单位面积吸附水 S_L /mm	茎单位鲜重吸附水 S_S /(g/g)
米口袋 <i>Gueldenstaedtia verna</i>	G. v.	A	8.48±4.02a	0.253±0.067	
		B	3.04±2.08a		
		C	4.15±2.02a		
花苜蓿 <i>Medicago falcata</i>	M. f.	A	21.82±9.37a	0.159±0.041	
		B	10.03±5.99b		
		C	7.99±3.53b		
蒲公英 <i>Taraxacum officinale</i>	T. o.	A	0.84±1.01b	0.125±0.038	
		B	1.8±2.1ab		
		C	5.14±3.74a		
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	P. a.	A	31.18±14.34a	0.268±0.06	
		B	3.76±1.18b		
		C	19.91±9.8a		
牻牛儿苗 <i>Erodium stephanianum</i>	E. s.	A	3.04±2.62a	0.231±0.066	
		C	0.28±0.31b		
二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	P. b.	B	1.05±0.84a	0.123±0.04	
		C	0.55±0.87a		
甘青蒿 <i>Artemisia apiacea</i>	A. a.	B	16.73±12.61a	0.170±0.041	0.513±0.081
		C	9.39±7.66a		
老鹳草 <i>Geranium pylzowianum</i>	G. p.	B	0.16±0.18a	0.110±0.034	
		C	0.59±0.51a		
车前 <i>Plantago asiatica</i>	P. a.	B	0.44±0.52b	0.208±0.051	
		C	2.71±1.44a		
火绒草 <i>Leontopodium leontopodioides</i>	L. l.	B	4.34±3.01	0.180±0.074	
风毛菊 <i>Saussurea parviflora</i>	S. p.	B	1.74±2.11	0.258±0.054	

数据为平均值±标准差;不同小写字母表示不同样地的相同物种叶面积占总叶面积差异显著($P<0.05$);禾草中草地早熟禾(*Poa pratensis*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、中华羊茅(*Festuca ovina*)的叶单位面积吸附水量(S_L)分别为(0.099±0.043) mm、(0.106±0.036) mm、(0.114±0.033) mm

2.2 物种叶单位面积吸附水量(S_L)和茎单位鲜重吸附水量(S_S)

单因素方差分析表明,不同样地的相同物种 S_L 、 S_S 差异不显著($P>0.05$),可能的原因是样地间相隔距离较小,相同的物种外形、表面吸水特性没有显著性差异。所以,我们将不同样地的相同物种混合来计算叶单位面积吸附水量(S_L)和茎单位鲜重吸附水量(S_S)。从表2可以看出,光滑的禾草(G.)叶 S_L 最小,为0.106 mm;表面粗糙、被毛的鹅绒委陵菜(P. a.)叶 S_L 最大,为0.268 mm。从表2可以看出,表明光滑、密度大的刺儿菜(C. s.)茎 S_S 最小,为0.163 g g⁻¹;表明粗糙的甘青蒿(A. a.)茎 S_S 最大,为0.513 g/g。

快速聚类分析表明,将三个样地所有物种叶单位面积吸附水量(S_L)分为4个类群是合理的($P<0.05$)。4个分类群聚类中心值(S_L)分别为0.1169,0.1630,0.2195 mm和0.2597 mm。分类群1的物种分别为禾草(G.)、老鹳草(G. p.)、二裂委陵菜(P. b.)、蒲公英(T. o.)、刺儿菜(C. s.)、兰石草(H. l.);分类群2的物种分别为毛茛菜(P. g.)、花苜蓿(M. f.)、甘青蒿(A. a.)、火绒草(L. l.);分类群3的物种分别为车前(P. a.)、牻牛儿苗(E. s.);分类群4的物种分别为米口袋(G. v.)、风毛菊(S. p.)、鹅绒委陵菜(P. a.)。随着分类群号的增加,物种 S_L 依次递增(图1)。

2.3 3个退化阶段下冠层降雨截留容量(S)

高寒草甸退化显著减少 S ($P<0.05$)。在未退化、轻度退化、中度退化的草地,水浸泡法测定的 S 分别为

0.612 mm, 0.289 mm 和 0.217 mm; 水量平衡法测定的 S 分别为 0.979 mm, 0.493 mm 和 0.419 mm (图 2)。从未退化草甸到轻度退化的草甸, S 减少的幅度明显高于叶面积指数 (LAI) 的减少幅度。用水浸泡法和水量平衡法, 轻度退化草甸测得的 S 比未度退化草甸的 S 分别低 53% 和 50% (图 2), 而轻度退化草甸的 LAI ($2.11 \text{ m}^2/\text{m}^2$) 比未度退化草甸的 LAI ($3.18 \text{ m}^2/\text{m}^2$) 仅低 34% (表 1)。与此相反, 从轻度退化的草甸到中度退化的草甸, S 的减少幅度明显小于叶面积指数 (LAI) 的减少幅度。用水浸泡法和水量平衡法, 中度退化草甸测得的 S 比轻度退化草甸的 S 分别低 25% 和 15% (图 2), 而中度退化草甸的 LAI ($1.25 \text{ m}^2/\text{m}^2$) 比轻度退化草甸的 LAI ($2.11 \text{ m}^2/\text{m}^2$) 低 41% (表 1)。

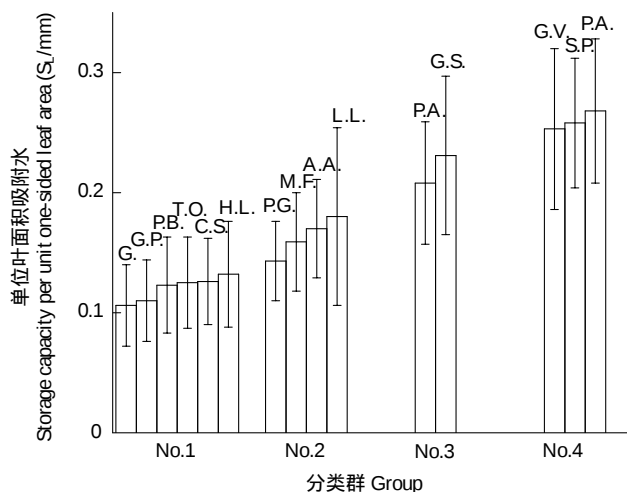


图 1 快速聚类分析

Fig. 1 K-means clustering analysis

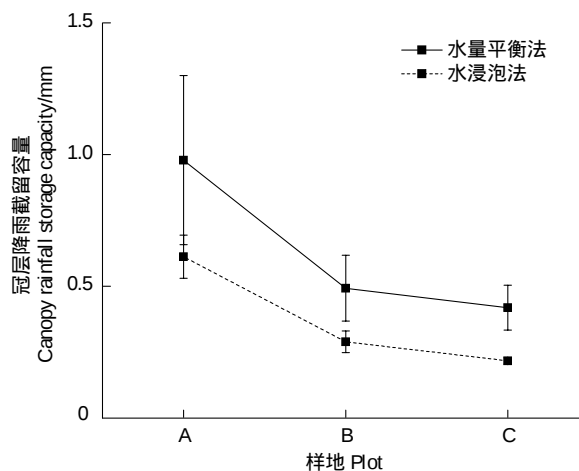


图 2 未退化 (A)、轻度退化 (B)、中度退化 (C) 草甸冠层雨截留容量

Fig. 2 Canopy rainfall storage capacity in non-degraded (A), lightly degraded (B) and moderately degraded (C) meadows (mean $\pm$ SD)

3 讨论与结论

3.1 高寒草甸 3 个不同退化阶段下的冠层性质

在未退化、中度退化的高寒草甸, 该研究测定的叶面积指数 (LAI) 分别为 $3.18 \text{ m}^2/\text{m}^2$ 和 $1.25 \text{ m}^2/\text{m}^2$, 地上生物量分别为 $276.1 \text{ g}/\text{m}^2$ 和 $94.8 \text{ g}/\text{m}^2$ (表 1)。这些值与 Bremer 等^[18] 在美国未退化、退化的草地上测定的值相近, 其 LAI 分别为 $3.3 \text{ m}^2/\text{m}^2$ 和 $0.7 \text{ m}^2/\text{m}^2$, 地上生物量分别为 $350 \text{ g}/\text{m}^2$ 和 $100 \text{ g}/\text{m}^2$ 。Li 等^[19] 测定了蒙古退化草地的 LAI , 其值为 $0.57 \text{ m}^2/\text{m}^2$ 。草地退化不同阶段的冠层性质与草地的退化程度有关, Li 等^[19] 测定的值更低的原因可能是更严重的草地退化。

目前, 还未见物种的叶面积占总叶面积的比例的相关报道。物种的叶面积占总叶面积比例的测定将有助于阐明草地退化下物种组成改变影响 S 的机理, 原因是: (1) 草地的退化改变了物种组成 (种类和物种的叶面积占总叶面积的比例) (表 2); (2) 叶面积是表征 S 很好的参数^[20]。

3.2 物种叶单位面积吸附水量 (S_l) 和茎单位鲜重吸附水量 (S_s)

目前, 有少量的研究报道了高寒草甸的物种叶单位面积吸附水量 (S_l)。Monson 等^[21] 研究了高山草甸 27 个物种的截留特性, 发现高山草甸物种的 S_l 很小, 最大为 0.05 mm。对此, Liu 等^[22] 解释为高山草甸物种对环境的适应, 而 Wohlfahrt 等^[10] 解释为 S_l 测定方法的错误。Wohlfahrt 等^[10] 将植物用水浸泡 10s 测定了高山草甸截留特性, 其 S_l 范围为 0.0132 mm (*Trifolium pratense*)—0.314 mm (*Carum carvi*)。测定的值在这个范围中, 为 0.099 mm (P. p.)—0.268 mm (P. a.) (表 2)。此外, 测定花苜蓿 (M. f.) 的 S_l 与其结果很接近, 为 0.159 mm (表 2)。Bradley 等^[3] 用雾凝结法测定了花苜蓿的 18 个种截留特性, 其 S_l 范围为 0.111 mm (*Medicago arabica*)—0.361 mm (*Trifolium glomeratum*)。其中, 与实验中花苜蓿 (M. f.) 亲缘关系最近的 3 个

种 S_L 分别为 0.111 mm (*Medicago arabica*), 0.139 mm (*Medicago lupulina*), 0.122 mm (*Medicago polymorpha*)。但是,在 Wohlfahrt 等^[10]的雾凝结实验中,由于未完全饱和,雾凝结法低估了一些种的 S_L 。目前,没有研究报道草甸物种的 S_s 。

3.3 3 个退化阶段下冠层降雨截留容量(S)及其生态水文意义

在未退化的高寒草甸,用水量平衡法和水浸泡法,该研究测定的 S 分别为 0.979 mm 和 0.612 mm。表 3 综述了未退化的草地 S 测定值,其 S 值范围为 0.38—2.82 mm。我们测定的 S 比一些研究者测定的 S 稍低,例如:用水量平衡法和水浸泡法,Couturier 和 Ripley^[8]在叶面积指数为 $4.7 \text{ m}^2/\text{m}^2$ 的加拿大萨斯喀彻温省西南部草原上测定的 S 分别为 1.09 mm 和 1.23 mm。Thurow^[23]用水量平衡法测定了美国德克萨斯州草原 S ,在地上生物量为 364 g/m^2 的 *Hilaria belangeri* 种群和地上生物量为 149 g/m^2 的 *Bouteloua curtipendula* 种群,其测定的 S 值分别为 1.8 mm 和 1.0 mm。原因可能是他们测定的草地上更高的叶面积指数(LAI)或地上生物量。另一方面,李春杰^[12]等用水量平衡法测定了青藏高原冠层盖度为 82% 的 S ,其值为 0.61 mm,比我们冠层盖度为 92% 的 S 值稍低。

表 3 草地冠层降雨截留容量
Table 3 Canopy rainfall storage capacity in grasslands

草地类型 Grassland type	冠层特性 Canopy properties	测定方法 Method	冠层降雨截留容量 S/mm	参考文献 Reference
茵草 <i>B. syzigachne</i> 盖度 100%	水量平衡法	0.829	[24]	
野牛草 <i>B. dactyloides</i>	高 20.32 cm	水量平衡法	1.647	[24]
多花黑麦草 <i>L. multiflorum</i>	高 10.16—48.26 cm	水量平衡法	0.43—2.82	[7]
混合大草原 The mixed prairie	盖度 100% $LAI 4.7 \text{ m}^2/\text{m}^2$	水量平衡法 浸泡法	1.09 1.23	[8]
匍茎黑拉禾 <i>H. belangeri</i>	地上生物量 364 g/m^2	水量平衡法	1.8	[23]
垂穗 <i>B. curtipendula</i>	地上生物量 149 g/m^2	水量平衡法	1	[23]
退耕地 Rehabilitation land	主要物种为花苜蓿	浸泡法	0.43	[25]
退耕地 Rehabilitation land	主要物种为杂草	浸泡法	0.47	[25]
中华结缕草	建植 3a, 高 14 cm	浸泡法	1.05	[26]
<i>Z. sinica</i> Hance turf	建植 3a, 高 6 cm	浸泡法	0.48	[26]
	建植 1a, 高 6 cm	浸泡法	0.38	卓丽等 ^[26]
高寒草甸 The alpine meadow	盖度 84% 地上生物量 192.14 g/m^2	水量平衡法	0.61	[12]

生物量、 LAI 是表征冠层降雨截留容量的指标。草甸退化显著减少生物量、 LAI , 因而显著减少 S (图 2)。早期的研究发现了相似的结论, Merriam^[7]发现过度放牧草地的 S 比未放牧草地的 S 低 50%; Couturier 和 Ripley^[8]发现放牧显著减少生物量和 LAI , 因而显著减少 S 。在生态水文意义上, S 的减少意味着冲击地面的降雨动能将增大, 这将导致更严重的土壤侵蚀, 进一步导致草地的退化^[27]。在半干旱地区, 水是植被生长的限制因子。从土壤湿度的角度看, 高寒草甸的退化显著减少 S , 这似乎意味着渗入土壤的水分会增加, 会缓解植被生长的需水压力, 因而会减少草甸退化。但是, 已有研究表明, 伐木增加冠层降雨截留的损失(I)。原因是: 伐木使得植被更加稀疏, 稀疏的植被降雨期间蒸发速率更高, 更高的降雨期间蒸发(E)抵消甚至超过因伐木减少的 S ^[28]。此外, 也有研究表明: 在森林的边界, 由于更大的风速, 其降雨期间蒸发速率也会增加^[29]。我们的人工模拟降雨实验选择在傍晚进行, 而且人工降雨历时短, 所以可以忽略 E , 但在真实的降雨中, E 不可忽略。草甸退化将不仅使得植被更加稀疏, 也将增加风速流动, 因而也会增加 E 。因此, 未来的研究在评价草地退化的生态水文效应时, 需特别考虑 E 的影响。

3.4 物种组成改变影响冠层降雨截留容量(S)的机理

随着高寒草甸的 3 个退化梯度, S 减少的幅度先大于后小于 LAI 减少的幅度 (表 1, 图 2)。实际上, 草地

退化不仅显著减少生物量和 LAI , 它也改变了物种组成。在未退化的草甸, 鹅绒委陵菜 (*P. a.*) 的叶面积占有显著优势, 占总叶面积的 31.18%; 在轻度退化的草甸, 禾草 (*G.*) 的叶面积占有显著优势, 占总叶面积的 44.41%, 而鹅绒委陵菜 (*P. a.*) 是稀有种, 仅占总叶面积的 3.76%; 在中度退化的草地, 鹅绒委陵菜 (*P. a.*) 叶面积占有显著优势, 占总叶面积的 19.91% (表 2)。鹅绒委陵菜 (*P. a.*) 的 S_L 是禾草的 S_L 大约 2.5 倍 (表 2)。因此, 在未退化的草甸, 鹅绒委陵菜 (*P. a.*) 叶面积的显著优势极大地增加了 S ; 在轻度退化的草甸, 禾草 (*G.*) 的叶面积的显著优势极大地减小了 S ; 在中度退化的草甸, 鹅绒委陵菜 (*P. a.*) 的显著优势极大地增加了 S 。

此外, 从图 1 可以看出, 与鹅绒委陵菜 (*P. a.*) 和米口袋 (*G. v.*) 具有相近 S_L 的物种还有风毛菊 (*S. p.*), 但他对 S 的影响很小。原因是: 他是稀有种, 随着草甸退化, 他仅存在于轻度退化的草甸, 占总叶面积的 1.74%。与禾草 (*G.*) 具有相近 S_L 物种还有老灌草 (*G. p.*)、二裂委陵菜 (*P. b.*)、蒲公英 (*T. o.*)、刺儿菜 (*C. s.*) 和兰石草 (*H. l.*), 但这些物种对 S 影响小于禾草。原因是: 随着草甸退化, 这些物种的叶面积占总叶面积的比例和变化幅度都小于禾草 (表 2)。因此, 物种组成改变对 S 的影响取决于物种间 S_L 的差异大小和 S_L 差异大的物种占总叶面积比例的变化幅度, 物种间 S_L 的差异越大和 S_L 差异大的物种占总叶面积比例的变化幅度越大, 物种组成改变对 S 的影响越大。

致谢: 试验过程中得到兰州大学高寒草甸与湿地生态系统定位研究站杜国祯教授以及张仁懿、郭青、杨莹博、李远智等同学的帮助, 特此致谢。

References:

- [1] Dunkerley D. Measuring interception loss and canopy storage in dryland vegetation: a brief review and evaluation of available research strategies. *Hydrological Processes*, 2000, 14(4): 669-678.
- [2] Muzylo A, Llorens P, Valente F, Keizer J J, Domingo F, Gash J H C. A review of rainfall interception modelling. *Journal of Hydrology*, 2009, 370(1/4): 191-206.
- [3] Bradley D J, Gilbert G S, Parker I M. Susceptibility of clover species to fungal infection: the interaction of leaf surface traits and environment. *American Journal of Botany*, 2003, 90(6): 857-864.
- [4] Tanaka K. Multi-layer model of CO_2 exchange in a plant community coupled with the water budget of leaf surfaces. *Ecological Modelling*, 2002, 147(1): 85-104.
- [5] Bruggemann E, Spindler G. Wet and dry deposition of sulphur at the site Melpitz in East Germany. In *memorium dedicated to Wolfgang Rolle*. *Water Air and Soil Pollution*, 1999, 109(1/4): 81-99.
- [6] Ho P, Azadi H. Rangeland degradation in North China: perceptions of pastoralists. *Environmental Research*, 2010, 110(3): 302-307.
- [7] Merriam R A. Surface water storage on annual ryegrass. *Journal of Geophysical Research*, 1961, 66(6): 1833-1838.
- [8] Couturier D E, Ripley E A. Rainfall interception in mixed grass prairie. *Canadian Journal of Plant Science*, 1973, 53(3): 659-663.
- [9] Pypker T G, Bond B J, Link T E, Marks D, Unsworth M H. The importance of canopy structure in controlling the interception loss of rainfall: examples from a young and an old-growth Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005, 130(1/2): 113-129.
- [10] Wohlfahrt G, Bianchi K, Cernusca A. Leaf and stem maximum water storage capacity of herbaceous plants in a mountain meadow. *Journal of Hydrology*, 2006, 319(1/4): 383-390.
- [11] Llorens P, Gallart F. A simplified method for forest water storage capacity measurement. *Journal of Hydrology*, 2000, 240(1/2): 131-44.
- [12] Li C J, Ren D X, Wang G X, Hu H C, Li T B, Liu G S. Analysis of artificial precipitation interception over two meadow species on Qinghai Tibet Plateau. *Advance in Water Science*, 2009, 20(6): 669-774.
- [13] Shachnovich Y, Berliner P R, Bar P. Rainfall interception and spatial distribution of throughfall in a pine forest planted in an arid zone. *Journal of Hydrology*, 2008, 349(1/2): 168-177.
- [14] Gower S T, Kucharik C J, Norman J M. Direct and indirect estimation of leaf area index, f_{APAR} , and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sense of Environment*, 1999, 70(1): 29-51.
- [15] Czikowsky M J, Fitzjarrald D R. Detecting rainfall interception in an Amazonian rain forest with eddy flux measurements. *Journal of Hydrology*, 2009, 377(1/2): 92-105.
- [16] Gash J H C, Morton A J. An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from Thetford Forest. *Journal of Hydrology*, 1978, 38(1/2): 49-58.
- [17] Marin C T, Bouten W, Sevink J. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest

- ecosystems in western Amazonia. *Journal of Hydrology*, 2000, 237(1/2): 40-57.
- [18] Bremer D J, Auen L M, Ham J M, Owensby C E. Evapotranspiration in a prairie ecosystem: effects of grazing by cattle. *Agronomy Journal*, 2001, 93(2): 338-348.
- [19] Li S G, Asanuma J, Kotani A, Davaa G, Oyunbaatar D. Evapotranspiration from a Mongolian steppe under grazing and its environmental constraints. *Journal of Hydrology*, 2007, 333(1): 133-143.
- [20] van Dijk A I J M, Bruijnzeel L A. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 1. Model description. *Journal of Hydrology*, 2001, 247(3/4): 230-238.
- [21] Monson R K, Grant M G, Jaeger C H, Schoettle A W. Morphological causes for the retention of precipitation in the crowns of alpine plants. *Environmental and Experimental Botany*, 1992, 32(4): 319-327.
- [22] Liu S. Estimation of rainfall storage capacity in the canopies of cypress wetlands and slash pine uplands in North-Central Florida. *Journal of Hydrology*, 1998, 207(1/2): 32-41.
- [23] Thurow T L, Blackburn W H, Warren S D, Taylor C A Jr. Rainfall interception by midgrass, shortgrass, and live oak mottes. *The Journal of Range Management*, 1987, 40(5): 455-460.
- [24] Clark O R. Interception of rainfall by prairie grasses, weeds, and certain crop plants. *Ecological Monographs*, 1940, 10(2): 243-277.
- [25] Hu J Z, Li W Z, Zheng J L, Zhang C X, Li X P. Rainfall interception capability of canopy layer of main plant community in rehabilitation lands at Southern Foot of Qilian Mountain. *Journal of Mountain Science*, 2004, 22(4): 492-501.
- [26] Zhuo L, Shu D R, Liu Z X, Ren Y Y, Liu Y S. Capability of canopy interception of turfgrass (*Zoysia sinica* Hance). *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 669-675.
- [27] Brandt C J. The transformation of rainfall energy by a tropical rain forest canopy in relation to soil erosion. *Journal of Biogeography*, 1988, 15(1): 41-48.
- [28] Chappell N A, Bidin K, Tych W. Modelling rainfall and canopy controls on net-precipitation beneath selectively-logged tropical forest. *Plant Ecology*, 2001, 153(1/2): 215-229.
- [29] Klaassen W, Lankreijer H J M, Veen A W L. Rainfall interception near a forest edge. *Journal of Hydrology*, 1996, 185(1/4): 349-361.

参考文献:

- [12] 李春杰, 任东兴, 王根绪, 胡宏昌, 李太兵, 刘光生. 青藏高原两种草甸类型人工降雨截留特征分析. *水科学进展*, 2009, 20(6): 769-774.
- [25] 胡建忠, 李文忠, 郑佳丽, 张春霞, 李雪萍. 祁连山南麓退耕地主要植物群落植冠层的截留性能. *山地学报*, 2004, 22(4): 492-501.
- [26] 卓丽, 苏德荣, 刘自学, 任云宇, 刘艺杉. 草坪型结缕草冠层截留性能试验研究. *生态学报*, 2009, 29(2): 669-675.

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 Shiming (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 Huabei 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 Yongnan 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 Jiaen, 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 Jinqian, 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 Zoigê 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>Platykladus 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</i> - <i>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 ϕ and p in 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