

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第13期 Vol.32 No.13 **2012**

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



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 32 卷 第 13 期 2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

砂质潮间带自由生活海洋线虫对缺氧的响应——微型受控生态系研究.....	华 尔, 李 佳, 董 洁, 等 (3975)
植物种群自疏过程中构件生物量与密度的关系	黎 磊, 周道玮, 盛连喜 (3987)
基于景观感知敏感度的生态旅游地观光线路自动选址.....	李继峰, 李仁杰 (3998)
基于能值的沼气农业生态系统可持续发展水平综合评价——以恭城县为例.....	杨 谨, 陈 彬, 刘耕源 (4007)
内蒙古荒漠草原植被盖度的空间异质性动态分析.....	颜 亮, 周广胜, 张 峰, 等 (4017)
典型草地的土壤保持价值流量过程比较.....	裴 厦, 谢高地, 李士美, 等 (4025)
长沙市区马尾松人工林生态系统碳储量及其空间分布.....	巫 涛, 彭重华, 田大伦, 等 (4034)
厦门市七种药用植物根围 AM 真菌的侵染率和多样性	姜 攀, 王明元 (4043)
Cd、低 Pb/Cd 下冬小麦幼苗根系分泌物酚酸、糖类及与根际土壤微生物活性的关系	贾 夏, 董岁明, 周春娟 (4052)
凉水保护区土壤产类漆酶-多铜氧化酶细菌群落结构	赵 丹, 谷惠琦, 崔岱宗, 等 (4062)
盐渍化土壤根际微生物群落及土壤因子对 AM 真菌的影响.....	卢鑫萍, 杜 茜, 闫永利, 等 (4071)
菌丝室接种解磷细菌 <i>Bacillus megaterium</i> C4 对土壤有机磷矿化和植物吸收的影响.....	张 林, 丁效东, 王 菲, 等 (4079)
闽江河口不同河段芦苇湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征.....	王维奇, 王 纯, 曾从盛, 等 (4087)
高山森林三种细根分解初期微生物生物量动态.....	武志超, 吴福忠, 杨万勤, 等 (4094)
模拟降水对古尔班通古特沙漠生物结皮表观土壤碳通量的影响	吴 林, 苏延桂, 张元明 (4103)
铁皮石斛组培苗移栽驯化过程中叶片光合特性、超微结构及根系活力的变化	濮晓珍, 尹春英, 周晓波, 等 (4114)
不同产量水平旱地冬小麦品种干物质累积和转移的差异分析.....	周 玲, 王朝辉, 李富翠, 等 (4123)
基于作物模型的低温冷害对我国东北三省玉米产量影响评估.....	张建平, 王春乙, 赵艳霞, 等 (4132)
黄土高原 1961—2009 年参考作物蒸散量的时空变异.....	李 志 (4139)
莫莫格湿地芦苇对水盐变化的生理生态响应.....	邓春暖, 章光新, 李红艳, 等 (4146)
不同蚯蚓采样方法对比研究.....	范如芹, 张晓平, 梁爱珍, 等 (4154)
亚洲玉米螟成虫寿命与繁殖力的地理差异.....	涂小云, 陈元生, 夏勤雯, 等 (4160)
黑河上游天然草地蝗虫空间异质性与分布格局.....	赵成章, 李丽丽, 王大为, 等 (4166)
苦瓜叶乙酸乙酯提取物对斜纹夜蛾实验种群的抑制作用.....	骆 颖, 凌 冰, 谢杰峰, 等 (4173)
长江口中国花鲈食性分析.....	洪巧巧, 庄 平, 杨 刚, 等 (4181)
基于线粒体控制区序列的黄河上游厚唇裸重唇鱼种群遗传结构.....	苏军虎, 张艳萍, 娄忠玉, 等 (4191)
镉暴露对黑斑蛙精巢 ROS 的诱导及其蛋白质氧化损伤作用机理	曹 慧, 施蔡雷, 贾秀英 (4199)
北方草地牛粪中金龟子的多样性.....	樊三龙, 方 红, 高传部, 等 (4207)
合肥秋冬季茶园天敌对假眼小绿叶蝉和茶蚜的空间跟随关系.....	杨 林, 郭 骅, 毕守东, 等 (4215)
植被、海拔、人为干扰对大中型野生动物分布的影响——以九寨沟自然保护区为例.....	张 跃, 雷开明, 张语克, 等 (4228)
基于社会网络分析法的生态工业园典型案例研究.....	杨丽花, 佟连军 (4236)
基于生命周期的户用沼气系统可用能核算——以广西恭城瑶族自治县为例.....	齐 静, 陈 彬, 戴 婧, 等 (4246)
专论与综述	
水文情势与盐分变化对湿地植被的影响研究综述	章光新 (4254)
松嫩碱化草甸土壤种子库格局、动态研究进展	马红媛, 梁正伟, 吕丙盛, 等 (4261)
一种新的景观扩张指数的定义与实现	武鹏飞, 周德民, 官辉力 (4270)
研究简报	
华山新麦草光合特性对干旱胁迫的响应.....	李 倩, 王 明, 王雯雯, 等 (4278)
美丽海绵提取物防污损作用	曹文浩, 严 涛, 刘永宏, 等 (4285)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-07



封面图说: 涵养水源——在长白山南坡的峭壁上, 生长在坡面上的森林所涵养的水源还在汨汨地往下流个不停, 深红色的落叶掉在了苔藓上, 这里已经是长白山的深秋了。虽然雨季已经过去了很久, 但是林下厚厚的枯枝落叶层、腐殖质层、苔藓草本层所涵养的水分还在不间断地流淌, 细细的水线在壁下汇成了溪、汇成了河。涵养水源是森林的主要生态功能之一。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201106180833

马红媛, 梁正伟, 吕丙盛, 杨昊谕, 王淑红. 松嫩碱化草甸土壤种子库格局、动态研究进展. 生态学报, 2012, 32(13): 4261-4269.

Ma H Y, Liang Z W, Lü B S, Yang H Y, Wang S H. Advances in research on the seed bank of a saline-alkali meadow in the Songnen Plain. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(13): 4261-4269.

松嫩碱化草甸土壤种子库格局、动态研究进展

马红媛^{1,2}, 梁正伟^{1,2,*}, 吕丙盛^{1,2}, 杨昊谕^{1,2}, 王淑红³

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; 2. 中国大安碱地生态试验站, 吉林大安 131317;
3. 临邑县农业局, 山东临邑 251500)

摘要: 草地退化是全球干旱和半干旱草地生态系统的共同特征, 由于土壤种子库在植被恢复和生物多样性维持等方面的重要作用, 已成为研究热点。作为重要的脆弱生态系统, 松嫩碱化草甸在人类活动和全球变化影响下发生了明显退化。松嫩碱化草甸土壤种子库研究始于 20 世纪 90 年代, 主要集中在对虎尾草群落、星星草群落、碱蓬群落、羊草群落等不同演替阶段土壤种子库物种种类、密度、季节变化研究; 该地区土壤种子库的物种数目随着恢复演替由初级向高级阶段而呈现逐渐增加的趋势, 但物种数目均相对较少, 且多以 1 年生为主。另外对种子雨和某些物种种子散布动态也有零星报道, 主要是从群落水平进行的研究, 种子雨的空间异质性表现在其组成和大小因群落而异。今后需要加强对松嫩碱化草甸土壤种子库格局与关键生境要素的耦合特征、种子库分布格局的形成机制等研究, 研究方法上, 引入稳定同位素标记和分子遗传学等研究方法和手段, 开展持久种子库的长期定位监测研究, 为盐碱地植被恢复提供理论依据。

关键词: 土壤种子库; 休眠; 种子雨; 松嫩平原; 盐碱化; 温带草原

Advances in research on the seed bank of a saline-alkali meadow in the Songnen Plain

MA Hongyuan^{1,2}, LIANG Zhengwei^{1,2,*}, LÜ Bingsheng^{1,2}, YANG Haoyu^{1,2}, WANG Shuhong³

1 Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, 130012, China

2 Da'an Sodic Land Experiment Station of China, Jilin Da'an 131317 China

3 Linyi Agricultural Bureau, Shandong Linyi 251500, China

Abstract: Grassland degradation is common in arid and semi-arid areas of the world. The soil seed bank plays a critical role in vegetation restoration and biodiversity maintenance and has become a hot research topic. Due to human activities and global climate change, the Songnen meadow is being degraded by salinization, and about 90% of the *Leymus chinensis* vegetation has been degraded. This perennial grass was a high quality and useful species in this area before the 1960s. With the increase in degradation, i. e. increase in soil saline-alkalinity, secondary succession in this grassland began. In light saline-alkali areas, the dominant species is still *L. chinensis*. However, bare-soil patches occur in the most severe saline-alkali areas with high soil pH, in some of these patches *Suaeda glauca* grows only in the rainy season. In some moderate saline alkali areas, *Chloris virgata*, *Puccinellia tenuiflora*, *Kochia sieversiana* communities have appeared. The soil seed bank in the Songnen saline-alkali meadow has been investigated since the 1990s, with a focus on the floristics, seed density and seasonal dynamics in the succession stages of the *Chloris virgata*, *Puccinellia tenuiflora*, *Kochia sieversiana*, and *Aeluropus sinensis* communities and on the bare-soil saline-alkali patches. Seed rain and seed dispersal also have been

基金项目: 国家自然科学基金青年项目 (41001027); 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-359-2); 中国科学院重点部署项目 (KZZD-EW-TZ-07-08); 吉林大学工程仿生教育部重点实验室开放基金 (K201007)

收稿日期: 2011-06-18; 修订日期: 2011-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liangzw@neigae.ac.cn

investigated in several species. This paper summarizes these reports and points out problems that still exist. Researches on the following aspects of the ecology of this grassland should be increased in the future. Firstly, the mechanisms in the pattern of soil seed bank formation and the relationship between the seed bank pattern and the critical ecological environment factors such as soil salinity, soil pH, soil moisture, wind and so on should be investigated. Secondly, long-term monitoring of the persistent soil seed bank should be undertaken. Thirdly, some new technologies and methods should be introduced to help obtain more accurate and detailed research results on the soil seed bank.

Key Words: soil seed bank; dormancy; seed rain; Songnen plain; salinization; temperate steppe

土壤种子库是指存在于土壤上层凋落物和土壤中全部活的种子,是植物对胁迫环境适应机制和植被恢复演替研究的关键内容^[1-2];作为退化植被动态的重要组成部分^[3-4],直接影响着生态系统的复原能力^[5-6]。利用当地土壤种子库恢复植被是不损坏遗传区域性前提下恢复遗传多样性最有效的方法^[7]。土壤种子库成为生物地理学和种子生态学的重要研究领域^[8]。

在人类活动影响下,生物个体、群落、生态系统发生了不同层次的改变^[9],由此引起的土壤种子库的变化已经在国内外森林^[10-11]、温带草原^[12-15]、高寒草甸^[16-17]、沙地^[18-20]和湿地^[21-22]等生态系统的研究中得到证实,表明生态系统演替是土壤种子库特征变化的重要影响因子^[23]。尤其在干旱和半干旱区草地生态系统,在自然和人类活动双重影响下,发生了显著的退化演替,优良牧草被杂草或木本物种所替代,甚至变成光斑地^[3, 24-25]。

松嫩平原位于大陆性季风气候区半干旱地带,是我国著名的生态脆弱带、气候和环境变化的敏感带、农牧交错带,以温带草甸草原景观为典型特征。羊草是该地区原始优势植被,具有耐寒、耐旱、耐盐碱等优良特性,同时营养价值高,被称为国之瑰宝。然而自 20 个世纪 60 年代后,在人类过度放牧等不合理利用和全球变化的双重影响下,70% 的草地发生了不同程度盐碱化,且仍呈现增加趋势,随着盐碱化程度加重,草地群落出现了次生演替群落。在轻度盐碱化草甸仍然以羊草群落为主,而在土壤 pH 高的碱斑上,只有雨季生长碱蓬、碱地肤等 1 年生盐碱植物,碱斑边缘经常环形生长星星草、朝鲜碱茅、野大麦、碱蒿、西伯利亚蓼等多年生耐盐碱植物^[26]。出现了典型的羊草草甸→羊草+虎尾草→羊草+碱蓬→碱蓬→碱斑等退化演替规律,生态环境现状日趋恶化。近年来学者对松嫩平原不同退化演替阶段的土壤种子库进行了初步研究,本文对这些报道进行了总结归纳,并对未来该地区的土壤种子库研究工作进行了展望。

1 松嫩碱化草甸不同演替群落土壤种子库的密度及季节动态

土壤种子库中的每个物种或种群的种子都有时间和空间尺度,在空间上具有水平及垂直分布格局,反应了种子向土壤中的初始分布和以后的运动状况^[27],在时间上具有季节动态和年际变化,自然条件下种子库的时间动态受诸多生态因子的影响,包括植物生殖物候特性、成熟种子的散布、被捕食情况、土壤中的保存、萌发以及在适宜条件下长成幼苗等因素。对松嫩碱化草地土壤种子库研究始于 20 世纪 90 年代初,集中在对不同群落土壤种子库的组成和大小以及季节动态方面。

1.1 不同演替群落土壤种子库组成及密度

土壤种子库的组成和密度一直是该领域研究的基本内容,不同演替阶段土壤种子库的组成和密度存在差异,主要是因为土壤种子库是种子雨和种子小时之间的平衡,在演替初期,具有较高的种子密度主要是因为先锋物种种子输入量大且损失少^[23]。如在半自然草地或草甸群落中演替表现为物种的数目和种子库大小在初始演替阶段增加^[28],在沙丘土壤种子库密度大小顺序为:固定沙丘>固定沙丘丘间低地>流动沙丘丘间低地>流动沙丘^[29]。土壤种子库的组成和密度也会对地上植被有一定的影响,二者存在相似性和不相似性两种关系,主要与不同群落类型以及演替阶段等影响因子有关^[27]。

对松嫩碱化草甸不同单优盐生植物群落土壤种子库研究表明,松嫩平原碱化草甸星星草+羊草群落和星

星草群落物种数为 10—12 个,且均以星星草为主^[13]。对 6 个单优盐碱植物群落研究表明种子库数目:虎尾草群落>星星草群落>翅碱蓬群落>角碱蓬群落>漳毛群落>羊草群落,除了羊草群落外,其它 5 种群落优势种的种子数量均占有最大比率,一般又以 1 年生植物群落的为更大^[30]。对虎尾草群落、角碱蓬群落、翅碱蓬群落和碱地肤群落的土壤种子库的组成及其空间结构研究表明,种子库存量都很大 15480—63730/m²,但是物种数目很少,每个群落仅为 3—4 种^[31]。

在松嫩碱化草甸,土壤种子库研究结果表明,在演替初期种子库与地上植被存在较高的相似性;随着演替进程的增加,二者相似性降低。对虎尾草群落(演替初期)、星星草群落(演替中期)、星星草+羊草群落(演替后期)、羊草群落(演替顶级)四个恢复演替系列群落土壤种子库组成和密度研究表明,随着恢复演替进程增加,群落物种组成呈增加趋势,群落优势种在土壤种子库中所占比例呈现不同幅度的降低^[14],在演替顶级羊草群落中,土壤种子库物种数目最多为 11 种,但没有羊草种子^[32]。

松嫩碱化草甸不同演替群落土壤种子库组成及密度研究相对较多,研究均以不同群落作为演替的进程,缺乏对关键生境因素的考虑。因为不同群落的形成可能与微地形、盐碱程度等生境因子有关。

1.2 不同演替群落土壤种子库时间动态

土壤种子库时间动态研究对于了解土壤和植被动态、预测种子寿命和种子库类型划分具有重要意义。土壤种子库的组成和大小随时间呈现有规律的变化,尤其是其物种组成和数量具有季节动态^[27]。较多物种的种子散布后,在土壤中存留较短的时间就萌发,而另外一些物种的种子除有一部分萌发外,另有一部分仍留存在土壤中,处于休眠状态^[33]。在生长季开始前的种子库密度和物种丰富度总体上小于生长季结束前^[19-20]。不同种类植物的土壤种子库由于植物本身的生物学特性、传播方式和所处环境的影响而表现出不同的时间动态特征。除了季节变化,土壤种子库还有年际变化,主要受气候因子变化、植被演替以及结实周期性变化控制^[34]。

对松嫩平原碱化草甸土壤种子库的时间动态研究相对较少,且集中在季节变化方面。研究表明,星星草+羊草群落和星星草群落土壤种子库组成,在 4—9 月份,2 个群落的土壤种子库均以多年生草本植物为主,星星草+羊草群落共出现 12 种,而星星草群落为 10 种,并均以星星草占最大比例,分别为 66.8%—92.9% 和 75.3%—97.7%,种子库相似性系数在 6 月最大。星星草+羊草群落种子库密度在 7 月份最大,,星星草群落在 8 月最大;而 2 个群落的物种多样性指数和均匀度指数则分别在 7 月和 8 月最小^[13]。在温带草原,4、5、9 月是土壤种子库的稳定时期,大多数种子散布基本完成,下一个萌发季节还没有来临。6、7、8 月则是种子库活动时期,种子输出与输入正在进行,可见在种子库活动时期二者的种类组成相似性较大,其差异主要体现在休眠种子库^[13-14, 35]。以上研究看出对该区域土壤种子库年际变化研究少,缺乏长期定位研究。

2 土壤种子库的输入和输出动态

土壤种子库的动态主要取决于种子输入和输出两方面因素。种子输入主要来源于种子雨、外来种子的散布;输出主要包括种子萌发、二次扩散、被动物取食、生理死亡、微生物的侵蚀等。大量研究表明,新的种子作物由于疾病,衰老以及作为饲料等原因大部分被损失,只有小部分能够形成活的种子库种群^[36]。在种子成熟季节,种子脱落并散布在地上,并在植物周围形成散落图,在干旱地区,此过程受风,捕食,地上植被以及微地形的影响,这些因子在互作形成了物种时间和空间种子库格局^[5]。

2.1 种子雨组成和动态研究

种子雨是植物生命史动态过程中一个不可缺少的环节,与种子库关系密切,是土壤种子库的主要来源,决定着土壤种子库的物种组成和大小^[37-38]。由于生态系统之间和生态系统内部地上植被组成和地形、土壤养分等环境条件的差异,会引起种子雨组成和大小在空间分布上的不均一性;这种差异性将进一步引起种子库组成和格局的改变^[39]。但由于种子雨存在时间短暂性,与种子库研究相比对其研究相对较少。目前,研究内容主要集中在种子雨的物种组成、时间和空间动态、扩散距离和环境条件的影响等方面^[40];而对于种子雨和土壤种子库的关系及其机理研究较少,且生态系统类型上主要集中在森林生态系统^[41],而对草甸生态系统研

究相对比较薄弱。

对松嫩平原大针茅群落种子雨连续 7a 定位观测的结果表明,植物种类为 48 种,优势种大针茅的种子雨密度仅占各年度种子雨密度的 0.3%—0.3%,其优势地位主要依靠营养繁殖来加以维持^[42]。羊草群落的研究结果与之相似,为 340 粒/m²,占种子雨密度的 4.8%,种子与产量较低,主要与它们在自然界中以营养繁殖有关^[43]。何念鹏等^[44]和 Wu 等^[24]对该区次生盐碱斑种子流及其对生态恢复的意义进行了初步研究,表明在盐碱斑存在一定的种子流,但很难形成种子库。总体上对松嫩碱化草甸种子雨的研究大多集中于对单个种群、单个季节以及较短距离内,而较少考虑种子散落的生境条件、年季差异和种群内部以及种群之间的相互作用。长期定位研究碱化草甸不同演替阶段种子雨特征与土壤种子库的关系及其机制,有利于深入揭示种子雨与系统演替、种子雨与种子库格局关系及其机制研究。

2.2 种子的休眠和萌发特征

埋藏在土壤中的休眠种子是土壤种子库研究中最受关注的内容,因为这部分种子组成的土壤长久种子库,对植被的长效恢复更加重要^[27,45],也是植物对胁迫环境适应机制研究的关键内容^[46-48]。休眠和对环境的响应对种子库动态的影响至关重要^[49]。Baskin 和 Baskin^[46]对世界 15 植被区域类型 7351 个物种的休眠和非休眠种子的生物地理分布表明,休眠种子占 70.1%。种子萌发是土壤种子库输出的主要方式之一,受温度、土壤水分、光照、盐分等生态因子的影响,种子休眠与生态因子互作,产生低风险萌发策略,促进土壤种子库的形成^[49]。在盐碱胁迫生境下,盐分是种子萌发的决定性因子^[23, 50-51],随着土壤盐度增加,种子萌发数量减少,许多种子由于高盐及其低水势而进入休眠状态,甚至死亡^[52-54]。因此,理解种子休眠和萌发对环境条件的响应,对于揭示和预测物种的生态适应性非常重要^[2, 55]。

松嫩平原天然草地主要是羊草草地,但羊草种子具有深度的休眠特征。研究表明羊草种子休眠属于生理休眠,休眠的关键部位为胚乳和稃^[56],休眠时间长达 4—8a,可能会形成持久种子库。但目前虽然对松嫩草甸种子研究集中在羊草种子对盐碱胁迫、高 pH 胁迫、埋藏深度、光照、温度等生态因子的响应;对虎尾草、马唐、苜蓿、碱蓬、碱地肤等物种也有一定的研究。但以上研究还未直接与种子库的动态和组成直接相联系,需要加强地上种子生产、组成与种子库种子组成及动态间的关系研究。

2.3 土壤种子库格局和动态的影响因素

土壤种子库格局和动态受诸多因子的影响。首先是受地上植被的影响,Whipple 将土壤种子库与地上植被的关系分为:有种子,有植株;有种子,无植株;无种子,有植株;无植株,无种子 4 种情况,土壤种子库格局和动态与地上植被的关系因不同演替阶段而存在显著的差异^[57]。此外,种子产量与种子库格局直接相关,但种子通过水、风或动物的传播打破了这种格局^[58]。放牧、刈割和火烧等人为干扰也是引起土壤种子库变化的重要因子。因此,地上植被的结实特性、种子个体大小、种子的休眠和萌发特性、种子传播方式及传播到的土壤环境(微地形、温度、水分、盐分、pH 值等)。此外,人类干扰也是土壤种子库分布格局与动态的重要控制因素^[22]。

前人对松嫩碱化草甸土壤种子库动态研究除了对不同群落和不同演替阶段的土壤种子库物种组成和密度的时间变化动态之外,还对朝鲜碱茅、星星草、野大麦等 3 种优良盐生牧草种子的散布格局及其散布因子等进行了研究,表明散布格局主要受风向、风速、坡向和坡度等因子的影响^[59],但对盐碱等松嫩碱化草甸典型的生态因子的影响还未系统开展。

3 土壤种子库对松嫩碱化草甸植被恢复的潜力

尽管地下土壤种子库与地上植被并非总有较高的相关性,但土壤种子库仍是植被恢复和植物就地保护重要手段和有效措施^[3, 60-61]。例如,在中国浑善达克沙地,通过自然土壤种子库进行植被恢复效果比空播方法更为安全和有效,多数退化的沙地能够在 3—5a 内得到恢复,这种“自然力恢复论”已经逐步成为国家生态治理的主流模式^[6]。而在一些干旱和半干旱草地或许在围栏多年之后也不能够得到恢复^[61],种子库对植被的恢复作用取决于近 10 年放牧的程度及干旱的时间,在降雨相对较少的地区,利用种子库快速恢复植被是不

可能的^[62]。对于盐碱退化区的植被恢复,植物物种的演替依赖于其种子在高盐碱度土壤中的持留时间和在盐碱胁迫减弱时的萌发能力。研究表明几乎所有盐生植物种子的萌发都对土壤盐碱程度极度的敏感,最大萌发率都出现在没有盐碱胁迫的环境下。盐碱度的增加能够减少种子的萌发率,推迟种子萌发的起始时间,导致种子萌发进程的整体延迟,过剩的盐能够降低幼苗从土壤中吸收水分的能力,导致幼苗的萎蔫和最终死亡^[62-63],从而影响通过种子库恢复植被的进程。

由于过度利用,松嫩草地退化和盐渍化加重,次生光碱斑已广泛分布,已经有 1/3 的草地碱斑大面积连片,沦为弃地^[59]。围栏封育是对退化草地恢复的简单易行的措施,经过长期围栏禁牧可恢复其土壤种子库物种组成和种子库规模^[15]。在次生盐碱光斑地区,通过扦插玉米秸秆截留植物种子,提高了土壤种子库,为植被恢复提供了必需的种源,使被截留的植物种子得以顺利定居、生长^[44]。通过打破羊草种子休眠进行育苗,成苗后进行羊草移栽技术,使羊草植被在重度盐碱地得以建植和恢复,实现无需经过碱蓬、虎尾草等恢复演替阶段,直接实现了跨越式恢复顶级植被的目的,也是利用人工埋藏种子库进行植被恢复的效果和典型案例^[64]。但总体而言,对于松嫩碱化草甸退化对土壤种子库植被恢复以及这一敏感生态系统的复原力研究尚需深入系统进行。

3 存在的问题及研究展望

对松嫩碱化草甸地区土壤种子库的研究还处于起步阶段,主要以土壤种子库种子物种组成和密度(或大小)的调查为主,且研究时间相对较短。对不同演替阶段土壤种子库的时空格局与动态、原始优势建群物种羊草种子休眠和萌发对盐碱程度与胁迫时间的响应、土壤种子库演替与环境因子的定量关系以及种子库对群落未来演替方向和恢复潜力评价等研究还未开展,需要在以下 3 个方面进行加强研究。

3.1 加强种子库形成格局机制及与环境要素耦合关系研究

土壤种子库规模、格局、影响因素和对环境的适应进化研究已成为我国陆地表层系统植被生态学和生物地理研究的重要内容。我国对松嫩碱化草甸土壤种子库研究有一定的积累,但多集中在种子库组成和密度等调查研究上,而对其形成格局与关键生境要素间的耦合关系研究较少;格局的形成机制研究中,缺少大尺度的生态-地理过程与微观生物机制的结合。

3.2 深入开展持久种子库的长期定位研究

埋藏在土壤中的休眠种子是土壤种子库研究中最受关注的内容,因为这部分种子组成的土壤长久种子库,对被干扰或被破坏的植被恢复可提供潜在的种源^[27,45],也是植物对胁迫环境适应机制研究的关键内容^[46-48]。种子持久性是植物生物学研究的基本问题之一,在植物群落保育和恢复中起着重要的作用,同时也是物种对土地利用和气候变化具有重要的潜在响应。而松嫩草甸草原哪些特别的植物种群在土壤中具有长久土壤种子库这一问题还未见报道,需要今后着重加强。这就需要改变以往短期的、间断的调查样地的研究方法,采用长期定位观测的研究方法。

3.3 强化种子散布、萌发和休眠特性的研究,深入揭示土壤种子库格局形成机制

种子休眠及其对于环境的响应对于种子库动态至关重要,种子休眠与光照、温度等生态因子互作,产生低风险萌发策略,促进土壤种子库的形成^[49]。种子萌发是土壤种子库输出的主要方式之一,除受所处生境的温度、土壤水分、光照等影响,盐分是种子萌发的决定性因子^[23, 50-51],随着土壤盐度增加,种子萌发数量减少,许多种子由于高盐及其低水势而进入休眠状态,甚至死亡^[52-54]。因此,理解种子休眠和萌发对环境条件的响应,对于揭示和预测物种的生态适应性非常重要^[2, 55]。

生态系统中的关键种对整个生态系统起着控制作用,代表了群落恢复的潜力和趋势。应重视关键种或建群种的种子动态。松嫩平原植物种子结实、散布、休眠和萌发等方面研究集中在羊草^[56, 65-66]、野大麦^[67]、寸苔草^[68]、虎尾草^[69]等物种,缺乏对更多物种种子休眠及萌发特性与实际环境因子相关性研究。并且目前多数研究都是基于室内的控制模拟,缺少系统的野外长期实地控制研究,阻碍了研究成果的野外普适性和应用的推广性。

3.4 引入新的研究方法和技术

改善现有的研究方法和手段,增加调查结果的可靠性和准确度是今后土壤种子库研究的重要方向之一^[34];种子散布具有对种群动态、遗传结构、进化速度以及群落生态学具有重大的影响^[70-71],而跟踪种子从母株到远距离的地区散布机制很难,而这些地区发生了重要的散布驱动的生态过程^[40]。利用¹⁵N 稳定同位素标记植物来跟踪研究特定植株种子的散布机制是一种廉价、可靠的新方法^[70],而目前这一方法还未展开应用。采用分子生物学技术进行种子库物种鉴定、遗传变异性等方面进行研究,使土壤种子库研究的内容更具有深度和广度。

致谢:感谢美国肯塔基大学的 Baskin CC 和 Baskin JM 对本文写作的帮助。

References:

- [1] Klug-Pümpel B, Scharfetter-Lehr G. Soil diaspore reserves above the timberline in the Austrian Alps. *Flora*, 2008, 203: 292-303.
- [2] Qiu J, Bai Y, Fu Y B, Wilmschurst J F. Spatial variation in temperature thresholds during seed germination of remnant *Festuca hallii* populations across the Canadian prairie. *Environmental and Experimental Botany*, 2010, 67: 479-486.
- [3] Kassahun A, Snyman H A, Smit G N. Soil seed bank evaluation along a degradation gradient in arid rangelands of the Somali region, eastern Ethiopia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2009, 129 (4): 428-436.
- [4] Aerts R, Maes M, November E, Behaulu M, Poesen J. Surface runoff and seed trampling efficiency of shrubs in a regenerating semi-arid woodland in northern Ethiopia. *Catena*, 2006, (65): 61-70.
- [5] Wang S M, Zhang X, Li Y, Xiong Y C, Wang G. Spatial distribution patterns of the soil seed bank of *Stipagrostis pennata* (Trin.) de Winter in the Gurbantonggut Desert of north-west China. *Journal of Arid Environments*, 2005, 63: 203-222.
- [6] Liu M Z, Jiang G M, Yu S L. The role of soil seed bank in natural restoration of the degraded Hunshandak Sandland, North China. *Restoration Ecology*, 2009, 17(1): 127-136.
- [7] Uesugi R, Nishihiro J, Tsumura Y, Washitani I. Restoration of genetic diversity from soil seed banks in a threatened aquatic plant, *Nymphoides peltata*. *Conservation Genetics*, 2007, 8: 111-121.
- [8] Fenner M. *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*. CABI press: Wallingford, UK. 2002.
- [9] Norvig P, Relman D A, Goldstein D B. 2020 vision. *Nature*, 2010, 463: 26-32.
- [10] Zhang L, Fang J Y. Reserves and species diversity of soil seed banks in four types of forest on Mt. Taibai, Qinling Mountains. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 131-136.
- [11] Shen Y X, Liu W Y, Cui J W. Species-area relationships of soil seed bank in karst forest in central Yunnan, China. *Journal of Plant Ecology* (Chinese Version). 2007, 31(1): 50-55.
- [12] Bao Q H, Zhong Y K, Sun W. The influence of mowing on the seed amount and composition in soil seed bank of typical Steppe — The amount of seeds having vitality and its vertical distribution. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol*, 2000, 31(1): 93-97.
- [13] Yan X F, Yang Y F. Dynamics of soil seed banks of two alkalized meadow communities in Songnen Plain of China. *Chinese Journal of Ecology*, 2007 (6): 822-825.
- [14] Yan X F, Yang Y F. Seed flows of restoration succession series communities in alkaline meadow of Northeast China Songnen Plain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(9): 2035-2039.
- [15] Tong C, Feng X, Zhong Y K. Soil seed banks of *Stipa krylovii* degraded steppe in the Xilin River Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 4710-4719.
- [16] Deng Z F, Zhou X M, Wang Q J. The Studies of Seed Bank of *Kobresia huilis* Meadow in Qing_Zang Plateau. *Chinese Journal of Ecology*, 1997, 16(5): 19-23.
- [17] Ma M, Zhou X, Du G. Role of soil seed bank along a disturbance gradient in an alpine meadow on the Tibet plateau. *Flora*, 2010, 205: 128-134.
- [18] Zhao L Y, Li Z H, Li F R, Zhao H L. Soil seed bank of plant communities along restoring succession gradients in Horqin Sandy Land. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(12): 3204-3211.
- [19] Li X H, Han S J, Zong W J, Li X L, Jiang D M. Characteristics of soil seed banks of sand dune succession process in Horqin Sandy Land. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, 29(2): 66-69.
- [20] Xu H L, Li J M, Zhang Z J, Ye M, Wang Z R. Study on Relation Between Soil Seed Bank and Standing Vegetation along Different Degradation Levels of Desert Riverside Forest in Lower Reaches of Tarim River. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(4): 657-664.
- [21] Liu G H, Xiao C, Chen S F. Effects of soil seed bank on wetland restoration and biodiversity protection in the middle and lower reaches of

- Changjiang River. Progress in Natural Science, 2007, 17(6): 741-747.
- [22] Wang C H, Tang L, Fei S F, Wang J Q, Gao Y. Determinants of seed bank dynamics of two dominant helophytes in a tidal salt marsh. Ecological engineering, 2009, 35: 800-809.
- [23] Erfanzadeh R, Hendrickx F, Maelfait J P, Hoffmann M. The effect of successional stage and salinity on the vertical distribution of seeds in salt marsh soils. Flora, 2010, 25(7): 442-448.
- [24] Wu L, He N P, Zhou D W. Seed movement of bare alkali-saline patches and their potential role in the ecological restoration in Songnen grassland, China. Journal of Forestry Research, 2005, 16(4): 270-274.
- [25] Busso C A, Bonvissuto G L. Soil seed bank in and between vegetation patches in arid Patagonia, Argentina. Environmental and Experimental Botany, 2009, 67: 188-195.
- [26] Yang Y F. The study on seed dispersal of *Puccinellia tenuiflora* on alkalization meadow in the Songnen Plain of China. Acta Ecologica Sinica, 1990, 10(03): 288-290.
- [27] 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.
- [28] Marcante S, Schwienbacher E, Erschbamer B. Genesis of a soil seed bank on a primary succession in the Central Alps (Ötztal, Austria). Flora, 2009, 204: 434-444.
- [29] Yan Q L, Liu Z M, Zhu J J. Structure, pattern and mechanisms of formation of seed banks in sand dune systems in northeastern Inner Mongolia, China. Plant and Soil, 2005, 277: 175-184.
- [30] Yang Y F, Zhu L. Comparative analysis of seed banks in saline-alkali communities in the songnen plain of China. Acta Phytocologica Sinica, 1995, 19(2): 144-148.
- [31] Yan X F, Yang Y F. Comparisons of Soil Seed Banks on the Habitats of Different Disturbance in the Songnen Plains. Grassland and Turf, 2003, (04): 22-25, 45.
- [32] Wang Z W, Zhu T C. The seed bank features and its relations to the established vegetation following flooding disturbance on Songnen steppe. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(09): 1392-1398.
- [33] Russi L, Cocks P S, Roberts E H. Seed bank dynamics in Mediterranean grassland. Journal of Applied Ecology, 1992, 29: 763-771.
- [34] Liu Z M. Plant Regenerative strategies in the Horqin Sand Land. Beijing: China Meteorological Press. 2010.
- [35] Liu Y. Comparative study in characteristic of successional stages of soil seed bank in Huangfuchuan watershed in warm-temperate Steppe. Inner Mongolia University, 2009.
- [36] Cabin R J, Marshall D L. The demographic role of soil seed banks I: Spatial and temporal comparisons of below and above-ground populations of the desert mustard *Lesquerella fendleri*. Journal of Ecology, 2000, 88: 283-292.
- [37] Bai W J, Jiao J Y, Zhang Z G. Relationship between soil seed bank and aboveground vegetation in abandoned croplands on the Gullied-Hill Loess. Acta Prataculturae Sinica, 2007, 16(6): 30-38.
- [38] Yu S L, Lang N J, Peng M J, Zhao L, Guo Y Q. Research advances in seed rain. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(10): 1646-1652.
- [39] Urbanska K W, Fattorini M. Seed rain in high altitude restoration plots in Switzerland. Restoration ecology, 2000, 8: 74-79.
- [40] Nathan R. Long distance dispersal of plants. Science, 2006, 313 (5788): 786.
- [41] Zhang J, Hao Z Q, Li B H, Ye J, Wang X G, Yao X L. Composition and seasonal dynamics of seed rain in broad-leaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest, Changbai Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28 (6): 2445-2454.
- [42] Yang Y F, Zhu T C. The study on seed rain change of *Stipa grandis* community in the Songnen Plain of China. Acta Phytocologica Sinica, 1991, 15(01): 46-55.
- [43] Yang Y F, Zhu T C. The study of seed rain of herb communities. Chinese Bulletin of Botany, 1989, 6(1): 48-51.
- [44] He N P, Wu L, Zhou D W. Seed movement in the secondary bare alkali-saline patch and its implication for ecological restoration in the Songnen grassland, northeastern China. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(4): 843-847.
- [45] Yan Q L, Liu Z M, Li R P. A review on persistent soil seed bank study. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24 (8): 948-952.
- [46] Baskin C C, Baskin J M. Seeds Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press: San Diego, 1998.
- [47] Martínez-Duro E, Ferrandis P, Herranz J M. Factors controlling the regenerative cycle of *Thymus funkii* subsp. *Funkii* in a semi-arid gypsum steppe: A seed bank dynamics perspective. Journal of Arid Environments, 2009, 73: 252-259.
- [48] Jarvis J C, Moore K A. Influence of environmental factors on *Vallisneria americana* seed germination. Aquatic Botany, 2008, 88: 283-294.
- [49] Leck M A, Schütz W. Regeneration of Cyperaceae, with particular reference to seed ecology and seed bank. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 2005, 7: 95-133.
- [50] Song J, Fan H, Zhao Y, Jia Y, Du X, Wang B. Effect of salinity on germination, seedling emergence, seedling growth and ion accumulation of a euhalophyte *Suaeda salsa* in an intertidal zone and on saline inland. Aquatic botany, 2008, 88: 331-337.

- [51] Easton L C, Kleindorfer S. Effects of salinity levels and seed mass on germination in Australian species of *Frankenia* L. (Frankeniaceae). *Environmental and experimental botany*, 2009, 65: 345-352.
- [52] Huang Z Y, Zhang X S, Zheng G H, Gutterman Y. Influence of light, temperature, salinity and storage on seed germination of *Haloxylon ammodendron*. *Journal of Arid Environments*, 2003, 55: 453-464.
- [53] Wei Y, Dong M, Huang Z Y, Tan D Y. Factors influencing seed germination of *salsola affinis* (Chenopodiaceae), a dominant annual halophyte inhabiting the deserts of Xinjiang, China. *Flora*, 2008, 203: 134-140.
- [54] Qu X X, Baskin J M, Wang L, Huang Z Y. Effect of temperature, light and salinity on seed germination and radicle growth of the geographically-widespread halophyte shrub *Halocnemum strobilaceum*. *Plant Growth Regulation*, 2007, 101(2): 293-299.
- [55] Tang A J, Tian M H, Long C L. Environmental control of seed dormancy and germination in the short-lived *Olimarabidopsis pumila* (Brassicaceae). *Journal of Arid Environments*, 2009, 73: 385-388.
- [56] Ma H Y, Liang Z W, Wang M M, Wang S H, Liu M. Mechanisms of the glumes on seed germination of *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel. (Poaceae). *Seed Science and Technology*, 2010, 38(3): 655-664.
- [57] Whipple S A. The relationship of buried, germinating seeds to vegetation in an old-growth Colorado subalpine forest. *Canadian Journal of Botany*, 1978, 56: 1506-1509.
- [58] Chambers J C, MacMahon J A. A day in the life of a seed: Movements and fates of seeds and their implication for natural and managed systems: *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1994, 25: 263-292.
- [59] Li J D, Zheng H Y. Management of the saline-alkali grassland in Songnen Plain and the bioecological mechanisms. Science press; Beijing, 1997.
- [60] Solomon T B, Snyman H A, Smit G N. Cattle management practices and perceptions of pastoralists towards rangeland degradation in Borana zone of Southern Ethiopia. *Journal of Environmental Management*. 2007, 82: 481-494.
- [61] Page M J, Beeton R J S. Is the removal of domestic stock sufficient to restore semi-arid conservation areas? *Pacific Conservation Biology*, 2000, 6: 245-253.
- [62] Pujol J A, Calvo J F, Ramírez-Díaz L. Recovery of germination from different osmotic conditions by four halophytes from southeastern Spain. *Annals of Botany*. 2000, 85, 279-286.
- [63] Easton L C, Kleindorfer S. Effects of salinity levels and seed mass on germination in Australian species of *Frankenia* L. (Frankeniaceae). *Environmental and experimental botany*, 2009, 65: 345-352.
- [64] Liang Z W, Wang Z C, Ma H Y. The Progress in Improvement of High pH Saline-Alkali Soil in the Songnen Plain by Stress Tolerant Plants. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2008, 30(4): 517-528.
- [65] Shi D C, Sheng Y M, Zhao K F. Simulated Complex Alkali-saline Conditions and Their Effects on Growth of *Leymus chinensis* Seedlings. *Acta Pratacultural Science*, 1998, 7(01): 36-41.
- [66] Ma H Y, Liang Z W, Kong X J, Yan C. Effects of salinity, temperature and their interaction on the germination percentage and seedling growth of *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel. (Poaceae). *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 4710-4717.
- [67] Yang Y F, Zhu L. Pattern of a seed dispersal of *Hordeum brevisubulatum* on alkalized meadow in the Songnen Plain of China. *Acta Botanica Sinica*, 1994, 36(08): 636-644.
- [68] Zhang C H, Yang Y F. Strategy of reproductive allocation and seed production on reproductive ramets in *Carex duriuscula* populations in the Songnen Plain of China. *Acta Pratacultural Science*, 2001, 10(02): 7-13.
- [69] Zhang H X, Zhou D W. Research on Seed Germination Ecology, *Acta Agrestia Sinica*, 2009, 17(01): 131-133.
- [70] Carlo T A, Tewksbury J J, Rfo C M D. A new method to track seed dispersal and recruitment using ¹⁵N isotope enrichment. *Ecology*, 2009, 90(12): 3516-3525.
- [71] García C, Jordano P, Godoy JA. Contemporary pollen and seed dispersal in a *Prunus mahaleb* population: patterns in distance and direction. *Molecular Ecology*, 2007, 16: 1947-1955.

参考文献:

- [10] 张玲, 方精云. 秦岭太白山4类森林土壤种子库的储量分布与物种多样性. *生物多样性*, 2004, 12(1): 131-136.
- [11] 沈有信, 刘文耀, 崔建武. 滇中喀斯特森林土壤种子库的种-面积关系. *植物生态学报*, 2007, 31(1): 50-55.
- [12] 包青海, 仲延凯, 孙维. 割草干扰对典型草原土壤种子库种子数量与组成的影响 II. 具有生命力的种子数量及其垂直分布. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 2000, 31(1): 93-97.
- [13] 燕雪飞, 杨允菲. 松嫩平原碱化草甸两个群落土壤种子库动态. *生态学杂志*, 2007(6): 822-825.
- [14] 燕雪飞, 杨允菲. 松嫩平原碱化草甸恢复演替系列的群落种子流分析. *应用生态学报*, 2007, 18(9): 2035-2039.
- [15] 仝川, 冯秀, 仲延凯. 内蒙古锡林郭勒克氏针茅退化草原土壤种子库特征. *生态学报*, 2009, 29(9): 4710-4719.

- [16] 邓自发,周兴民,王启基. 青藏高原矮嵩草草甸种子库的初步研究. 生态学杂志, 1997, 16(5): 19-23.
- [18] 赵丽娅,李兆华,李锋瑞,赵哈林. 科尔沁沙地植被恢复演替进程中群落土壤种子库研究. 生态学报, 2005, 25(12): 3204-3211.
- [19] 李雪华,韩士杰,宗文君,李晓兰,蒋德明. 科尔沁沙地沙丘演替过程的土壤种子库特征. 北京林业大学学报, 2007, 29(2): 66-69.
- [20] 徐海量,李吉玫,张占江,叶茂,王增如. 塔里木河下游退化荒漠河岸林地上植被与土壤种子库关系初探. 中国沙漠. 2008, 28(4): 657-664.
- [21] 刘桂华,肖藏,陈漱飞,张全发. 土壤种子库在长江中下游湿地恢复与生物多样性保护中的作用. 自然科学进展, 2007, 17(6): 741-747.
- [26] 杨允菲. 松嫩平原碱化草甸星星草种子散布的研究. 生态学报, 1990, 10(03): 288-290.
- [27] 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.
- [30] 杨允菲,祝玲. 松嫩平原盐碱植物群落种子库的比较分析. 植物生态学报, 1995, 19(2): 144-148.
- [31] 燕雪飞,杨允菲. 松嫩平原不同扰动生境土壤种子库的比较. 草原与草坪, 2003, (04): 22-25, 45.
- [32] 王正文,祝廷成. 松嫩草地水淹干扰后的土壤种子库特征及其与植被关系. 生态学报, 2002, 22(09): 1392-1398.
- [34] 刘志民. 科尔沁沙地植物繁殖对策. 北京: 气象出版社. 2010.
- [35] 刘燕. 暖温带草原不同恢复演替阶段土壤种子库特征的对比研究. 内蒙古大学, 2009.
- [37] 白文娟,焦菊英,张振国. 黄土丘陵沟壑区退耕地土壤种子库与地上植被的关系. 草业学报, 2007, 16(6): 30-38.
- [38] 于顺利,郎南军,彭明俊,赵琳,郭永清,郑科,张立新,温绍龙,李晖. 种子雨研究进展. 生态学杂志, 2007, 26(10): 1646-1652.
- [41] 张健,郝占庆,李步杭,叶吉,王绪高,姚晓琳. 长白山阔叶红松(*Pinus koraiensis*)林种子雨组成及其季节动态. 生态学报, 2008, 28(6): 2445-2454.
- [42] 杨允菲,祝廷成. 松嫩平原大针茅群落种子雨动态的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(01): 46-55.
- [43] 杨允菲,祝廷成. 草本植物群落种子雨的初步研究. 植物学通报, 1989, 6(1): 48-51.
- [44] 何念鹏,吴冷,周道玮. 松嫩草地次生光碱斑种子流及其生态恢复意义. 生态学报, 2004, 24(4): 843-847.
- [45] 闫巧玲,刘志民,李荣平. 持久土壤种子库研究综述. 生态学杂志, 2005, 24(8): 948-952.
- [59] 李建东,郑慧莹. 松嫩平原盐碱化草地治理及其生物生态机理. 科学出版社:北京. 1997.
- [64] 梁正伟,王志春,马红媛. 利用耐逆植物改良松嫩平原高 pH 盐碱土研究进展. 吉林农业大学学报, 2008, 30(4): 517-528.
- [65] 石德成,盛艳敏,赵可夫. 复杂盐碱生态条件的人工模拟及其对羊草生长的影响. 草业学报, 1998, 7(01): 36-41.
- [66] 马红媛,梁正伟,孔祥军,闫超. 盐分、温度及其互作对羊草种子发芽率和幼苗生长的影响. 生态学报, 2008, 28(10): 4710-4717.
- [67] 杨允菲,祝玲. 松嫩平原碱化草甸野大麦的种子散布格局. 植物学报, 1994, 36(08): 636-644.
- [68] 张春华,杨允菲. 松嫩平原寸草苔种群生殖分株的种子生产与生殖分配策略. 草业学报, 2001, 10(02): 7-13.
- [69] 张红香,周道玮. 种子发芽生态研究. 草地学报, 2009, 17(01): 131-133.

CONTENTS

Responses of sandy beach nematodes to oxygen deficiency: microcosm experiments	HUA Er, LI Jia, DONG Jie, et al (3975)
Allometric relationship between mean component biomass and density during the course of self-thinning for <i>Fagopyrum esculentum</i> populations	LI Lei, ZHOU Daowei, SHENG Lianxi (3987)
Automatic site selection of sight-seeing route in ecotourism destinations based on landscape perception sensitivity	LI Jifeng, LI Renjie (3998)
Emergy evaluation for sustainability of Biogas-linked agriculture ecosystem: a case study of Gongcheng county	YANG Jin, CHEN Bin, LIU Gengyuan (4007)
Spatial heterogeneity of vegetation coverage and its temporal dynamics in desert steppe, Inner Mongolia	YAN Liang, ZHOU Guangsheng, ZHANG Feng, et al (4017)
Soil conservation value flow processes of two typical grasslands	PEI Sha, XIE Gadi, LI Shimei, et al (4025)
Spatial distribution of carbon storage in a 13-year-old <i>Pinus massoniana</i> forest ecosystem in Changsha City, China	WU Tao, PENG Chonghua, TIAN Dalun, et al (4034)
Colonization rate and diversity of AM fungi in the rhizosphere of seven medicinal plants in Xiamen	JIANG Pan, WANG Mingyuan (4043)
Effects of Cd, Low Concentration Pb/Cd on the contents of phenolic acid and simple glucides exuding from winter wheat seedlings root and the relationship between them and rhizosphere soil microbial activity	JIA Xia, DONG Suiming, ZHOU Chunjuan (4052)
The community structure of laccase-like multicopper oxidase-producing bacteria in soil of Liangshui Nature Reserve	ZHAO Dan, GU Huiqi, CUI Daizong, et al (4062)
Effects of soil rhizosphere microbial community and soil factors on arbuscular mycorrhizal fungi in different salinized soils	LU Xinping, DU Qian, YAN Yongli, et al (4071)
The effects of inoculation with phosphate solubilizing bacteria <i>Bacillus megaterium</i> C4 in the AM fungal hyphosphere on soil organic phosphorus mineralization and plant uptake	ZHANG Lin, DING Xiaodong, WANG Fei, et al (4079)
Soil carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometry of <i>Phragmites australis</i> wetlands in different reaches in Minjiang River estuary	WANG Weiqi, WANG Chun, ZENG Congsheng, et al (4087)
Dynamics of soil microbial biomass during early fine roots decomposition of three species in alpine region	WU Zhichao, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4094)
Effects of simulated precipitation on apparent carbon flux of biologically crusted soils in the Gurbantunggut Desert in Xinjiang, Northwestern China	WU Lin, SU Yangui, ZHANG Yuanming (4103)
Changes in photosynthetic properties, ultrastructure and root vigor of <i>Dendrobium candidum</i> tissue culture seedlings during transplantation	PU Xiaozhen, YIN Chunying, ZHOU Xiaobo, et al (4114)
Analysis of dry matter accumulation and translocation for winter wheat cultivars with different yields on dryland	ZHOU Ling, WANG Zhaohui, LI Fucui, et al (4123)
Impact evaluation of low temperature to yields of maize in Northeast China based on crop growth model	ZHANG Jianping, WANG Chunyi, ZHAO Yanxia, et al (4132)
Spatiotemporal variations in the reference crop evapotranspiration on the Loess Plateau during 1961—2009	LI Zhi (4139)
Eco-physiological responses of <i>Phragmites australis</i> to different water-salt conditions in Momoge Wetland	DENG Chunnuan, ZHANG Guangxin, LI Hongyan, et al (4146)
Comparative study of different earthworm sampling methods	FAN Ruqin, ZHANG Xiaoping, LIANG Aizhen, et al (4154)
Geographic variation in longevity and fecundity of the Asian corn borer, <i>Ostrinia furnacalis</i> Guenée (Lepidoptera: Crambidae)	TU Xiaoyun, CHEN Yuansheng, XIA Qinwen, et al (4160)
Analysis on grasshopper spatial heterogeneity and pattern of natural grass in upper reaches of Heihe	ZHAO Chengzhang, LI Lili, WANG Dawei, et al (4166)
Inhibition effects of ethyl acetate extracts of <i>Momordica charantia</i> leaves on the experimental population of <i>Spodoptera litura</i>	LOU Ying, LING Bing, XIE Jiefeng, et al (4173)
Feeding habits of <i>Lateolabrax maculatus</i> in Yangtze River estuary	HONG Qiaoqiao, ZHUANG Ping, YANG Gang, et al (4181)
Genetic structure of <i>Gymnodontichus pachycheilus</i> from the upper reaches of the Yellow River as inferred from mtDNA control region	SU Junhu, ZHANG Yanping, LOU Zhongyu, et al (4191)
Toxicity mechanism of Cadmium-induced reactive oxygen species and protein oxidation in testes of the frog <i>Rana nigromaculata</i>	CAO Hui, SHI Cailei, JIA Xiuying (4199)
The diversity of scarab beetles in grassland cattle dung from North China	FAN Sanlong, FANG Hong, GAO Chuanbu, et al (4207)
Spatial relationships among <i>Empoasca vitis</i> (Gothé) and <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer) and natural enemies in tea gardens of autumn-winter season in Hefei suburban	YANG Lin, GUO Hua, BI Shoudong, et al (4215)
Effects of vegetation, elevation and human disturbance on the distribution of large- and medium-sized wildlife: a case study in Jiuzhaigou Nature Reserve	ZHANG Yue, LEI Kaiming, ZHANG Yuke, et al (4228)
Research of typical EIPs based on the social network analysis	YANG Lihua, TONG Lianjun (4236)
Exergy-based life cycle accounting of household biogas system: a case study of Gongcheng, Guangxi	QI Jing, CHEN Bin, DAI Jing, et al (4246)
Review and Monograph	
The effects of changes in hydrological regimes and salinity on wetland vegetation: a review	ZHANG Guangxin (4254)
Advances in research on the seed bank of a saline-alkali meadow in the Songnen Plain	MA Hongyuan, LIANG Zhengwei, LÜ Bingsheng, et al (4261)
A new landscape expansion index: definition and quantification	WU Pengfei, ZHOU Demin, GONG Huili (4270)
Scientific Note	
Response of photosynthetic characteristics of <i>Psathyrostachys huashanica</i> Keng to drought stress	LI Qian, WANG Ming, WANG Wenwen, et al (4278)
The antifouling activities of <i>Callyspongia</i> sponge extracts	CAO Wenhao, YAN Tao, LIU Yonghong, et al (4285)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大16开本,280页,国内定价70元/册,全年定价1680元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址: 100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话: (010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn **网 址:** www.ecologica.cn

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32卷 第13期 (2012年7月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 13 (July, 2012)

编辑	《生态学报》编辑部	Edited by	Editorial board of
	地址:北京海淀区双清路 18 号		ACTA ECOLOGICA SINICA
	邮政编码:100085		Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
	电话:(010)62941099		Tel:(010)62941099
	www.ecologica.cn		www.ecologica.cn
	shengtaixuebao@rcees.ac.cn		Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主办	中国生态学学会	Sponsored by	Ecological Society of China
	中国科学院生态环境研究中心		Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
	地址:北京海淀区双清路 18 号		Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
	邮政编码:100085		
出版	科学出版社	Published by	Science Press
	地址:北京东黄城根北街 16 号		Add:16 Donghuangchenggen North Street,
	邮政编码:100071		Beijing 100071, China
印刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House,
发行	科学出版社		Beijing 100083, China
	地址:东黄城根北街 16 号	Distributed by	Science Press
	邮政编码:100717		Add:16 Donghuangchenggen North
	电话:(010)64034563		Street, Beijing 100717, China
	E-mail:journal@cspg.net		Tel:(010)64034563
订购	全国各地邮局		E-mail:journal@cspg.net
国外发行	中国国际图书贸易总公司	Domestic	All Local Post Offices in China
	地址:北京 399 信箱	Foreign	China International Book Trading
	邮政编码:100044		Corporation
广告经营	京海工商广字第 8013 号		Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
许可证			

ISSN 1000-0933

9 771000 093125

1 3>

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