

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

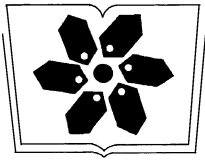
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 4 期
Vol.31 No.4
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 4 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

短期增温对青藏高原高寒草甸植物群落结构和生物量的影响	李 娜,王根绪,杨 燕,等 (895)
三峡库区 9 种植物种子萌发特性及其在植被恢复中的意义	陶 敏,鲍大川,江明喜 (906)
白蜡虫及其 3 种优势寄生蜂的时空生态位	王自力,陈 勇,陈晓鸣,等 (914)
宁夏盐池荒漠草原步甲物种多样性	贺 奇,王新谱,杨贵军 (923)
脂肪酸对中华哲水蚤摄食两种海洋微藻的指示作用	刘梦坛,李超伦,孙 松 (933)
安徽菜子湖大型底栖动物的群落结构特征	徐小雨,周立志,朱文中,等 (943)
乐清湾潮间带大型底栖动物群落分布格局及其对人类活动的响应	彭 欣,谢起浪,陈少波,等 (954)
海蜇养殖对池塘底泥营养盐和大型底栖动物群落结构的影响	冯建祥,董双林,高勤峰,等 (964)
竹巴笼矮岩羊 (<i>Pseudois schaeferi</i>) 昼间行为节律和时间分配	刘国库,周材权,杨志松,等 (972)
干热河谷植物叶片,树高和种子功能性状比较	郑志兴,孙振华,张志明,等 (982)
石羊河中游沙漠化逆转过程土壤种子库的动态变化	马全林,张德魁,刘有军,等 (989)
基于 TM 影像、森林资源清查数据和人工神经网络的森林碳空间分布模拟	汪少华,张茂震,赵平安,等 (998)
山地视觉景观的 GIS 评价——以广东南昆山国家森林公园为例	裘亦书,高 峻,詹起林 (1009)
基于功能分类的城市湿地公园景观格局——以西溪湿地公园为例	李玉凤,刘红玉,郑 因,等 (1021)
水分胁迫下丛枝菌根 AM 真菌对民勤绢蒿生长与抗旱性的影响	贺学礼,高 露,赵丽莉 (1029)
农田灌溉对印度区域气候的影响模拟	毛慧琴,延晓冬,熊 喆,等 (1038)
高大气 CO ₂ 浓度下小麦旗叶光合能量利用对氮素和光强的响应	张绪成,于显枫,马一凡,等 (1046)
豌豆过氧化氢酶在烟草叶绿体中的过量表达提高了植物的抗逆性	王凤德,衣艳君,王海庆,等 (1058)
不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价	王树刚,王振林,王 平,等 (1064)
基于遥感与模型耦合的冬小麦生长预测	黄 彦,朱 艳,王 航,等 (1073)
喷施 ABA 对两个穗型不同小麦穗颈节伤流、穗部性状及产量的影响	崔志青,尹燕枰,田奇卓,等 (1085)
“稻鸭共生”生态系统稻季 N、P 循环	张 帆,隋 鹏,陈源泉,等 (1093)
红壤丘陵区粮食生产的生态成本	李 晓,谢永生,张应龙,等 (1101)
甘南牧区草畜平衡优化方案与管理决策	梁天刚,冯琦胜,夏文韬,等 (1111)
黄龙钙化滩流地物种-面积关系	黄宝强,罗毅波,安德军,等 (1124)
杉木人工林细根寿命的影响因素	凌 华,袁一丁,杨智杰,等 (1130)
长白落叶松林龄序列上的生物量及碳储量分配规律	巨文珍,王新杰,孙玉军 (1139)
生物肥与甲壳素和恶霉灵配施对香蕉枯萎病的防治效果	张志红,彭桂香,李华兴,等 (1149)
北京城区不同水质水体可培养细菌数量的季节动态变化	高 程,黄满荣,陶 爽,等 (1157)
专论与综述	
整树水力导度协同冠层气孔导度调节森林蒸腾	赵 平 (1164)
植物寄生对生态系统结构和功能的影响	李钧敏,董 鸣 (1174)
加拿大一枝黄花的入侵机理研究进展	杨如意,答树婷,唐建军,等 (1185)

石羊河中游沙漠化逆转过程土壤种子库的动态变化

马全林*, 张德魁, 刘有军, 靳虎甲, 陈芳

(甘肃省荒漠化防治重点实验室 甘肃省治沙研究所, 兰州 730070)

摘要:在石羊河中游,应用空间代替时间的方法,选择流动沙丘以及封育恢复 5a、15a 和 25a 的沙漠化逆转过程序列,研究了沙漠化逆转过程土壤种子库的变化特征。结果表明:石羊河中游沙漠化土地土壤种子库由 4 科 12 种植物组成,种子库主要分布于表层 0—5cm。在沙漠化逆转过程中,土壤种子库物种数趋于增加,物种组成以 1 年生草本植物占优势逐渐向多年生草本植物和半灌木植物转变;种子库密度、表层土壤种子比例、物种多样性指数、与地上植被的相似性呈现先增大后降低趋势;沙漠化土地生态恢复间隔的时间越长,土壤种子库间的相似性程度越低;沙漠化土地与地带性植被区种子库的相似性逐渐增大,但是恢复 25a 沙漠化土地也仅达到 0.36。研究认为,沙漠化逆转过程也是沙漠化土地土壤种子库向地带性植被土壤种子库演变的过程,而且是一个十分缓慢的过程,该研究有助于丰富干旱区土壤种子库的理论和指导干旱内陆河流域沙漠化土地的生态恢复实践。

关键词:石羊河;沙漠化逆转过程;土壤种子库;地带植被;物种多样性

Dynamics of soil seed banks in the reversion process of desertification in the middle reaches of the Shiyang River

MA Quanlin*, ZHANG Dekui, LIU Youjun, JIN Hujia, CHEN Fang

Gansu Key Laboratory of Desertification Combating, Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou, 730070, China

Abstract: Soil seed bank is an important indicator for plants responding to changes of the land utilization and climate, also an important tool for the understanding vegetation dynamics. However, little information is available about the dynamics of soil seed banks in the reversion process of desertification in arid areas. With the method of substituting time with space, the mobile sand dune and desertified lands closed for 5, 15 and 25 years were selected as a restoration stage series in the reversion process of desertification, and the adjacent native vegetation habitat was took as the reference site to look into the change characteristics of soil seed bank in the middle reaches of the Shiyang River. The results showed that the soil seed bank of the desertified land in the middle reaches of the Shiyang River consisted of 12 species, belonging to 4 families, with a simple composition, and the seed density, diversity index and similarity coefficient were relatively low. In the reversion process of desertification, (1) the species number of soil seed bank showed a gradual increasing trend, and the species composition of soil seed bank was changing from annual plants to perennial and semi-shrub plants; (2) the soil seed bank was concentrated in the topsoil layer (0—5 cm). Except for mobile sand dunes, the ratio of topsoil seeds to total seeds in the desertified lands closed for 5, 15, 25 years and the adjacent native vegetation habitat were all over 90%. The seed density of the topsoil layer (0—5 cm) showed an increase first and then a reduction, but the seed density of the 5—10 cm soil layer showed an increasing trend. The seed density of the 0—10 cm soil layer of the mobile sand dune was 141 seeds/m² which only accounted for 13.5% of that the desertified land closed for 15 years; (3) the seed density, ratio of topsoil seeds to the total seeds, species diversity and similarity coefficient between standing vegetation and the soil seed bank showed an increase first and then a reduction. The longer the interval between the reversion stages, the little the similarity

基金项目:国家自然科学基金项目(41061030);中国科学院西部之光项目;国家重点基础研究发展计划项目(2009CB421303);国家科技支撑计划项目(2007BAD46B03, 2006BAD26B0802)

收稿日期:2009-12-31; **修订日期:**2010-05-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mql925@126.com

coefficient among the seed banks was; (4) the similarity between the desertified land and native vegetation habitat in the soil seed bank showed an increasing trend, while the similarity coefficient between the desertified land closed for 25 years and the native vegetation habitat was only 0.36. So the reversion process of desertification in the middle reaches of the Shiyang River was a changing process from the desertified land soil seed bank toward the native vegetation habitat with a very slow process. The results could enrich the theories of soil seed bank and support the ecological restoration practices of desertified land in arid inland river basins.

Key Words: Shiyang River; the reversion process of desertification; soil seed bank; native vegetation; species diversity

土壤种子库是指一定面积土壤中有生活力或发芽力种子的集合^[1],是植被更新和恢复的物质基础,也是植物群落动态的重要组成部分^[2-3]。土壤种子库作为潜在植被,预示着将来与环境变化有关的植被变化,在连接过去、现在和将来的植物种群、群落结构与动态中起着重要的生态作用^[4],所以常被用来阐明植物群落动态的众多方面,如火烧后的植物入侵、湿地对污染的敏感性、退化土地恢复以及耕作区生产力提高等^[5-8]。基于土壤种子库研究的重要意义,有关土壤种子库的研究日益受到重视。但是,关于土壤种子库的研究主要集中在半干旱或水分条件更好的地区,而对于干旱沙漠地区^[9-11],特别是内陆河流域中下游沙漠地区的相关研究相对较少^[12]。我国内陆河流域占到国土面积的近 1/4,在人类经济活动和水资源开发利用影响下,脆弱的生态环境出现严重退化,土地沙漠化大范围蔓延,开展沙漠化土地生态恢复成为内陆河中下游地区一项长期而艰巨的任务^[13]。但是长期以来,强调地上人工固沙植被的建设,而忽视了地下土壤种子库的研究与利用。大量研究与实践证明,只有具有丰富种子库的退化沙地生态系统,才能在较短的时间内实现恢复^[3]。因此,研究沙漠化土地土壤种子库组成及其随生态恢复过程的变化规律,对内陆河流域不同沙漠化土地管理与生态恢复方案制定具有重要的指导意义。

石羊河流域是我国沙漠化及其危害最严重的区域之一,控制沙漠化是该区域社会、经济可持续发展的关键。1982 年开始,石羊河中游地区采用低密度造林(花棒 *Hedysarum scoparium*, 1650 株/hm²) + 封育措施对沙漠化土地进行治理,经过 25a 的自然恢复,现已形成以半灌木和多年生草本为主的沙地植被,生态功能趋于恢复,基本实现了沙漠化逆转^[14]。本研究采用空间代替时间的方法,选择流动沙丘以及封育恢复 5a、封育恢复 15a 和封育恢复 25a 的沙漠化逆转过程序列,研究了石羊河中游沙漠化逆转过程土壤种子库的组成、数量特征及其与地上植被的关系,以揭示干旱内陆河流域沙漠化逆转过程土壤种子库的动态变化规律,评价沙漠化土地的自我修复能力,对干旱内陆河流域固沙植被建设和生态管理具有一定的理论与实践指导意义。

1 研究区自然概况

研究区选择在古浪县北部的鸣沙咀,位于石羊河支流大靖河下游(37°32'—37°35'N, 103°38'—103°42'E),海拔 1730—1810m。区内气候属大陆性干旱气候,平均气温 6℃,平均降水量 175mm;地下水埋深约 65m。鸣沙咀为古浪县境绿洲内最大的一片流动沙地,总面积 4800hm²,流沙每年以 3—5m 的速度向绿洲推进。研究区地貌类型包括流动沙丘、半固定和固定沙丘、干河床和风蚀沙地;土壤以风沙土为主;地带性植被为草原化荒漠植被,主要植物有中亚紫菀木(*Asterothamnus centrali-asiaticus*)、短花针茅(*Stipa breviflora*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、油蒿(*Artemisia ordosica*)、沙蒿(*Artemisia sphaerocephala*)、沙芦苇(*Agropyron mongolicum*)、刺蓬(*Cornulaca alaschanica*)和沙米(*Agriophyllum squarrosum*)等^[14]。

2 研究方法

2.1 样地设置

2007 年 8 月中旬,在石羊河中游古浪鸣沙咀植被封育恢复区,应用空间代替时间的方法,按时间序列选择流动沙丘(mobile sand dune, MS),封育恢复 5a、封育恢复 15a 和封育恢复 25a 沙化土地样地,代表沙漠化逆转过程的不同阶段,并选择地带性植被(草原化荒漠植被)区样地(native vegetation site, NV)为对照。表 1 所示,石羊河中游沙漠化逆转不同阶段样地生境特征表现为:植被类型由 1 年生草本植物群落演替向半灌木群

落、半灌木与多年生草本植物群落演替;地上生物量、植被总盖度表现为先增加后降低,草本植被盖度持续增大;土壤水分、容重和沙粒含量逐渐降低,粘粒、有机质、全氮和 EC 含量逐渐增大。封育恢复 25a 来,固沙植被生产力、多样性提高;土壤结构改善,肥力增加,沙漠化土地土壤-植被系统向地带性草原化荒漠土壤-植被系统演变,初步实现了沙漠化逆转。

表 1 石羊河中游沙漠化逆转过程土壤-植被系统变化

Table 1 Changes of soil and vegetation systems in the reversion process of desertification

植被与土壤特征指标 Vegetation and soil characteristics indexes	流动沙丘 Mobile sand dune (MS)	封育恢复 5a 沙化土地 Desertified land closed for 5 years	封育恢复 15a 沙化土地 Desertified land closed for 15 years	封育恢复 25a 沙化土地 Desertified land closed for 25 years	地带性植被区 Native vegetation site (NV)
物种数 Number of species	3	9	10	10	15
植被总盖度 Total vegetation coverage/%	6.14c	18.11b	40.23a	36.44a	35.48a
草本盖度 Herb coverage/%	1.26c	5.22bc	8.02b	8.96b	29.86a
地上生物量 Aboveground biomass/(kg/100m ²)	0.92c	20.95b	37.9a	23.05b	14.84b
0—60cm 土壤水分 Soil water content of the 0—60cm layer/%	2.97b	1.92c	1.46d	1.79c	5.59a
容重 Soil bulk density/(g/cm ³)	1.56a	1.51b	1.49c	1.37d	1.35e
沙粒 Sand content/%	98.48a	94.62a	77.52b	68.18c	49.64d
粘粒 Clay content/%	0.87c	1.70c	4.34b	6.65b	12.59a
有机质 Organic matter/%	0.143d	0.203c	0.466b	0.508a	0.574a
全氮 Total N/%	0.013c	0.026b	0.039a	0.043a	0.044a
电导率 Electrical conductivity/(μ s/cm)	81.20d	90.50c	123.78b	133.40a	135.69a

2.2 土壤种子库取样、萌发与鉴定

在土壤种子开始萌发之前(2008 年 4 月),在植被调查的沙漠化逆转不同阶段和对照样地,分别随机选择大小为 1m × 1m 的 10 个小样方,分 0—5cm 和 5—10cm 2 层采集土壤样品,采样框大小 20cm × 20cm。土壤样品用 0.2mm 的小网土壤筛过筛后,充分混匀后置于高 25cm,半径 20cm 的圆形花盆,在温室进行萌发培养。用洒水壶适时浇水保持土壤湿润,逐日观察记录种子萌发情况,对萌发的不同幼苗进行标记,待能鉴别出植物种后除去。为了使土壤中沙生植物种子充分萌发,萌发培养于 2008 年 5 月 1 日—7 月 1 日和 7 月 15 日—9 月 15 日分两阶段进行。

2.3 地上植被调查

在沙漠化逆转不同阶段样地,设置 20 m × 20 m 大样方,采用邻接格子法布设 400 个小样方,并按 2m 间隔均匀抽取 100 个小样方,调查每一小样方内的植物种类及其个体数、分盖度和出现频次等。

2.4 数据分析

应用 Excel 和 SPSS16.0 软件完成数据处理和统计分析,采用 Duncan 氏新复极差测验法进行沙漠化逆转不同阶段种子密度的显著性分析(取显著度 $\alpha = 0.05$)。根据土壤种子库萌发计数统计计算沙漠化逆转过程不同阶段样地土壤种子库密度、种子库物种多样性指数以及与地上植被的相似性系数。土壤种子库密度用单位面积土壤内所含有的活力种子数量来表示,将取样面积内的种子数量换算成 1 m² 面积的数量,计算不同逆转阶段 0—5 cm 土层和 5—10 cm 土层土壤种子库物种的种类及密度(粒/m²)^[1]。

采用最常用的 Simpson、Shannon 和 Pielou 均匀度多样性指数测度沙漠化逆转不同阶段土壤种子库物种多样性^[15-16]。

采用 Jaccard 相似性系数测度沙漠化逆转不同阶段土壤种子库物种与其地上植被物种的相似性程度^[17]。

3 结果与分析

3.1 不同阶段土壤种子库的物种组成及其特征

石羊河中游沙漠化逆转过程中,土壤种子库共记录到 12 种植物,分属于 4 科 11 属,其中藜科 3 种,禾本

科 4 种, 菊科 4 种, 大戟科 1 种; 藜科、禾本科、菊科在不同阶段均出现, 大戟科仅出现在沙丘固定的阶段; 而沙漠化逆转过程 MS、封育恢复 5a、封育恢复 15a 和封育恢复 25a 阶段样地分别记录到 4 种、8 种、7 种和 8 种植物, 均低于对照 NV 的 12 种植物。与科尔沁、沙坡头地区的土壤种子库相比^[7,10], 石羊河中游沙漠化逆转过程土壤种子库的植物种、科组成简单(表 2)。其中, MS 土壤种子库以先锋植物沙蒿和沙米为主, 沙蒿种子占到 53.3%, 沙米种子占到 40.0%; 封育恢复 5a 土壤种子库中沙米种子数量显著减少, 狗尾草种子占到 29.6%, 沙蒿、油蒿种子占到了 54.6%; 封育恢复 15a 土壤种子库中 1 年生植物画眉草、狗尾草和半灌木油蒿显著增加, 沙蒿不再出现, 画眉草、狗尾草、油蒿分别占到 46.3%、27.2% 和 18.2%; 封育恢复 25a 土壤种子库油蒿种子进一步增加, 达到 65.7%, 沙米完全消失。显然, 固沙先锋植物沙米种子数量随沙漠化逆转过程逐渐减少并在恢复 25a 后消失, 沙蒿从流动沙丘开始增加并在恢复 15a 后消失, 而油蒿数量持续增加, 针茅在恢复 25 年后出现, 这与地上植被变化规律相一致(表 2)。

表 2 沙漠化逆转不同阶段土壤种子库的物种组成及其密度(粒/m²)

Table 2 Species composition and seed density of soil seed bank at the different stages in the reversion process of desertification (Seeds/m²)

植物种 Species	科 Family	流动沙丘 Mobile sand dune (MS)	封育恢复 5a 沙漠化土地 Desertified land closed for 5 years	封育恢复 15a 沙漠化土地 Desertified land closed for 15 years	封育恢复 25a 沙漠化土地 Desertified land closed for 25 years	地带性植被区 Native vegetation site (NV)
植物种数 Species number		4	8	7	8	12
1 年生草本 Annual herb						
沙米 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	藜科	56.2 ± 16.2	12.5 ± 6.7	6.3 ± 4.1	—	3.1 ± 3.1
刺蓬 <i>Salsola ruthenica</i>	藜科	—	—	—	59.4 ± 59.4	50 ± 34.1
盐生草 <i>Halogeton arachnoideus</i>	藜科	—	—	—	—	6.3 ± 4.1
五星蒿 <i>Bassia dasyphylla</i>	藜科	—	3.1 ± 3.1	6.3 ± 4.1	—	53.1 ± 29.7
画眉草 <i>Eragrostis poaeoides</i>	禾本科	3.1 ± 3.1	12.5 ± 8.2	484.4 ± 110.1	21.9 ± 7.4	46.9 ± 21.9
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	禾本科	6.3 ± 4.1	81.3 ± 64.6	284.4 ± 141.5	9.4 ± 6.6	15.6 ± 9.3
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	禾本科	—	3.1 ± 3.1	18.8 ± 13.2	—	3.1 ± 3.1
地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	大戟科	—	—	—	6.3 ± 4.1	—
黄蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	菊科	—	—	—	9.4 ± 6.6	37.5 ± 15.7
虫实 <i>Corispermum patelliforme</i>	藜科	—	12.5 ± 12.5	56.3 ± 29.0	3.1 ± 3.1	—
多年生草本 Perennial herb						
短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>	禾本科	—	—	—	6.3 ± 4.1	31.3 ± 7.8
无芒隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	禾本科	—	—	—	—	131.3 ± 117.3
草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	豆科	—	—	—	—	15.6 ± 9.4
苦豆子 <i>Sophora alopecuroides</i>	豆科	—	—	—	—	3.1 ± 3.1
半灌木 Semi-shrub						
油蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	菊科	—	65.6 ± 36.6	190.6 ± 51.5	221.9 ± 67.7	—
沙蒿 <i>Artemisia sphaerocephala</i>	菊科	75.0 ± 36.2	84.4 ± 48.2	—	—	—

3.2 不同阶段土壤种子库的生活型

石羊河中游沙漠化逆转不同阶段土壤种子库出现 1 年生草本、多年生草本和半灌木植物, 未见人工营造灌木植物花棒种子(表 2)。MS、5、15a 和 25a 土壤种子库物种组成均以 1 年生草本植物为主, 所占物种总数比例分别达到 60%、75%、85.7% 和 75%, 除 MS 外均大于对照 NV 的 63.6%; 多年生草本植物在 MS、5a 和 15a 土壤种子库中未出现, 在 25a 所占比例仅为 12.5%, 远低于对照 NV 的 36.4%; 而半灌木植物所占物种总数比例分别为 40%、25%、14.3% 和 12.5%, 随沙漠化逆转过程比例逐渐降低(图 1)。

3.3 不同阶段土壤种子库密度

在石羊河中游, 0—5cm 土壤种子库密度随沙漠化逆转过程先增加后降低, 其中 MS 土壤种子库密度最低, 仅为 84 粒/m², 占到封育恢复 5a、15a、25a 和对照 NV 的 33.8%、8.1%、26.5% 和 23.5%; 15a 的种子库密

度最大,达到 1038 粒/m²,是 MS、5、25a 和对照 NV 的 12.3 倍、4.2 倍、3.3 倍和 2.9 倍。5—10cm 土壤种子库密度随沙漠化逆转过程先降低后增加,其中流动沙丘 MS 达到 56 粒/m²,15a 仅为 9 粒/m²(图 2)。显然,沙漠化逆转过程土壤种子库主要分布于表层,MS、5、15、25a 和对照 NV 0—5cm 土壤种子分别占到总种子数的 60.0%、90.9%、99.1%、94.4% 和 90.6%(图 3)。

3.4 不同阶段土壤种子库的物种多样性

在石羊河中游,土壤种子库的 Simpson、Shannon 和 Pielou 均匀度指数均随沙漠化逆转过程呈现先增大后降低的变化规律,以 5a 最高(表 3)。MS、5、15a、25a 土壤种子库的 Simpson、Shannon 和 Pielou 均匀度指数均低于对照 NV,其中 25a 土壤种子库 Simpson、Shannon 和 Pielou 均匀度指数分别达到对照 NV 的 64.4%、57.3% 和 68.5%,与地带性植被间存在较大差距。

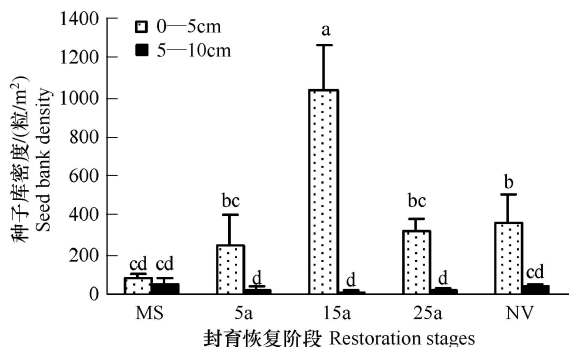


图 2 沙漠化逆转不同阶段土壤种子库密度

Fig.2 Seed bank density at the different stages in the reversion process of desertification

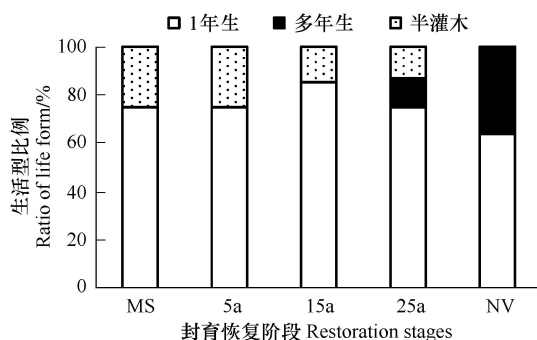


图 1 沙漠化逆转不同阶段土壤种子库生活型谱

Fig.1 Life form spectrum of soil seed bank in the reversion process of desertification

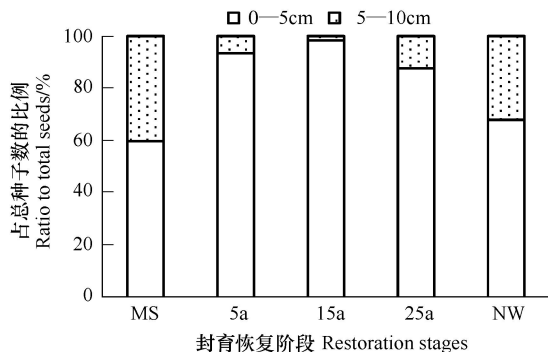


图 3 沙漠化逆转不同阶段土壤种子库的垂直分布

Fig.3 Vertical distribution of soil seed bank at the different stages in the reversion process of desertification

表 3 沙漠化逆转不同阶段土壤种子库的物种多样性

Table 3 Species diversity of soil seed bank at the different stages in the reversion process of desertification

恢复阶段 Restoration stages	种子数 /(粒/m ²) Seed number	Simpson 多样性指数 Simpson diversity index	Shannon 多样性指数 Shannon diversity index	Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index
流动沙丘 Mobile sand dune (MS)	141	0.557	1.335	0.667
封育恢复 5a 沙化土地 Desertified land closed for 5 years	275	0.757	2.288	0.763
封育恢复 15a 沙化土地 Desertified land closed for 15 years	1047	0.676	1.892	0.674
封育恢复 25a 沙化土地 Desertified land closed for 25 years	338	0.532	1.659	0.553
地带性植被区 Native vegetation site (NV)	397	0.826	2.893	0.807

3.5 不同阶段土壤种子库的相似性

在石羊河中游,MS 与封育恢复 5a、15a 和 25a 的土壤种子库相似性系数随沙漠化逆转过程逐渐降低,其中 MS 与 5a 的土壤种子库相似性系数达到 0.50,与 15a 的土壤种子库相似性系数达到 0.38,与 25a 的土壤种子库相似性系数仅达到 0.2(图 4A)。封育恢复 5a 与 15a 的土壤种子库相似性系数在沙漠化逆转过程中最

高,达到 0.88;与 MS 的土壤种子库相似性系数次之,与 25a 的土壤种子库相似性系数仅达到 0.33(图 4B)。15a 与 5a 的土壤种子库相似性系数达到 0.88,与 25a 的土壤种子库相似性系数仅达到 0.36(图 4C)。25a 与 MS、5a、15a 的土壤种子库相似性系数随沙漠化逆转过程逐渐增大(图 4D)。显然,在石羊河中游,相邻沙漠化逆转阶段的土壤种子库相似性较高,而且表现出相邻间隔时间越短相似性越高的趋势。同时,沙漠化土地与对照地带性植被的土壤种子库相似性随沙漠化逆转过程逐渐增大,其中沙漠化逆转初始阶段流动沙丘与对照地带性植被的土壤种子库相似性系数仅为 0.15,而恢复 25 年沙漠化土地与对照地带性植被的土壤种子库相似性系数也仅达到 0.36,说明沙漠化土地的土壤种子库也逐渐向地带性植被的土壤种子库演变,而且这种演变过程是一个相对漫长的过程(图 4E)。

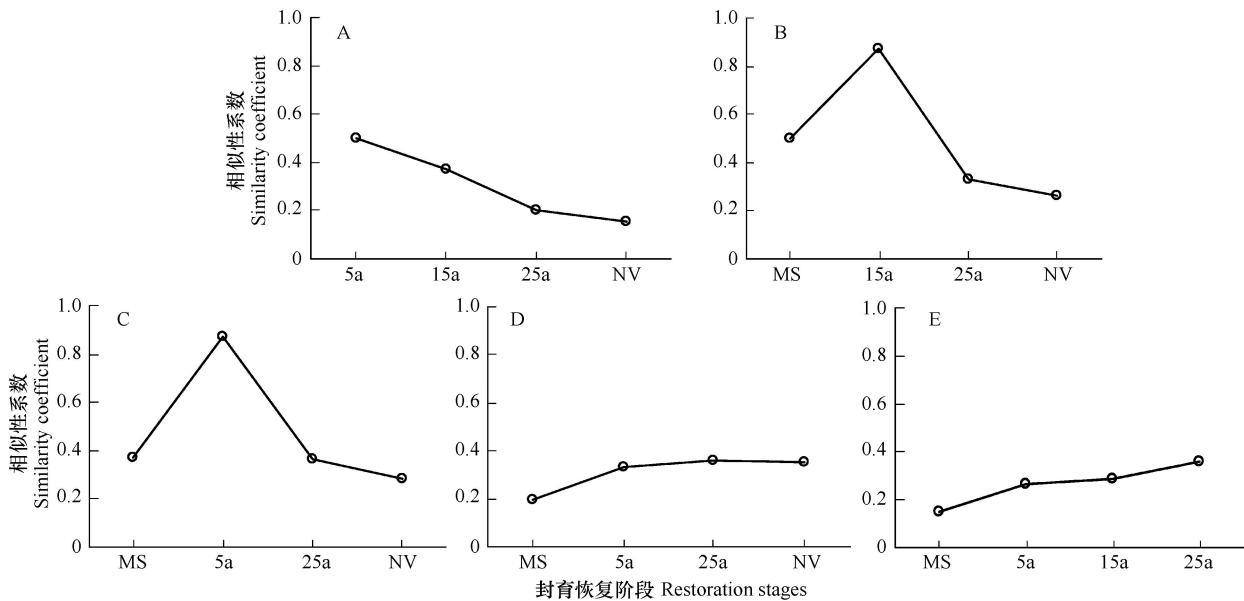


图 4 沙漠化逆转不同阶段土壤种子库的相似性系数变化

Fig. 4 Changes of similarity coefficient of soil seed bank between the different stages in the reversion process of desertification

3.6 不同阶段土壤种子库与地上植被的关系

在石羊河中游,沙漠化土地土壤种子库与地上植被的共有物种数随沙漠化逆转过程呈增加趋势(图 5)。其中,MS 仅有 2 种,占土壤种子库物种数的 50.0%,占地上植被物种数的 66.7%;5a 达到 6 种,占种子库物种数的 75.0%,占地上植被物种数的 66.7%;15a 达到 6 种,占土壤种子库物种数的 85.7%,占地上植被物种数的 60.0%;25a 达到 7 种,占种子库物种数的 87.5%,占地上植被物种数的 70.0%;而对照 NV 达到 8 种,占种子库物种数的 80.0%,占地上植被物种数的 53.3%。显然,沙漠化逆转不同阶段土壤种子库与地上植被的共有物种数占土壤种子库、地上植被物种总数的比例均超过了 50%。而且,沙漠化土地土壤种子库与地上植被共有物种数所占物种总数的比例随沙漠化逆转过程也呈现增大趋势(图 6)。

在石羊河中游,沙漠化土地土壤种子库与地上植被的相似性系数随沙漠化逆转过程先增大后减小,其中 MS 相似性系数最低(0.40),15a 相似性系数最高(0.60),5a、15a 及对照 NV 的相似性系数十分接近(图 6)。

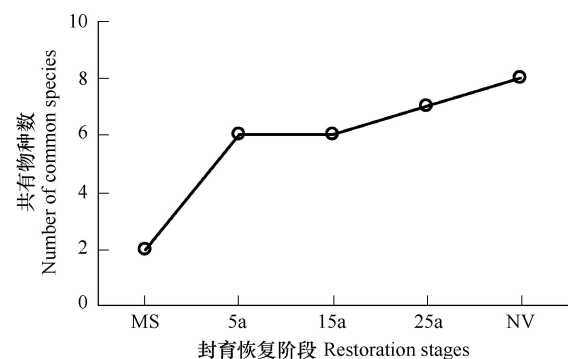


图 5 沙漠化逆转不同阶段土壤种子库与地上植被的共有物种数
Fig. 5 Number of common species between soil seed bank and standing vegetation at the different stages in the reversion process of desertification

在 25a 的沙漠化逆转过程中,土壤种子库中并无多年生草本植物沙芦草种子,而在 MS 和 5a 地上植被中存在沙芦草;1 年生植物画眉草、狗尾草种子在沙漠化逆转不同阶段均存在,而在 MS 和 5a 地上植被中并未出现,尽管它们难于在流动沙丘上生长繁衍,但是种子已经成功侵入;沙米种子数随沙漠化逆转过程明显减少,但是为其它 1 年生植物以及油蒿种群的侵入和扩展创造了良好条件,加快了荒漠植被恢复及沙漠化土地生态恢复的进程。

4 讨论

石羊河中游沙漠化土地平均土壤种子库密度总体高于干旱、极端干旱地区沙漠,低于半干旱、半湿润地区沙漠^[7,10,12,18-19]。与沙坡头、科尔沁沙漠地区相比^[7,9],该区域不同逆转阶段沙漠化土地土壤种子库组成简单,种子库密度低、多样性指数和相似性系数相对较低,但与典型干旱、极端干旱区的研究结论相似^[4,10,20],认为与其地上植被群落组成单一和种子植物相对较少密切相关,但根本上还是干旱环境以及恶劣土壤生境影响的结果。

在石羊河中游,半固定、固定沙漠化土地与对照地带性植被区 90% 以上种子分布于表层 0—5cm,而初始阶段流动沙丘只有 60% 的土壤种子分布于表层 0—5cm,该结果证明沙漠生境土壤种子库垂直分布规律十分明显,与其他区域的研究结论一致^[21-22]。土壤种子库的垂直分布受种子形状、种子大小、土壤质地、动物干扰以及风蚀沙埋等物理过程影响^[23],初始阶段流动沙丘 5—10cm 土壤分布较多种子(占总种子数的 40%),认为与流动沙丘的严重风蚀沙埋有关,风蚀沙埋可使种子埋藏于更深的土壤。

大量研究表明,土壤种子库组成、大小及其分布受种子自身因素种子大小、繁殖方式和外部因素水分、地形、风速、动物与昆虫采食等的综合影响^[4,21,24-25]。在初始阶段流动沙丘与封育恢复 5a 沙漠化土地存在多年生草本植物沙芦草,而土壤种子库中并无沙芦草种子,认为与沙芦草繁衍依靠根茎营养繁殖有关。土壤水分是影响干旱地区植物萌发和生长的最主要因子,但沙漠化土地土壤水分随逆转过程呈先降低后增大趋势(表 1),与土壤种子库的变化趋势相反,也证明了土壤水分含量并不影响种子的散布密度^[22,26]。而昆虫的寄生取食与鸟类的取食减少了种子数量,降低种子活力或质量^[27],使得石羊河中游沙漠化逆转过程地上植被存在灌木花棒、柠条,但土壤种子库中未出现灌木植物种子。另外,生物土壤结皮通过阻止种子进入土壤,改变降水的入渗及其再分配,影响土壤种子库组成与结构^[24,28]。在石羊河中游,采取人工辅助措施后,土壤结皮随沙漠化逆转过程逐渐增厚,滞留土壤水分于表层土壤,限制了深根系灌木花棒、柠条以及草本沙米、沙芦草等植物的发展,促进了浅根系半灌木油蒿和草本植物的发展。

5 结论

5.1 石羊河中游沙漠化土地土壤种子库共出现 4 科 12 种植物,土壤种子库种类组成相对简单,种子库密度、多样性指数和相似性系数相对较低。

5.2 石羊河中游沙漠化土地土壤种子主要分布于表层 0—5cm,该层土壤种子库密度随沙漠化逆转过程先增加后降低;5—10cm 土壤种子库密度随沙漠化逆转过程逐渐降低。

5.3 伴随沙漠化逆转过程,石羊河中游沙漠化土地土壤种子库物种数趋于增加,1 年生草本植物占优势逐渐向多年生草本植物和灌木植物转变;种子库密度、表层种子库比例、物种多样性指数呈现先增大后降低趋势。

5.4 石羊河中游沙漠化逆转过程中,沙漠化土地生态恢复间隔的时间越长,土壤种子库间的相似性程度越低;而且沙漠化土地与对照地带性植被土壤种子库间的相似性随逆转过程逐渐增大,但是恢复 25a 沙漠化土地也仅达到 0.36,证明沙漠化逆转过程也是沙漠化土地土壤种子库向地带性植被土壤种子库演变的过程,而

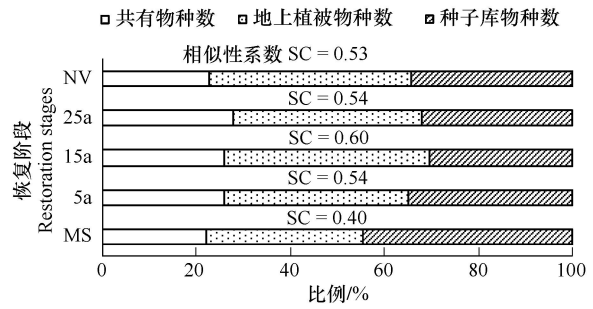


图 6 沙漠化逆转不同阶段土壤种子库与现有地上植被的关系

Fig. 6 Relationship between the standing vegetation and soil seed bank at the different stages in the reversion process of desertification

且是一个十分缓慢的过程。

致谢:感谢中国科学院寒区旱区环境与工程研究所刘立超研究员、GEF 项目办王耀林经理与甘肃省治沙研究所刘虎俊研究员对本文写作的帮助。

References:

- [1] Roberts H A. Seed bank in soils. *Advances in Applied Biology*, 1981, 6: 1-55.
- [2] Milberg P, Hansson M L. Soil seed bank and species turnover in a limestone grassland. *Journal of Vegetation Sciences*, 1993, 4: 35-42.
- [3] Yu S L, Jiang G M. The research development of soil seed bank and several hot topics. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(4): 552-560.
- [4] Li Q Y, Zhao W Z. Advances in the soil seed bank of arid regions. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(3): 350-358.
- [5] Clark D L, Wilson M V. Heat-treatment effects on seed bank species of an old-growth Douglas fir forest. *Northwest Science*, 1994, 68: 1-5.
- [6] Leck M A, Simpson R L. Effect of oil on recruitment from the seed bank of two tidal freshwater wetlands. *Wetlands Ecology and Management*, 1992, 1: 223-231.
- [7] Zhao L Y, Li F R, Zhang H, Wang X Z. Characteristics of the soil seed bank at the fenced sandy meadow in Horqin sandy land. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(2): 45-49.
- [8] Pagea M J, Baxtera G S, Lisleb A T. Evaluating the adequacy of sampling germinable soil seed banks in semi-arid systems. *Journal of Arid Environments*, 2006, 64: 323-341.
- [9] Wang G, Liang X G. The dynamics of seed bank on Shapotou artificially stabilized dunes. *Acta Botanica Sinica*, 1995, 37(3): 231-237.
- [10] Zeng Y J, Wang Y R, Nan Z B, Wei D, Chen S K, Li B E. Soil seed banks of different grassland types of Alaskans arid desert region, Inner Mongolia. *Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(9): 1457-1463.
- [11] Ma J, Vonlanthen B, Bruelheide H, Yang Z Y, Li L, Wang C L, Zhang X M. Basic characteristics of soil seed bank in Celei desert-oasis transitional zone. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2007, 30(3): 53-59.
- [12] Wang Z R, Xu H L, Yin L K, Li J M, Zhang Z J, Li Y. Characteristics of soil seed bank along desertification gradient in lower reaches of Tarim River. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(5): 885-889.
- [13] Ma J Z, Gao Q Z. Water resources system and eco-environmental problems in the inland river basin of arid northwest China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1997, 11(4): 15-21.
- [14] Wang J H, Ma Q L, Liu H J, Yang Z H, Zhang D K. Effect of wind-breaking and sand-fixing of vegetation in progressive succession on desertification land in arid area. *Journal of Desert Research*, 2006, 26(6): 903-909.
- [15] Ma K P, Liu Y M. Measurement methods of biodiversity I. Measurement methods of a-diversity (II). *Chinese Biodiversity*, 1994, 2(4): 231-239.
- [16] Zhou X Y, Huang Z L, Ouyang X J, Li J, Guan L L, Xu G L, Zhang C. Succession of the original *Castanopsis chinensis*-*Cryptocarya chinensis*-*Shima superba* community of monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(1): 37-44.
- [17] Yang W K, Zhang D Y, Yin L K, Zhang L Y. Distribution and cluster analysis on the similarity of the *Tamarix* communities in Xinjiang. *Arid Zone Research*, 2002, 19(3): 6-11.
- [18] Shen Y X, Zhao C Y. Soil seed bank research in China: Present status, progress and challenges. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(2): 467-473.
- [19] López R P. Soil seed banks in the semi-arid Prepuna of Bolivia. *Plant Ecology*, 2003, 168: 85-92.
- [20] Li J M, Xu H L, Zhang Z J, Ye M, Wang Z R, Li Y. The characteristics of soil seed bank and standing vegetation in differently degraded areas in the lower reaches of Tarim River. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3626-3636.
- [21] Guo Q F, Rundel P W, Goodall D W. Horizontal and vertical distribution of desert seed banks: Patterns, causes, and implications. *Journal of Arid Environments*, 1998, 38: 465-478.
- [22] Yan Q L, Liu Z M, Zhu J J, Luo Y M, Wang H M, Jiang D M. Structure, pattern and mechanisms of formation of seed banks in banks in sand dune systems in northeastern Inner Mongolia, China. *Plant and Soil*, 2005, 277: 175-184.
- [23] Li Q Y, Fang H Y. Study on soil seed bank of *Nitraria sphaerocarpa* coppice dune in a desert-oasis marginal zone. *Arid Zone Research*, 2008, 25(4): 502-506.
- [24] Li X R, Ma F Y, Xiao H L, Wang X P, Ke Chung Kim. Long-term effects of revegetation on soil water content of sand dunes in arid region of northern China. *Journal of Arid Environments*, 2004, 57: 1-16.
- [25] Thompson K, Band S R, Hodgson J G. Seed size and shape predict persistence in soil. *Functional Ecology*, 1993, 7: 236-241.
- [26] Lortie C J, Turkington R. The effect of initial seed density on the structure of a desert annual plant community. *Journal of Ecology*, 2002, 90: 435-

445.

- [27] Chen Y W, Li X R, Zhang J G, Tan H J, Zhang Z S, Jia X H. Insect infestation and its effect on seed fate of *Caragana korshinskii*. *Journal Desert Research*, 2006, 26(6): 1015-1019.
- [28] Su Y G, LI X R, Zhang J G, Yang L W. Effects of biological soil crusts on seed bank. *Journal of Desert Research*, 2006, 26(6): 997-1001.

参考文献:

- [3] 于顺利, 蒋高明. 土壤种子库的研究进展及若干研究热点. *植物生态学报*, 2003, 27(4): 552-560.
- [4] 李秋艳, 赵文智. 干旱区土壤种子库的研究进展. *地球科学进展*, 2005, 20(3): 350-358.
- [7] 赵丽娅, 李锋瑞, 张华, 王先之. 科尔沁沙地围封沙质草甸土壤种子库特征的研究. *生态学杂志*, 2004, 23(2): 45-49.
- [9] 王刚, 梁学功. 沙坡头人工固沙区的种子库动态. *植物学报*, 1995, 37(3): 231-237.
- [10] 曾彦军, 王彦荣, 南志标, 卫东, 陈善科, 李保尔. 阿拉善干旱荒漠区不同植被类型土壤种子库研究. *应用生态学报*, 2003, 14(9): 1457-1463.
- [11] 马坚, Beatrice Vonlanthen, Helge Bruelheide, 杨远昭, 李利, 王纯利, 张希明. 策勒沙漠-绿洲过渡带土壤种子库的基本特征. *新疆农业大学学报*, 2007, 30(3): 53-59.
- [12] 王增如, 徐海量, 尹林克, 李吉玫, 张占江, 李媛. 塔里木河下游荒漠化过程土壤种子库特征. *中国沙漠*, 2009, 29(5): 885-889.
- [13] 马金珠, 高前兆. 西北干旱区内陆河流域水资源系统与生态环境问题. *干旱区资源与环境*, 1997, 11(4): 15-21.
- [14] 王继和, 马全林, 刘虎俊, 杨自辉, 张德奎. 干旱区沙漠化土地逆转植被的防风固沙效益研究. *中国沙漠*, 2006, 26(6): 903-909.
- [15] 马克平, 刘玉明. 生物多样性的测度方法 I a 多样性的测度方法(下). *生物多样性*, 1994, 2(4): 231-239.
- [16] 周小勇, 黄忠良, 欧阳学军, 李炯, 官丽莉, 徐国良, 张池. 鼎湖山季风常绿阔叶林原锥栗-厚壳桂-荷木群落演替. *生态学报*, 2005, 25(1): 37-44.
- [17] 杨维康, 张道远, 尹林克, 张立运. 新疆怪柳属植物(*Tamarix* L.)的分布与群落相似性聚类分析. *干旱区研究*, 2002, 19(3): 6-11.
- [18] 沈有信, 赵春燕. 中国土壤种子库研究进展与挑战. *应用生态学报*, 2009, 20(2): 467-473.
- [20] 李吉玫, 徐海量, 张占江, 叶茂, 王增如, 李媛. 塔里木河下游不同退化区地表植被和土壤种子库特征. *生态学报*, 2008, 28(8): 3626-3636.
- [23] 李秋艳, 方海燕. 荒漠绿洲边缘区泡泡刺灌丛土壤种子库研究. *干旱区研究*, 2008, 25(4): 502-506.
- [27] 陈应武, 李新荣, 张景光, 谭会娟, 张志山, 贾晓红. 昆虫寄生对柠条种子命运的影响. *中国沙漠*, 2006, 26(6): 1015-1019.
- [28] 苏延桂, 李新荣, 张景光, 杨丽雯. 生物土壤结皮对土壤种子库的影响. *中国沙漠*, 2006, 26(6): 997-1001.

CONTENTS

Short-term effects of temperature enhancement on community structure and biomass of alpine meadow in the Qinghai-Tibet Plateau ... LI Na, WANG Genxu, YANG Yan, et al (895)

Effects of submergence on seed germination of nine annual plant species in the Three Gorges Reservoir region and their implication to vegetation restoration ... TAO Min, BAO Dachuan, JIANG Mingxi (906)

Temporal-spatial niches of Chinese White Wax Scale insect (*Ericerus pela*) and its three dominant parasitoid wasps ... WANG Zili, CHEN Yong, CHEN Xiaoming, et al (914)

Species diversity of carabid beetles in desert-steppe in Yanchi of Ningxia, China ... HE Qi, WANG Xinpu, YANG Guijun (923)

Identification of trophic relationships between marine algae and the copepod *Calanus sinicus* in a fatty acid approach ... LIU Mengtan, LI Chaolun, SUN Song (933)

Community structure of macrozoobenthos in Caizi Lake, China ... XU Xiaoyu, ZHOU Lizhi, ZHU Wenzhong, et al (943)

The community distribution pattern of intertidal macrozoobenthos and the responses to human activities in Yueqing Bay ... PENG Xin, XIE Qilang, CHEN Shaobo, et al (954)

The effects of jellyfish (*Rhopilema esculentum* Kishinouye) farming on the sediment nutrients and macrobenthic community ... FENG Jianxiang, DONG Shuanglin, GAO Qinfeng, et al (964)

Diurnal activity rhythm and time budgets of the Dwarf Blue Sheep (*Pseudois schaeferi*) in Zhubalong Nature Reserve ... LIU Guoku, ZHOU Caiquan, YANG Zhisong, et al (972)

Comparison of leaf, height and seed functional traits of species in dry-hot valleys ... ZHENG Zhixing, SUN Zhenhua, ZHANG Zhiming, et al (982)

Dynamics of soil seed banks in the reversion process of desertification in the middle reaches of the Shiyang River ... MA Quanlin, ZHANG Dekui, LIU Youjun, et al (989)

Modelling the spatial distribution of forest carbon stocks with artificial neural network based on TM images and forest inventory data ... WANG Shaohua, ZHANG Maozhen, ZHAO Pingan, et al (998)

The GIS-based visual landscape evaluation in mountain area: a case study of Mount Nan-kun National Forest Park, Guangdong Province ... QIU Yishu, GAO Jun, ZHAN Qilin (1009)

A functional classification method for examining landscape pattern of urban wetland park: a case study on Xixi Wetland Park, China ... LI Yufeng, LIU Hongyu, ZHENG Nan, et al (1021)

Effects of AM fungi on the growth and drought resistance of *Seriphidium minchinense* under water stress ... HE Xueli, GAO Lu, ZHAO Lili (1029)

Modeled impact of irrigation on regional climate in India ... MAO Huiqin, YAN Xiaodong, XIONG Zhe, et al (1038)

The responses of photosynthetic energy use in wheat flag leaves to nitrogen application rates and light density under elevated atmospheric CO₂ concentration ... ZHANG Xucheng, YU Xianfeng, MA Yifan, et al (1046)

Enhanced drought and photooxidation tolerance of transgenic tobacco plants overexpressing pea catalase in chloroplasts ... WANG Fengde, YI Yanjun, WANG Haiqing, et al (1058)

Evaluation of wheat freezing resistance based on the responses of the physiological indices to low temperature stress ... WANG Shugang, WANG Zhenlin, WANG Ping, et al (1064)

Predicting winter wheat growth based on integrating remote sensing and crop growth modeling techniques ... HUANG Yan, ZHU Yan, WANG Hang, et al (1073)

Effects of spraying ABA on bleeding intensity in neck-panicle node, spike traits and grain yields of two different panicle-type winter wheat ... CUI Zhiqing, YIN Yanping, TIAN Qizhuo, et al (1085)

Nitrogen and phosphorus cycling from rice-duck mutual ecosystem during late rice growth season ... ZHANG Fan, SUI Peng, CHEN Yuanquan, et al (1093)

Initial exploration of the ecological costs of food production in the hilly red soil region of Southern China ... LI Xiao, XIE Yongsheng, ZHANG Yinglong, et al (1101)

Optimization strategy and management decision-making in balancing forage and livestock in Gannan pastoral area ... LIANG Tiangang, FENG Qisheng, XIA Wentao, et al (1111)

Species-area relationship in travertine area in Huanglong valley, Sichuan ... HUANG Baoqiang, LUO Yibo, AN Dejun, et al (1124)

Influencing factors of fine root lifespans in two Chinese fir plantations in subtropical China ... LING Hua, YUAN Yiding, YANG Zhijie, et al (1130)

Age structure effects on stand biomass and carbon storage distribution of *Larix olgensis* plantation ... JU Wenzhen, WANG Xinjie, WANG Xinjie (1139)

Effects on controlling banana Fusarium wilt by bio-fertilizer, chitosan, hymexazol and their combinations ... ZHANG Zhihong, PENG Guixiang, LI Huaxing, et al (1149)

Seasonal dynamics of culturable bacterium numbers in freshwater bodies of different water quality in Beijing ... GAO Cheng, HUANG Manrong, TAO Shuang, et al (1157)

Review and Monograph

On the coordinated regulation of forest transpiration by hydraulic conductance and canopy stomatal conductance ... ZHAO Ping (1164)

Impacts of plant parasitism on structure and function of ecosystems ... LI Junmin, DONG Ming (1174)

Invasion mechanisms of *Solidago canadensis* L.: a review ... YANG Ruyi, ZAN Shuting, TANG Jianjun, et al (1185)

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 4 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 4 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@cspg.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 京海工商广字第 8013 号

许 可 证

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

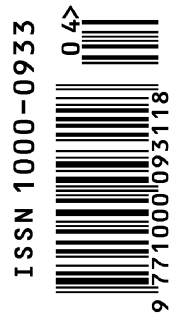
Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

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@cspg.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