

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

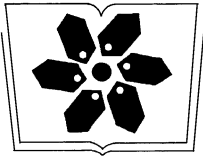
Acta Ecologica Sinica



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

张继义, 赵哈林. 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. 生态学报, 2011, 31(20): 6060-6071.
Zhang J Y, Zhao H L. 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. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 6060-6071.

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^{1,*}, 赵哈林²

(1. 兰州理工大学石油化工学院, 兰州 730050; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

摘要:利用对不同沙漠化程度的 6 个沙质草地群落样地的调查资料,并通过构建恢复力指数,尝试性地对沙漠化过程草地群落在经历约为 0.5 个生长季的短时间尺度极端干旱事件干扰后、在当年后 0.5 个生长季表现出的恢复力稳定性进行了定量测定与比较。结果表明:6 个不同退化程度沙质草地群落在降水条件恢复后具有反应快速和补偿生长的能力,从而表现出良好的恢复力,即使最严重沙漠化程度的群落也恢复到甚至超过了其在干旱前的状况。各群落恢复力综合指数在 2.21—1.16 之间,分别以多度、高度、盖度和生物量指标计算的恢复力分指数在 4.69—1.23, 1.21—0.98, 1.59—1.15 和 1.28—1.00 之间,基本呈随沙漠化程度提高而减小的趋势。恢复力指数的计算结果表明,在经历短时间尺度干旱事件干扰后,所研究的退化沙质草地群落具有以较强的恢复力维持植被稳定的倾向和能力。群落之间的比较显示,恢复力随沙漠化程度的发展而降低。对群落恢复力来源与构成进行的分析表明,以多度指标计算的恢复力分指数最大,显示各群落都有充足的种源条件和土壤种子库为群落恢复力提供基本保障条件;群落恢复力不仅来源于 1 年生植物,也来源于多年生植物;一些群落的优势物种在恢复过程中发生了快速转换。通过综合分析本研究以群落内部生态过程为基础对群落恢复力进行的数量测定结果以及对该群落在同一干旱事件干扰下的抵抗力进行的已有研究结果,认为退化沙质草地群落较低的抵抗力和较高的恢复力都说明了植被稳定性对降水条件的依赖不可替代和无法超越。因而,群落在短时间尺度上具有随降水波动的必然性和不稳定性,而在较长时间尺度上又具有主要由群落恢复力所维持的稳定性;恢复过程中发生的群落优势物种快速转换现象是生物多样性的表现形式之一,进一步证明生物多样性对维持生态系统功能和促进植被稳定性具有重要作用,是植被生态系统的—个基本特征。

关键词:稳定性;恢复力;多样性;植被;沙漠化过程

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^{1,*}, ZHAO Halin²

1 School of Petrochemical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China

2 Cold and Arid Regions Environments and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract: Ecological stability, changes of eco-system under natural and human-induced disturbances such as fire, grazing, cultivation etc., involved in how and to what extent human can utilize natural resources but without inducing eco-system degradation or collapse, is a problem worthy of study. From the reaction of an ecosystem to disturbances, it has been concluded that ecological stability could be defined as resistance and resilience. Because of many complicated factors such as the type, the intensity, the temporal scale and spatial scale of disturbances, it has been difficult to make qualified measurements for a real community. Therefore, researches related to resistance and resilience has been stopped at concepts,

基金项目:国家 973 资助项目(G2000048704);甘肃省教育厅硕士研究生导师项目(1005ZTC116);甘肃省自然科学基金项目(1014RJZA034)

收稿日期:2011-06-02; **修订日期:**2011-07-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangjiyi@lut.cn

and studies on qualified resistance and resilience about a real community were scarce. In order to make a tentative example for study on this topic, 6 communities in different desertification stage were sampled in a sandy desertified region, and community investigation was done one time for every half month from the beginning to the end of growth season. With the investigation data obtained at the same time in continual two years before and during a special period when climate was extremely arid, a resistance index, which indicates the resistance stability of the 6 communities, were defined and calculated as the ratio of vegetation data at the same time of two years in one study we have done in an earlier time. In this study, with investigation data of the same 6 sandy desertification communities after undergoing the same arid disturbance, a resilience index which indicates the resilience stability of communities was defined and calculated. It could be expressed as: resilience index = the vegetation data at the end of the year during which the aridity event took place / the vegetation data in the early year that was just before the aridity event took place. Results showed that, the resilience indice of the 6 desertified communities calculated with abundance, highness, coverage, and biomass were between 4.69—1.23, 1.21—0.98, 1.59—1.15, and 1.28—1.00, respectively, decreasing with enhanced desertification and showing that the 6 communities have the strong ability to keep stable when the precipitation recover to the normal standard after the short arid disturbance by high resilience. Furthermore analysis about source and constituents of the resilience showed that, the resilience was mainly from annual plants, as well as perennials. The resilience index calculated from abundance data was the most, indicating that there were abundant seed sources and a big soil seed bank to sustain the vegetation recovery in every community. It was also found that the dominant species in some communities were replaced quickly in the short time of two continual years, which could be explained as that it was one of the forms in which biodiversity played its roles. Furthermore, it could be concluded that biodiversity plays important roles for maintaining ecosystem function and its stability, and biodiversity is the fundamental characteristics of ecosystems. All results in this study and in the study which had been done in earlier time about resistance of these communities under the same arid disturbance showed that, both of the weak resistance and the strong resilience of the studied sandy communities were the reflection of the same fact that vegetation stability depended strongly on rainfall which could not be replaced. So, by the quantitative definition of vegetation stability with resilience and resistance, it could be concluded that, for a shorter temporal scale, vegetation is certainly unstable with the rainfall fluctuation, while for a longer temporal scale, vegetation has the ability and potential to maintain the stability of itself by the well resilience.

Key Words: stability; resilience; biodiversity; vegetation; desertification

稳定性概念经历了从早期研究植被在演替过程中的变化到目前研究植被在人为干扰和自然干扰下的变化的演变过程^[1-2]。干扰可看作是使生态系统离开稳定状态的一切外部作用。干扰可能改变群落的物理环境,也可能改变群落的生物成分,从而破坏植被系统的稳定性。

稳定性的度量 and 测定一直是稳定性研究的核心问题。从最一般的意义上来说,稳定性是指事物的运动、结构、属性维持其原来状态不变或变化很小的性质,因此,以时间序列上反映植被动态资料为基础的变异系数就是对稳定性最基本和最直接的度量。为了消除量纲影响,还可以采用植被的变异系数与环境变量的变异系数的比值,即弹性来进行度量^[3]。

此外,抵抗力和恢复力是对系统受到干扰后的稳定性进行表达的适宜指标^[4-5]。尽管有了明确的定义,但对于抵抗力和恢复力的野外测定仍然有着巨大的困难。由于所涉及的群落物种组成、环境条件(土壤、温度、光照、降雨等)、干扰的类型和具体形式、干扰的强度和大小、干扰的时间尺度、干扰的空间尺度等多种复杂因素的可比性^[6]难以同时得到满足,无论是对实验群落进行人工操控实验,还是对自然群落在天然条件下的变化进行对比调查研究,都较为困难。致使对具体群落抵抗力和恢复力的量化研究十分缺乏,指标停留在概念阶段^[7]。

干旱半干旱区域的植被最经常受到的干扰是降雨量的缺乏对植被发育和群落生产力的影响,因而,干旱条件下植被的稳定性是较早受到注意的研究课题^[8-9]。研究干旱条件下植被的稳定性一个有利的条件是:干旱作为干扰的形式对于处在其作用范围内(所研究的群落处在同一区域或植被气候带内)的所有群落具有一致的尺度和强度(干扰的时间尺度、空间尺度和干扰的强度满足可比性条件),便于群落之间的比较;不利的条件是:当采用反映时间序列上植被变化程度的指标如变异系数或弹性(为了消除量纲影响采用植被的变异系数与环境变量的变异系数的比值)等对稳定性进行度量的直接分析方法时,需要以反映植被动态及其变化趋势的较长时间尺度的观测资料为基础,才有可能对稳定性作出评价^[3]。

沙漠化是主要发生在干旱、半干旱地区及部分半湿润地区以植被破坏为起点的土地质量下降和退化的生态过程。研究沙漠化过程植被的稳定性,是进一步深入认识沙漠化发生发展规律与机理,为沙漠化防治提供必要的科学基础和知识依据的需要^[10]。

曾经以我国北方典型沙漠化区域科尔沁沙地处于不同沙漠化程度的退化沙质草地群落为对象,挖掘利用该地历年植被调查资料,结合 2002—2003 年之间发生在该区域的异常气候变化并由此引起的植被变化所提供的特殊事件,从抵抗力概念出发,构建抵抗力指数,尝试性地对不同沙漠化程度植物群落在极端干旱事件干扰下的抵抗力进行了量化测度和比较分析^[7]。本文将再次从恢复力概念出发,构建恢复力指数,尝试性地对不同沙漠化程度植物群落在经历时间尺度约为 0.5 个生长季的极端干旱事件干扰后、在降雨条件恢复正常情况下的当年后 0.5 个生长季所表现的恢复力进行量化测定和比较分析,从群落恢复力角度进一步深入认识和分析沙漠化发生发展的规律和机理,为将恢复力指标具体应用于实际群落稳定性的度量和研究提供借鉴。

1 研究区域自然概况

研究在位于科尔沁沙地中南部的内蒙古自治区奈曼旗境内中国科学院奈曼沙漠化研究站进行,地理位置 120°41'E, 42°54'N。该地区属半干旱气候,多年平均降水量 366mm,年蒸发量 1935mm,年均气温 6.5℃,1 月平均气温 -12.7℃,7 月平均气温 23.7℃,≥10℃积温 3000℃以上,无霜期 150d。年均风速 3.5m/s,8 级以上大风年均 21 次,主要发生在春季 3—5 月。土壤类型为沙质栗钙土,经破坏后则退化为流动风沙土。沙土基质分布广泛,风沙活动强烈^[11]。

2 研究方法

2.1 研究思路 and 依据

根据历年在该地进行植被调查时的观察以及随后对相关气象观测数据进行的分析表明(图 1),2003 年科尔沁地区的降雨非常特殊,在 6 月 9 日以前基本未发生有效降雨,在这种情况下植被经受了极为严重的干旱,生长衰弱,群落盖度降低。而在生长季的中后期(6 月 9 日以后)降雨频繁,连续集中的降雨使土壤水明显改善,深层水分也得到了较高程度的补给,在土壤水分的影响下植被在中后期的生长良好,得到了很好的恢复,反而使生长季结束时的植被状况成为在此之前十多年来科尔沁地区植被发育最好的一年。截止当年最后一次植被调查时(8 月 10 日)的总降雨量与 2002 年相差并不是非常大(2003 年仅比 2002 年高出 35mm),但植被的变化却非常明显^[7]。

由于降雨情况的变化,使植被在一年内的变化完全表现出了从前期的经受极端干旱而生长衰弱到后期的迅速生长两个明显不同而完整的阶段。在连续两年(2002 年,2003 年)这样相对较短的时间尺度内,假定没有气候的异常情况,植被无论在生长季末的发育程度(物种组成、盖度和生物量)还是在年内的节律和步骤上,其变化应该不会太大。把植被在 2003 年的生长过程分为前期(生长季开始约 4 月 20 日至 6 月 9 日)和后期(6 月 9 日以后至生长季结束约 8 月 10 日)两个阶段,与 2002 年同期的植被情况进行对比,联系两年之间的气候变异,则有理由把同一群落之间的差异归为异常气候事件所引起^[7]。因此,2003 年 6 月 9 日以前的植被状况与 2002 年同期对比,可看作是植被在经历干旱事件干扰下的抵抗力^[7];而 2003 年生长季末期植被的最终表现与 2002 年末期的植被状况相比,则可反映在降水条件恢复到正常情况后植被在当年后 0.5 个生长季所表现出的恢复力,从而使得利用连续 2a(2002 年,2003 年)这样相对短期的资料对植被的恢复力进行评

价成为可能。

2.2 样地选择

区域植被是由不同退化程度的群落斑块构成的斑块镶嵌景观格局,具有高度的空间异质性,这就为不同沙漠化程度群落样地的选择提供了可能。从沙地表面环境状况、群落的物种组成与发育状况判断群落的沙漠化程度,用空间代替时间的方法,在野外选取了分别处于潜在沙化、轻度沙化、中度沙化、重度沙化、严重沙化、极严重沙化等 6 个群落样地,把它们按照沙漠化程度从轻到重的顺序排列为群落 1、群落 2、群落 3、群落 4、群落 5、群落 6(表 1)。

表 1 不同沙漠化程度群落样地概况

Table 1 The state of community plots

项目 Item	群落序号 The number of communities					
	1	2	3	4	5	6
沙地状态 State of the sandy land	固定沙地	半固定沙地	流动沙地	半流动沙地	流动沙地	流动沙地
沙化程度 Desertification degree	潜在沙化	轻度沙化	中度沙化	重度沙化	重度沙化	极严重沙化

2.3 调查方法

对上述所选择的 6 个不同沙漠化程度的群落样地进行的定期常规群落调查是从每年生长季开始(约为每年 4 月下旬)每隔半月进行一次,直至每年生长季结束(约为每年 8 月中旬左右)。主要调查植被的现存活生物质的物种组成、多度、高度和盖度,对立枯和地面枯落物的盖度也进行调查。在生长季结束的最后一次调查中测定群落的生物量。每群落以样带法确定 30 个 1m²样方进行调查。

2.4 分析方法

根据气候异常情况和植被的相应变化,以及为了满足反映植被恢复力的需要,本文主要提取通过上述调查方法所得到的能够反映 2003 年在经历前期大约 0.5 个生长季的极端干旱事件干扰后、在后期大约 0.5 个生长季降雨条件基本恢复正常情况下植被恢复力的当年最后一次群落调查结果(当年 8 月 9—15 日进行)和 2002 年生长季末的群落调查结果进行比较分析。

恢复力指数构建,以恢复力指数反映植被的恢复力。根据上述 2002—2003 年植被经历的降水条件的差异以及恢复力的概念,将 2003 年生长季末期的植被指标与 2002 年末期的植被指标的比值定义为恢复力指数。以多度、高度、盖度、生物量等不同植被指标计算的结果称为恢复力分指数;将恢复力分指数的算术平均值作为群落的恢复力综合指数。

恢复力分指数 = 2003 年生长季末期植被调查指标(盖度、多度、高度、生物量)/2002 年末期植被对应指标;

$$\text{恢复力综合指数} = 1/n \sum \text{恢复力分指数}, n = 4。$$

恢复力指数越大,表明植被的恢复力越强,从恢复力来看植被的稳定性也越高。

3 结果分析

3.1 研究期间异常气候条件及植被变化的一般描述

气温和降雨量是影响植被发育最为重要的两个气象因子。一般来说,年际间气温相对稳定,变化较小,在一个较短的时间尺度内气温的变化不致于引起植被很大的变化。而降雨量则是相对易变的因素,甚至在较短的时间尺度内如年际间经常发生大的变化而致植被盖度和群落第一性生产力大幅波动,特别是干旱半干旱区普遍存在着降水变率大的问题。

从气温来看,除 1—3 月的非生长季 2a 的差异较明显外,4—8 月份各月的平均温度 2002 年和 2003 年没有大的差异(表 2),说明两年的生长季基本同步,植物生长和植被发育的热量基础和季节节律不会有大的差异。

表 2 两年生长季的气温比较

Table 2 Temperature in 2002 and 2003/°C

年份 Year	月份 Month							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2002	-8.84	-4.23	3.09	9.69	18.54	19.89	24.46	21.61
2003	-12.21	-6.41	-0.22	10.45	17.32	20.06	23.25	22.21

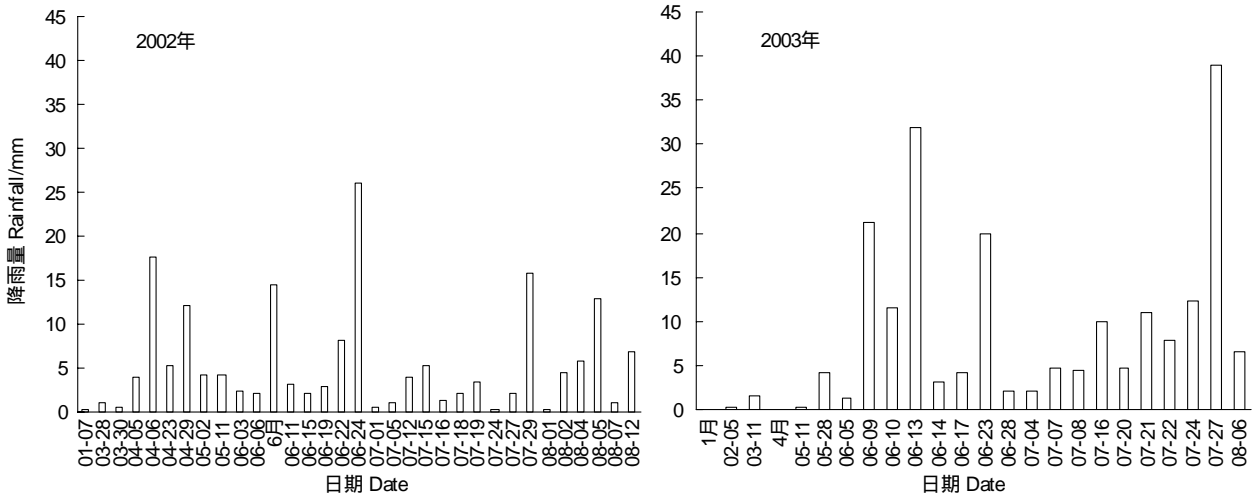


图 1 降雨时间分布

Fig. 1 Temporal distribution of precipitation in 2002 and 2003

从降雨量来看,主要在降雨的时间分配上 2002 年和 2003 年有着较大的差异(图 1)。2002 年的降雨次数频繁,每次的降雨量小,在时间上分配比较均匀。而 2003 年的降雨主要集中在 6 月 9 日以后,在此之前从 1 月份开始计算的降雨量仅为 7.7mm,而 2002 年同期的降雨量已经达到 51.59mm。其次,2003 年后期的降雨连续而集中,最大连续降雨量达到 38.9mm,而这种一次连续降雨形成较大降雨量的情况在 2002 年要少得多(图 2)。连续集中的降雨形式有利于深层土壤水分的补给和回升,少量频繁的降雨只能湿润浅层土壤,更有利于草本植被的发育。统计期间的总降雨量 2003 年比 2002 年多出 26.25mm,约为 12.80%,而降雨频次 2003 年则比 2002 年少 11 次,约少 33.3%^[7](图 3)。

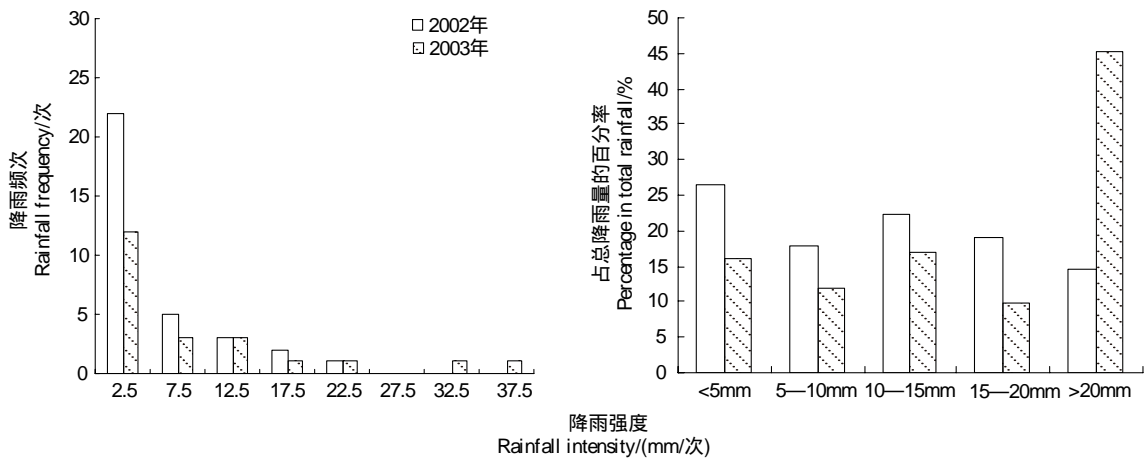


图 2 降雨的强度分布

Fig. 2 Rainfall intensity distribution in 2002 and 2003

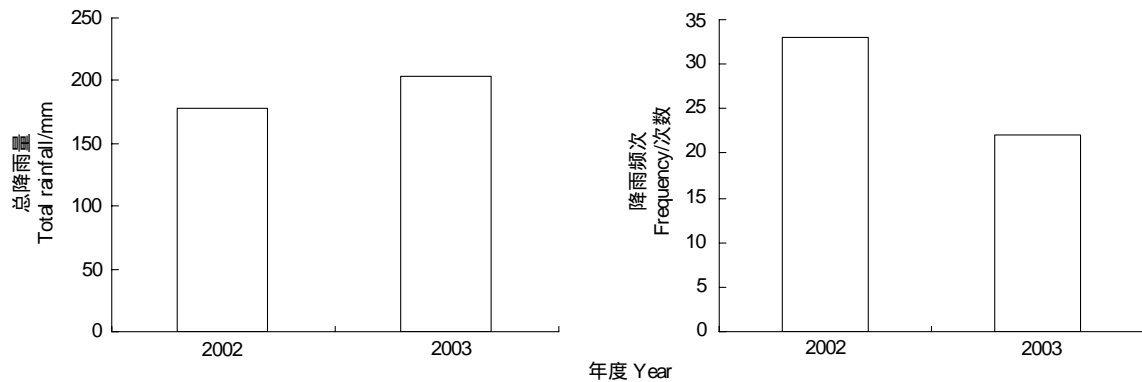


图3 总降雨量和总降雨频次

Fig.3 Total rainfall and total frequency

3.2 不同退化程度沙质草地群落恢复力的比较

在经过生长季中后期较为充足的降雨后草本植被的恢复情况如表3。6个退化沙质草地群落类型无论在个体数量、草层高度、群落盖度还是生物量等指标方面都有非常大的增长,表明了植被总体状况的恢复非常好。把2003年的植被质量指标与2002年的相比得到的恢复力指数表明(表4),无论以多度、高度、盖度或生物量等指标计算的恢复力分指数还是恢复力综合指数都大于1,说明群落最终的发育程度超过了2002年。恢复力指数总的趋势是随沙漠化程度的提高而减小,说明随沙漠化的发展,群落的恢复力稳定性降低。多度指标显示,各群落中具有非常高的多度值,尤以群落2和群落1最为突出。

表3 生长季末期群落的恢复情况

Table 3 Recovery of communities at the end of growth season

项目 Item	群落序号 The number of communities					
	1	2	3	4	5	6
多度 Abundance	1180.75	935.65	512	327.23	240.83	246.9
高度 Height/cm	11.63	16.24	10.95	12.08	10.08	14.84
盖度 Coverage/%	96.558	77.604	57.555	34.359	23.925	17.656
生物量 Biomass/(g/m ²)	55.289	85.642	62.118	41.683	27.630	29.724

表4 群落的恢复力指数

Table 4 Resilience index of the communities

类型 Components	群落序号 The number of communities						
	1	2	3	4	5	6	平均 Mean
多度 Abundance	4.69	4.30	2.20	1.94	1.49	1.23	2.64
高度 Height	1.21	1.75	1.84	0.98	0.78	1.05	1.27
盖度 Coverage	1.39	1.59	1.44	1.25	1.19	1.15	1.34
生物量 Biomass	1.00	1.21	1.20	1.25	1.28	1.21	1.19
恢复力综合指数 CRI	2.07	2.21	1.67	1.36	1.19	1.16	1.61

CRI: 恢复力综合指数

3.3 退化沙质草地群落恢复力的来源和构成分析

3.3.1 植物多度、土壤种子库和种源

种源是植被恢复的基础,对于1年生植物来说,土壤种子库是维持种群稳定的基础,群落中较高的个体多度值(表3)说明群落中较大的种群数量。以多度指标计算的群落恢复力分指数也最大(表4),表明土壤种子库足以提供保证植被恢复和群落稳定的种源条件。这些大量种源得以产生和维持的原因在于,一方面是草本植物特别是1年生草本植物能够产生大量的种子,另一方面也说明植物种子能够在土壤种子库中长期积累而

保持萌发力,并形成了库容庞大的土壤种子库。种子能否萌发并形成有效生物量则取决于外界环境条件特别是降雨量和土壤含水量等水分条件。一个库容庞大的土壤种子库是植被能够恢复和保持稳定的基本条件和原因之一。

3.3.2 群落物种组成及优势物种的快速变化

从物种组成看(表5,表6),各群落的物种总数量变化不大,但群落的优势物种在一些群落中的变化极为明显。群落1的优势物种仍为隐子草,次优势种的虎尾草、画眉草、狗尾草等禾本科植物仍占有重要的位置。群落2的优势物种变化极为明显,2002年时以猪毛菜、五星蒿、差巴嘎蒿为主,而2003年三芒草在群落2具有极高的优势度,优势度达27%。群落3从以雾冰藜为优势种转变为以马唐、雾冰藜和狗尾草为优势种,差巴嘎蒿为次优势种。群落4差巴嘎蒿仍然为优势种,群落5则从狗尾草、沙米群落演变为以狗尾草、雾冰藜为优势种的群落,分别占群落优势度的43%和39%。群落6的优势物种从2002年的沙米演变为沙米、狗尾草共优,分别占群落优势度的58.6%和35%。

表5 群落物种组成及优势度(2003年8月)

Table 5 Species dominance in communities (August in 2003)/%

物种 Species	群落序号 The numbers of communities					
	1	2	3	4	5	6
沙米 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	—	0.0064	3.4438	0.2092	7.0010	58.5885
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	18.3827	18.6008	16.0614	8.7868	43.0512	35.0182
雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	0.0311	4.3619	19.9392	8.8652	39.0805	2.1092
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	0.5313	0.7345	18.7621	1.1855	3.7827	1.5680
虫实 <i>Corispermum elongatum</i>	0.5075	0.4446	2.5177	0.5631	0.7106	0.5058
地梢瓜 <i>Cynanchum thesioides</i>	0.0259	1.6301	1.7219	0.5579	0.8150	0.3203
差巴嘎蒿 <i>Artemisia halodendron</i>	—	8.4661	8.6239	69.1870	4.4305	0.0337
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	0.2382	1.2306	8.4264	0.1743	0.1254	—
苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	—	0.1521	5.1657	0.0349	0.5225	0.1686
旋覆花 <i>Inula britannica</i>	—	—	4.1962	—	—	—
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	7.1926	0.0064	—	0.0349	—	—
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	7.3821	7.2355	—	—	—	—
三芒草 <i>Aristida adscensionis</i>	4.9815	27.0733	3.9792	—	—	—
蒺藜草 <i>Cenchrus calyculatus</i>	—	—	0.5933	—	—	1.6860
达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>	3.1018	0.2822	3.0820	4.9338	—	—
扁宿豆 <i>Melissitus ruthenicus</i>	0.0311	4.3361	—	4.3672	—	—
砂引草 <i>Messerschmidia sibirica</i>	—	—	—	—	—	—
地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	0.0259	6.9584	0.2460	1.0809	—	—
白草 <i>Pennisetum centrasiaticum</i>	0.0932	2.3839	—	—	—	—
赖草 <i>Leymus secalinus</i>	0.0155	—	—	—	—	—
乳浆大戟 <i>Euphorbia esula</i>	0.0104	0.0193	—	—	—	—
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	2.6150	1.5463	—	—	—	—
米口袋 <i>Gueldenstaedtia stenophylla</i>	0.0052	—	—	—	—	—
芦苇 <i>Phragmites communis</i>	0.0518	0.1289	—	—	—	—
唐松草 <i>Thalictrum squarrosum</i>	—	—	—	—	—	—
鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i>	0.0104	0.0193	—	—	—	—
山葱 <i>Allium scenescens</i>	0.9062	1.2886	—	—	—	—
扁穗冰草 <i>Agrostis desertorum</i>	1.1444	—	—	—	—	—
苔草 <i>Carex korshinskyi</i>	0.1864	—	—	—	—	—
寸草苔 <i>Carex duriuscula</i>	0.0932	—	—	—	—	—
鹤虱 <i>Lappula echinata</i>	0.5572	—	—	—	—	—

续表

物种 Species	群落序号 The numbers of communities					
	1	2	3	4	5	6
白山蓟 <i>Oligaea leucophylla</i>	1.7451	4.9482	0.0434	—	0.4807	—
砂蓝刺头 <i>Echinops gmelini</i>	—	—	—	—	—	—
防风 <i>Saposhnikovia divaricata</i>	0.1036	0.1160	—	—	—	—
棘豆 <i>Oxytropis myriophylla</i>	0.1812	—	—	—	—	—
仓耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	0.0104	—	—	—	—	—
太阳花(牛儿苗) <i>Erodium stephanianum</i>	1.4603	—	—	0.0174	—	—
萎陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	—	—	—	—	—	—
蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i>	0.3728	—	—	—	—	—
灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	1.8279	4.0784	—	—	—	—
黄蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	5.6857	1.4915	3.1978	0.0017	—	—
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	40.4938	2.4612	—	—	—	—
Σ	100	100	100	100	100	100
总物种数 Sum of species	33	26	16	15	10	9

表 6 群落物种组成及优势度(2002 年 8 月)

Table 6 Species dominance in communities (August in 2002)/%

物种 Species	群落序号 The numbers of communities					
	1	2	3	4	5	6
沙米 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	0	0	0.692	2.2647	28.021	68.075
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	8.2411	10.501	12.919	13.7192	30.814	16.914
雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	0.9625	6.2557	22.91	21.498	18.314	9.0568
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	6.3938	31.014	16.417	17.427	5.5536	3.3936
虫实 <i>Corispermum elongatum</i>	2.9782	4.8323	4.453	1.1936	1.2337	0.1872
地梢瓜 <i>Cynanchum thesioides</i>	0.1511	3.4089	5.07	1.3894	0	1.4311
差巴嘎蒿 <i>Artemisia halodendron</i>	0	3.407	17.5433	33.601	3.7559	0.943
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	0.4877	0.6052	4.1212	0.4923	2.4218	0
苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	0	2.6504	2.69	1.441	3.3367	0
旋覆花 <i>Inula britannica</i>	—	—	—	—	—	—
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	12.259	0.706	0	0	0	0
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	10.421	3.4081	0.3865	0	0	0
三芒草 <i>Aristida adscensionis</i>	9.6767	11.743	1.133	0	0	0
蒺藜草 <i>Cenchrus calyculatus</i>	0	0	2.1183	0.9832	0	0
达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>	2.8981	0.7754	2.1686	0	0.7998	0
扁宿豆 <i>Melissitus ruthenicus</i>	0.4298	2.6356	1.684	1.9363	0	0
砂引草 <i>Messerschmidia sibirica</i>	0	0	0	0	4.0805	0
地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	0.2227	6.4703	1.89	0.461	0	0
白草 <i>Pennisetum centrasiaticum</i>	1.2571	1.2946	1.8338	10.395	0	0
赖草 <i>Leymus secalinus</i>	0.0429	0.4167	0	3.1952	0	0
乳浆大戟 <i>Euphorbia esula</i>	0.1054	0.2288	0	0	0	0
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	1.6448	1.9633	0	0	0	0
米口袋 <i>Gueldenstaedtia stenophylla</i>	0	0.0716	0	0	0	0
芦苇 <i>Phragmites communis</i>	0.4574	0.9235	0	0	0	0
唐松草 <i>Thalictrum squarrosum</i>	0.356	0.5857	0	0	0	0
鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i>	0.0568	0	0	0	0	0
山葱 <i>Allium scenescens</i>	0.899	0.2538	0	0	0	0
扁穗冰草 <i>Agrostis desertorum</i>	—	—	—	—	—	—

续表

物种 Species	群落序号 The numbers of communities					
	1	2	3	4	5	6
苔草 <i>Carex korshinskyi</i>	—	—	—	—	—	—
寸草苔 <i>Carex duriuscula</i>	0.2562	0	0	0	0	0
鹤虱 <i>Lappula echinata</i>	0.6439	0	0	0	0	0
白山薊 <i>Oligaea leucophylla</i>	0.0172	0.0507	0	0	0	0
砂蓝刺头 <i>Echinops gmelini</i>	0.0213	0	0	0	0	0
防风 <i>Saposhnikovia divaricata</i>	0.6554	0.1415	0	0	0	0
棘豆 <i>Oxytropis myriophylla</i>	—	—	—	—	—	—
仓耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	—	—	—	—	—	—
太阳花(牛儿苗) <i>Erodium stephanianum</i>	—	—	—	—	—	—
萎陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	0.7477	0	0	0	0	0
蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i>	3.9871	0.0588	0	0	1.669	0
灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	6.8538	0.6874	0	0	0	0
黄蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	2.8504	0.8802	1.9708	0	0	0
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	24.028	4.0304	0	0	0	0
Σ	100	100	100	100	100	100
总种数 Sum of species	30	28	17	14	11	7

各群落优势物种的变化说明了两个方面的规律:一是沙漠化过程群落物种组成变化较大,具有不稳定性。二是以一年生植物为主要组成物种的群落其优势物种变化快,而以多年生植物为主要组成物种的群落其优势物种变化慢,如群落 1 和群落 4 分别以隐子草和差巴嘎蒿等多年生植物为优势种,其物种组成相对稳定。

群落优势物种的快速变化进一步说明土壤种子库是植物种子在土壤中多年长期积累的结果。如群落 2 在 2002 年时种群数量较大的优势物种为猪毛菜、五星蒿等,如果按照当年种子库来说,2003 年应该是这些物种占有优势地位,而 2003 年群落中三芒草的优势度非常高,种群数量比较大,而且构成了地面覆盖和生物量的主体,但三芒草 2002 年时在群落 2 中的种群数量很低。这就说明 1 年生植物的种子数量非常大,尽管种群数量低,但其不仅能产生大量的种子,并有很强的散布能力。还有可能土壤种子库中多年积累的三芒草种子在 2003 年适宜的水分条件下得以萌发、旺盛生长,成为竞争的优势者,形成可观的生物量,成为群落的主体。另外,2003 年群落 2 和群落 1 中多度非常高的黄蒿 2002 年时在各自的群落中都不占优势,它们的种子来源也可能是过去若干年在土壤中得到积累的结果。

3.3.3 物种生活型(1 年生植物、多年生植物)对群落恢复力的影响

进一步以样方为基础把群落总盖度分别与 1 年生植物和多年生植物的盖度进行回归分析表明(图 4, 图 5),在群落 2、群落 4、群落 5 和群落 6 中群落盖度与 1 年生植物的盖度相关性较高,而

与多年生植物的盖度相关性低,说明在这些群落中植被的恢复力主要来源于 1 年生植物,而多年生植物的贡献较小。在群落 3 中,群落盖度与多年生植物相关性高,而与 1 年生植物相关性低。在处于潜在沙漠化阶段的群落 1 中,群落盖度不仅与 1 年生植物相关性较高,与多年生植物也有较高的相关性,说明植被的恢复力不仅来源于 1 年生植物,而且也来源于多年生植物。

4 讨论

4.1 植物生活型与恢复力稳定性

本研究表明,退化沙质草地群落在经历大约前 0.5 个生长季的极端干旱事件干扰后,在降水条件恢复正常后,表现出良好的恢复力稳定性,植被生长和发育在当年后 0.5 个生长季内即快速反应并得到补偿性的恢复。这种良好的恢复力稳定性来源于植物的生活型特征及其与环境条件的关系和适应方式:首先,草本植物特别是 1 年生草本植物能够产生大量的种子,个体小而数量大的种子具有非常强的扩散和散布能力,以及种子在土壤中的多年积累形成了库容庞大的土壤种子库,从而保证了种群恢复和植被稳定的种源条件。

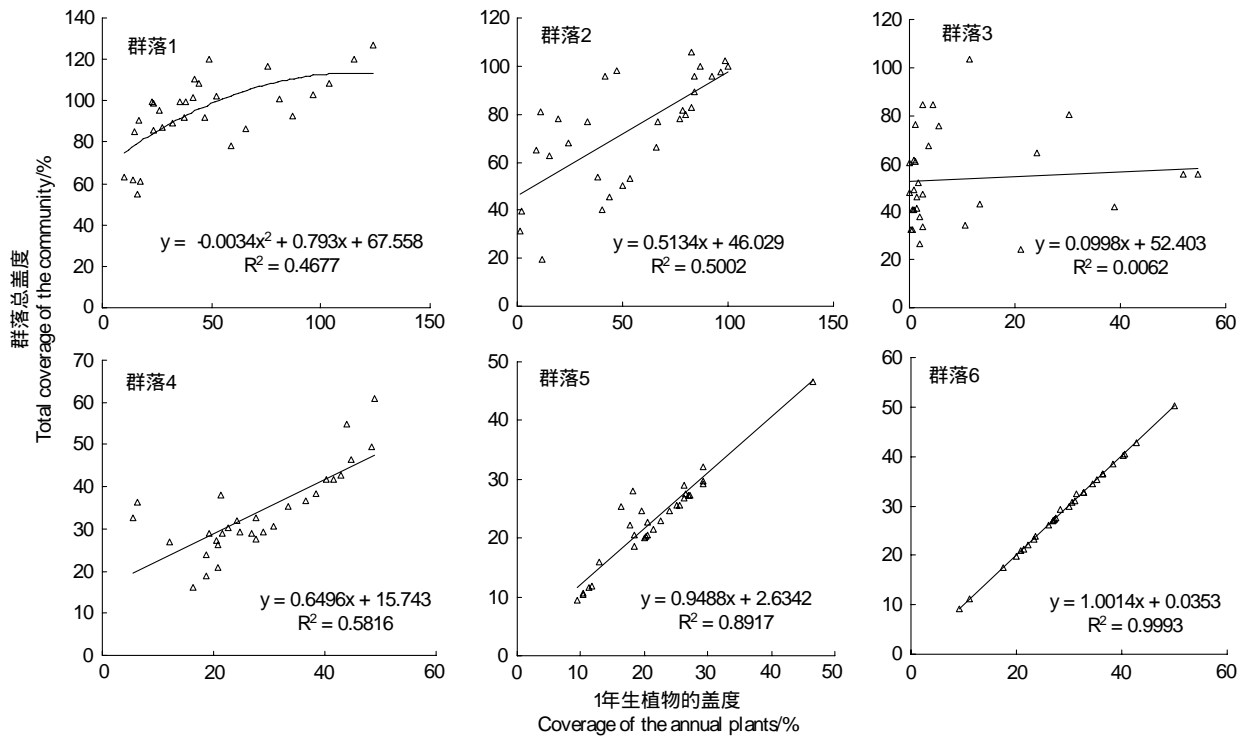


图4 群落总盖度与1年生植物的相关性(2003年8月)(n=30)

Fig. 4 Correlation between community coverage and annual plants(August in 2003)(n=30)

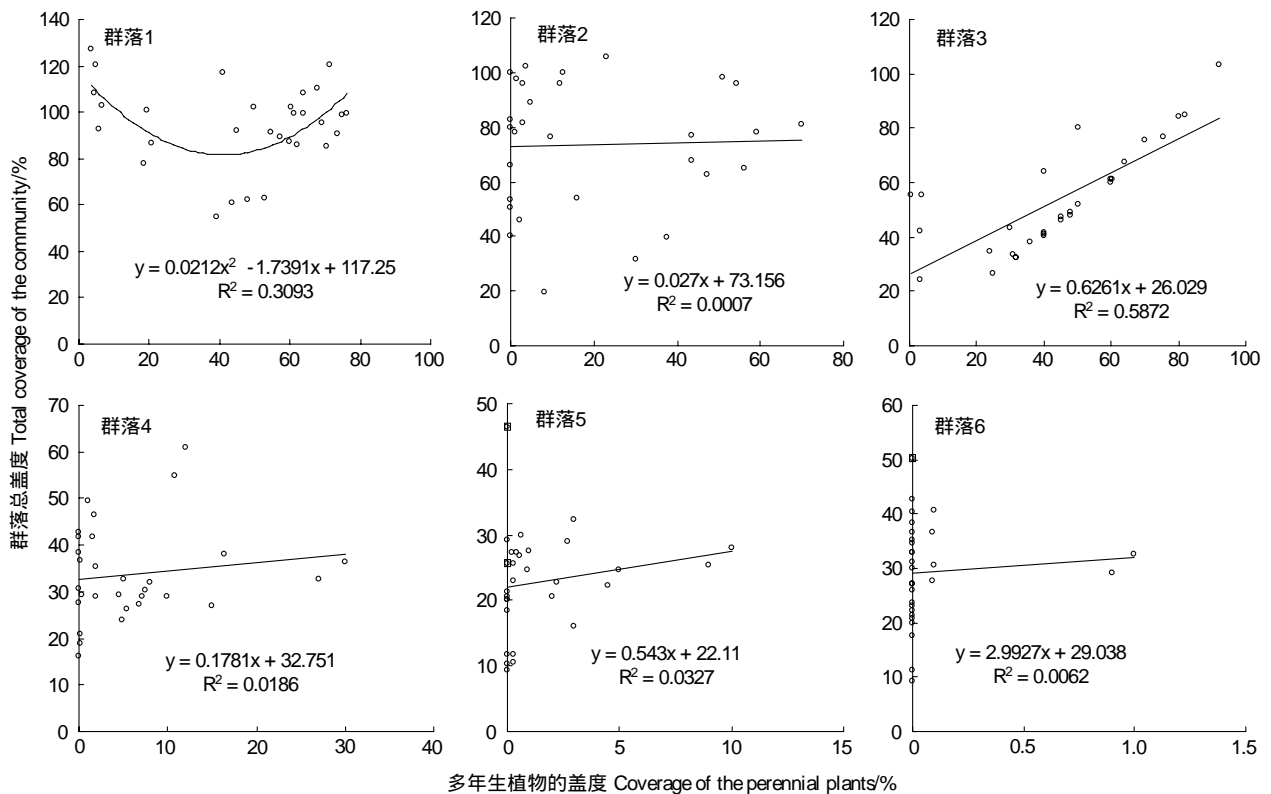


图5 群落总盖度与多年生植物的相关性(2003年8月)(n=30)

Fig. 5 Correlation between community coverage and perennial plants(August in 2003)(n=30)

其次,草本植物的根系分布浅,吸水范围小,主要靠以降水补充的表层或浅层土壤水分作为来源,在气候十分干旱和长期没有降雨的情况下,浅表层土壤由于长期得不到水分补给,其有效水分会接近于0,这时植物就不能萌发生长,无法形成现存生物量和对地表的有效覆盖,植被表现为一片枯黄,毫无生机,因而草地植被的抵抗力较差^[7]。但草本植物又有反应快速的特点,只要有适宜的降水,就能萌发并迅速生长,从降雨对土壤水分的补充来说,草本植物根系分布的浅表层化又提高了降雨对土壤水分补给的保证率,也提高了植被恢复的可能性和概率。

第三,多年生草本植物在极端干旱条件下仍保持根系和生长点的存活,在土壤水分得到补充的情况下能继续萌发生长,形成生物量,不仅具有一定的抵抗力^[7],而且具有较高的恢复力。这些方面共同构成了草本植物较高的恢复力稳定性。可以说,草本植物高的恢复力稳定性由其生态特性所决定。从这一点来说,植被的稳定性离不开植物的生活型、生活史特征和对环境的适应方式等生态特性^[7]。

4.2 植被稳定性对水分条件的依赖

退化沙质草地群落良好的恢复力稳定性是以降水条件的恢复为前提。由于水分是植物生长和植被发育的基本条件,在干旱地区,水分条件缺乏是植被最经常受到的干扰形式,干旱程度的减轻和降水条件的维持是植被恢复和维持稳定的先决条件,具有不可替代性,无法超越。不论抵抗力稳定性还是恢复力稳定性,都是在一定的水分条件范围内植被的表现。植被生态功能表现出对水分条件的强烈依赖是植被稳定性的一个本质特征,是由植物个体生长与水分关系的本质属性所决定。植物对干旱的抵抗和忍耐是有限度的,而植被的恢复也需要适宜的水分条件启动植物的生长。

4.3 稳定性的时间尺度特征

对该退化沙质草地群落在同一极端干旱事件干扰下的抵抗力稳定性已进行的研究表明^[7],以草本植物组成的沙质草地群落的抵抗力较差,且有随着退化程度的增加而对干旱的抵抗力减弱的趋势。但本研究表明,退化沙质草地群落具有良好的恢复力稳定性。由此出发进行分析,可以得出:由于降水在年际间波动及在年内分布的不均匀性是干旱区甚至整个地球气候系统的普遍特征,因此,从短时间尺度上来说(如几年或数十年),植被生长和发育状况必然具有随降水波动的不稳定性;但是,从长期的时间尺度上来看(如几十年甚至上百年),由于植被所具有的恢复力对干旱造成的干扰起到了缓冲和补偿,使植被表现出稳定性。与年降水量的较高波动性相比,以变异系数和弹性为稳定性指标对青藏高原高寒草甸植被进行的长时间序列的研究结果也证明了,高寒草甸植被的生物量 and 生产力在较长时间尺度上表现出相当高的稳定性^[3]。因此,稳定性的评价涉及到时间尺度问题^[6, 12],不同时间尺度下群落稳定性具有显著的差异,在进行稳定性的比较时应确保群落或生态系统所受干扰的时间尺度以及讨论稳定性的时间尺度是一致的。

4.4 多样性与稳定性

多样性是生态系统的—个基本特征,“多样性的生态系统功能”、“多样性与稳定性”等是具有重要理论意义和应用价值的生态学命题^[13-14]。对青藏高原高寒草甸及内蒙古温带草原的研究都证明,多样性促进稳定性^[3, 14-15]。本研究中退化沙质草地群落在经历严重干旱事件干扰后的迅速恢复过程中表现出的优势物种快速变化、以及恢复力与物种生活型和生态适应性的关系等现象,都是物种多样性的表现形式,在这一过程中,多样性促进稳定性的机理应主要在于种间补偿作用,或功能群之间的补偿作用^[3, 14-16]。研究结果进一步证明,多样性对生态系统功能维持和促进稳定性具有重要作用,是植被生态系统的—个基本特征。

4.5 植被稳定性与全球气候变化

全球陆地生态系统是由气候子系统和植被子系统组成的气候-植被系统。将上述关于沙质草地群落稳定性对水分条件依赖的不可替代性和稳定性的时间尺度特征等结论在空间尺度上加以推广,可以得出如下结论:植被系统是气候系统的产物,植被的稳定性基本决定于气候系统的稳定性,在全球气候变化的背景下,这一基本格局不会改变。在没有过度放牧、开垦、砍伐等对植被的强力人为干扰下,植被的抵抗力和恢复力都说明了植被具有维持自身稳定的倾向和能力;但气候变化的不可预见性和不可控性也有可能对植被系统造成不

可逆转的影响。

References:

- [1] Zhang J Y, Zhao H L. Review on the study of vegetation stability. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(4): 42-48.
- [2] Liu X W, Zhou H C, Li P, Peng S L. A conceptual analysis of ecosystem stability. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2635-2640.
- [3] Zhou H K, Zhou L, Zhao X Q, Liu W, Li Y N, Gu S, Zhou X M. Stability of alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(1): 63-69.
- [4] May R M. Will a large complex system be stable? *Nature*, 1972, 238(5364): 413-414.
- [5] Pimm S L. The complexity and stability of ecosystems. *Nature*, 1984, 307(5949): 321-326.
- [6] Han B P. Ecosystem stability: concepts and their expression. *Journal of South China Normal University (Natural Science Edition)*, 1994, (2): 37-45.
- [7] Zhang J Y, Zhao H L. An example for study on vegetation stability in sandy desertification land; determination and comparison of resistance among communities under a short period of extremely aridity disturbance. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(20): 5456-5465.
- [8] Tilman D. Biodiversity: population versus ecosystem stability. *Ecology*, 1996, 77(2): 350-363.
- [9] Frank D A, McNaughton S J. Stability increases with diversity in plant communities; empirical evidence from the 1988 Yellowstone drought. *Oikos*, 1991, 62(3): 360-362.
- [10] Wang T. The progress of research on aeolian desertification. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2009, 24(3): 290-296.
- [11] Zhao H L, Zhou R L, Su Y Z, Li Y Q. Changes of soil organic C and total N contents as affected by desertification in Horqin Sand Land, north China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 976-982.
- [12] Lacroix G, Abbadie L. Linking biodiversity and ecosystem function; an introduction. *Acta Oecologica*, 1998, 19(3): 189-193.
- [13] Huang J H, Han X G. Biodiversity and ecosystem stability. *Chinese Biodiversity*, 1995, 3(1): 31-37.
- [14] Bai Y F, Li L H, Huang J H, Chen Z Z. The influence of plant diversity and functional composition on ecosystem stability of four *Stipa* communities in the Inner Mongolia Plateau. *Acta Botanica Sinica*, 2001, 43(3): 280-287.
- [15] Bai Y F, Chen Z Z. Effects of long-term variability of plant species and functional groups on stability of a *Leymus chinensis* community in the Xilin River Basin, Inner Mongolia. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2000, 24(6): 641-647.
- [16] Tilman D, Lehman C L, Bristow C E. Diversity-stability relationships; statistical inevitability or ecological consequence? *The American Naturalist*, 1998, 151(3): 277-282.

参考文献:

- [1] 张继义, 赵哈林. 植被(植物群落)稳定性研究评述. *生态学杂志*, 2003, 22(4): 42-48.
- [2] 柳新伟, 周厚诚, 李萍, 彭少麟. 生态系统稳定性定义剖析. *生态学报*, 2004, 24(11): 2635-2640.
- [3] 周华坤, 周立, 赵新全, 刘伟, 李英年, 古松, 周兴民. 青藏高原高寒草甸生态系统稳定性研究. *科学通报*, 2006, 51(1): 63-69.
- [6] 韩博平. 生态系统稳定性: 概念及其表征. *华南师范大学学报(自然科学版)*, 1994, (2): 37-45.
- [7] 张继义, 赵哈林. 短期极端干旱事件干扰下退化沙质草地群落抵抗力稳定性的测度与比较. *生态学报*, 2010, 30(20): 5456-5465.
- [10] 王涛. 沙漠化研究进展. *中国科学院院刊*, 2009, 24(3): 290-296.
- [11] 赵哈林, 周瑞莲, 苏永中, 李玉强. 科尔沁沙地沙漠化过程中土壤有机碳和全氮含量变化. *生态学报*, 2008, 28(3): 976-982.
- [13] 黄建辉, 韩兴国. 生物多样性和生态系统稳定性. *生物多样性*, 1995, 3(1): 31-37.
- [14] 白永飞, 李凌浩, 黄建辉, 陈佐忠. 内蒙古高原针茅草原植物多样性与植物功能群组成对群落初级生产力稳定性的影响. *植物学报*, 2001, 43(3): 280-287.
- [15] 白永飞, 陈佐忠. 锡林河流域羊草草原植物种群和功能群的长期变异性及其对群落稳定性的影响. *植物生态学报*, 2000, 24(6): 641-647.

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

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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
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

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

广告经营
许 可 证 京海工商广字第 8013 号

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

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

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

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

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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