

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第14期 Vol.33 No.14 **2013**

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 33 卷 第 14 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

石鸡属鸟类研究现状..... 宋 森,刘迺发 (4215)

个体与基础生态

不同降水及氮添加对浙江古田山 4 种树木幼苗光合生理生态特征与生物量的影响.....
..... 闫 慧,吴 茜,丁 佳,等 (4226)

低温胁迫时间对 4 种幼苗生理生化及光合特性的影响..... 邵怡若,许建新,薛 立,等 (4237)

不同施氮处理玉米根茬在土壤中矿化分解特性..... 蔡 苗,董燕婕,李佰军,等 (4248)

不同生育期花生渗透调节物质含量和抗氧化酶活性对土壤水分的响应.....
..... 张智猛,宋文武,丁 红,等 (4257)

天山中部天山云杉林土壤种子库年际变化..... 李华东,潘存德,王 兵,等 (4266)

不同作物两苗同穴互作育苗的生理生态效应..... 李伶俐,郭红霞,黄耿华,等 (4278)

镁、锰、活性炭和石灰及其交互作用对小麦镉吸收的影响..... 周相玉,冯文强,秦鱼生,等 (4289)

CO₂ 浓度升高对毛竹器官矿质离子吸收、运输和分配的影响 庄明浩,陈双林,李迎春,等 (4297)

pH 值和 Fe、Cd 处理对水稻根际及根表 Fe、Cd 吸附行为的影响 刘丹青,陈 雪,杨亚洲,等 (4306)

弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗发育及内源激素含量的影响..... 周卫霞,李潮海,刘天学,等 (4315)

玉米花生间作对玉米光合特性及产量形成的影响..... 焦念元,宁堂原,杨萌珂,等 (4324)

不同林龄胡杨克隆繁殖根系分布特征及其构型..... 黄晶晶,井家林,曹德昌,等 (4331)

植被年际变化对蒸散发影响的模拟研究..... 陈 浩,曾晓东 (4343)

蝇蛹金小蜂的交配行为及雄蜂交配次数对雌蜂繁殖的影响..... 孙 芳,陈中正,段毕升,等 (4354)

西藏飞蝗虫粪粗提物的成分分析及其活性测定..... 王海建,李彝利,李 庆,等 (4361)

不同水稻品种对稻纵卷叶螟生长发育、存活、生殖及飞行能力的影响..... 李 霞,徐秀秀,韩兰芝,等 (4370)

种群、群落和生态系统

基于 *mtCOII* 基因对山东省越冬代亚洲玉米螟不同种群的遗传结构分析
..... 李丽莉,于 毅,国 栋,等 (4377)

太湖湿地昆虫群落结构及多样性..... 韩争伟,马 玲,曹传旺,等 (4387)

西江下游浮游植物群落周年变化模式..... 王 超,赖子尼,李新辉,等 (4398)

环境和扩散对草地群落构建的影响..... 王 丹,王孝安,郭 华,等 (4409)

黄土高原不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻的多样性..... 杨丽娜,赵允格,明 姣,等 (4416)

景观、区域和全球生态

基于景观安全格局的建设用地管制分区..... 王思易,欧名豪 (4425)

黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析..... 赵锐锋,姜朋辉,赵海莉,等 (4436)

2000—2010 年青海湖流域草地退化状况时空分析 骆成凤,许长军,游浩妍,等 (4450)

基于“源”“汇”景观指数的定西关川河流域土壤水蚀研究 李海防,卫 伟,陈 瑾,等 (4460)

农业景观格局与麦蚜密度对其初寄生蜂与重寄生蜂种群及寄生率的影响 ... 关晓庆,刘军和,赵紫华 (4468)

CO₂ 浓度和降水协同作用对短花针茅生长的影响..... 石耀辉,周广胜,蒋延玲,等 (4478)

资源与产业生态

城市土地利用的生态服务功效评价方法——以常州市为例..... 阳文锐,李 锋,王如松,等 (4486)

城市居民食物磷素消费变化及其环境负荷——以厦门市为例..... 王慧娜,赵小锋,唐立娜,等 (4495)

研究简报

间套作种植提升农田生态系统服务功能..... 苏本营,陈圣宾,李永庚,等 (4505)

矿区生态产业评价指标体系 王广成,王欢欢,谭玲玲 (4515)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-07



封面图说: 古田山常绿阔叶林景观——亚热带常绿阔叶林是我国独特的植被类型,生物多样性仅次于热带雨林。古田山地处中亚热带东部,浙、赣、皖三省交界处,由于其特殊复杂的地理环境位置,分布着典型的中亚热带常绿阔叶林,是生物繁衍栖息的理想场所,生物多样性十分突出。中国科学院在这里建立了古田山森林生物多样性与气候变化研究站,主要定位于研究和探索中国亚热带森林植物群落物种共存机制,阐释生物多样性对森林生态系统功能的影响,以及监测气候变化对于亚热带森林及其碳库和碳通量的影响。

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

DOI: 10.5846/stxb201204250594

李华东, 潘存德, 王兵, 张国林. 天山中部天山云杉林土壤种子库年际变化. 生态学报, 2013, 33(14): 4266-4277.

Li H D, Pan C D, Wang B, Zhang G L. Interannual variation of soil seed bank in *Picea schrenkiana* forest in the central part of the Tianshan Mountains. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(14): 4266-4277.

天山中部天山云杉林土壤种子库年际变化

李华东, 潘存德*, 王 兵, 张国林

(新疆农业大学林学与园艺学院, 新疆教育厅干旱区林业生态与产业技术重点实验室, 乌鲁木齐 830052)

摘要:通过定点采样, 采用萌发法对天山中部天山云杉(*Picea schrenkiana* Fisch. et Mey.) 近熟林(101—120a)和成熟林(121—160a) 2004—2011 年(8a) 土壤种子库物种组成、种子密度的年际变化和不同间隔年限土壤种子库物种组成的相似性进行了分析。结果表明:(1) 土壤种子库中共萌发鉴定出种子植物 87 种, 隶属 29 科 70 属, 其中乔木种子植物 2 种, 灌木种子植物 2 种, 草本种子植物 83 种, 土壤种子库中草本植物种子密度远远大于木本植物种子密度; 8 个采样年份土壤种子库恒有种仅有 6 种;(2) 土壤种子库种子密度及其中天山云杉种子密度存在巨大的年际变动, 且不具有同步性; 土壤种子库种子密度最大(2009 年) 值为 (953.75 ± 66.12) 粒/ m^2 , 最小(2008 年) 值为 (186.50 ± 20.37) 粒/ m^2 , 其中天山云杉种子密度最高(2006 年) 达到 (584.50 ± 53.58) 粒/ m^2 , 最低(2005 年) 仅有 (0.25 ± 0.26) 粒/ m^2 ; (3) 天山云杉林土壤种子库年际间物种组成的相似性不高, Czekanowski 相似系数均值仅为 0.344, 并随间隔年限的增加呈现减小—增大—减小的变化趋势。天山云杉林土壤种子库物种组成和种子密度稳定性差, 年际间相差悬殊, 物种组成的相似性不高, 种子库中天山云杉种子密度主要受其种子库采样前一年天山云杉结实丰歉的影响, 属间断型。土壤种子库年际变化特征可为天山森林的更新恢复和可持续经营提供科学依据。

关键词:天山云杉林; 土壤种子库; 物种组成; 种子密度; 物种相似性; 年际变化

Interannual variation of soil seed bank in *Picea schrenkiana* forest in the central part of the Tianshan Mountains

LI Huadong, PAN Cunde*, WANG Bing, ZHANG Guolin

College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Key Laboratory of Forestry Ecology and Industry Technology in Arid Region, Education Department of Xinjiang, Urumqi 830052, China

Abstract: Species composition, inter-annual variations of seed density, similarities at different intervals of the species composition in soil seed bank were examined using germination method in the *P. schrenkiana* near mature forest (101—120a) and mature forest (121—160a) from 2004 to 2011. Total 87 species which belonged to 29 families and 70 genera were identified from soil seed bank. Among them, 2 kinds of tree plants, 2 kinds of shrub plants, and 83 kinds of herb plants were concluded. Additionally, the density of herb seeds in soil seed bank was far greater than that of woody. There were only 6 constant species among 8 sampling years of soil seed bank. There was a huge inter-annual variation which was not synchronous in the seed density of soil seed bank and the seed density of *P. schrenkiana*. The maximum value of density of soil seed bank which appearing in 2009 was (953.75 ± 66.12) seeds/ m^2 , and the minimum value in 2008 was (186.50 ± 20.37) seeds/ m^2 . The highest value of seed density of *P. schrenkiana* reached to (584.50 ± 53.58) seeds/ m^2 in 2006, while the lowest was only (0.25 ± 0.26) seeds/ m^2 in 2005. Inter-annual variations of species composition in soil seed bank of *P. schrenkiana* forest had not the similarity. The average of Czekanowski similarity coefficient was 0.344, which showed decrease-increase-decrease trend with the increase of the year's intervals. Species composition and seed

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30960313, 30360087)

收稿日期: 2012-04-25; 修订日期: 2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: pancunde@163.com

density in soil seed bank of *P. schrenkiana* was not consistency, the differences between inter-annuals were significant, the similarity of species composition was not high. The seed density of *P. schrenkiana* in soil seed bank which changed in discontinuous was mainly influenced by the production of seed harvests at the year before. The research of inter-annual variation of the soil seed bank could provide scientific basis for forest regeneration, restoration and sustainable management in the Tianshan Mountains.

Key Words: *Picea schrenkiana* forest.; soil seed bank; species composition; seed density; species similarity; inter-annual variation

土壤种子库是存在于土壤表面和土壤中全部存活种子的总和^[1]。土壤种子库作为植被潜在更新能力的重要组成部分,在植被恢复过程中起着重要的作用^[2]。由于种子植物的结实及其种子雨既有周期性,又表现出随机性,使其形成的土壤种子库在物种组成、密度大小上存在季节和年际变化^[3],土壤种子库的动态变化已成为现代生态研究的热点之一,在种群生态对策、物种进化等方面具有重要学术价值。同时,了解并掌握土壤种子库的动态,可预测种子雨的生产、扩散、分布以及种子萌发、幼苗建成,有助于解决植物种群在天然更新上存在的问题^[4]。土壤种子库动态不仅是一个时间的序列,不同季节、不同年份具有不同的规模和物种组成特征^[5-6],而且土壤种子库的形成不是短时间的生态过程,多年连续采样可以揭示持久种子库大小的年际变化^[7]。但就国内外对土壤种子库的研究而言,多采用短期的、间断的采样调查方法^[8-10],比较缺乏对探讨土壤种子库动态具有重要价值的长期定位研究^[11-13]。

天山云杉(*Picea schrenkiana* Fisch. et Mey)林为天山山地最主要的地带性森林植被,是构成天山乃至整个新疆森林生态系统的物质主体,为新疆绿洲生态系统的生命之源,对水源的涵养发挥着不可或缺的重要作用^[14]。研究天山云杉林土壤种子库的年际变化,不仅可以反映地上植被对种子库的输入量以及种子库幼苗建成数量的变化情况,而且对地上植物群落构成及其格局解释也具有重要的参考价值。虽然对天山云杉林土壤种子库的物种组成及其垂直空间分布^[15]和种子年后天山云杉林土壤种子库的储量及其垂直空间分布^[16]曾有过报道,但对其土壤种子库的年际变化尚不清楚。为此,通过定点采样,采用萌发法,本研究对天山中部天山云杉近熟林(101—120 a)和成熟林(121—160 a)2004—2011年(连续8 a)土壤种子库物种组成、种子密度的年际变化和不同间隔年限土壤种子库物种组成的相似性进行了分析,旨在深入了解天山云杉林土壤种子库的物种构成及种子密度年际变化特征,以期为天山森林的更新恢复和可持续经营提供科学依据。

1 研究区自然概况

本研究土壤种子库采自新疆农业大学实习林场天山云杉林下。新疆农业大学实习林场(43°16′—43°26′N;86°46′—87°00′E)位于新疆天山北麓中部的头屯河上游。林区多年平均降水量约600 mm,5—8月生长季降水量约占全年的60%,7月份相对湿度约为65%;年平均温度3℃,7月份平均温度约为14℃;年日照大于1300 h,无霜期140 d。地势南高北低,地形切割较为剧烈,坡度多在10°—40°。森林主要分布在北、东北和西北坡,以草类、藓类天山云杉纯林为主,林下土壤为普通灰褐色森林土^[17]。

2 研究方法

2.1 土壤种子库采样设计

根据天山中部天山云杉林的垂直分布状况,于2004年4月26日在新疆农业大学实习林场2、3、4林班天山云杉林纯林下典型选取并设置5条固定样线(表1)。在土壤种子库采样固定样线设置之后,所在林分既无采伐等人为干扰,也无大风、火和病虫害等自扰干扰,林分郁闭度基本无变化。每条固定样线长度100 m,等间隔设置20个土壤种子库固定采样点,采样点大小80 cm×80 cm,且采样点内微生境一致。5条固定样线共计设置固定采样点100个。2004—2011年连续8 a于每年4月下旬在固定采样点内采用非重合方式采集20 cm×20 cm×10 cm土壤种子库土样,并逐一编号带回温室萌发鉴定。

表 1 固定样线所在林分基本情况

Table 1 Basic situation of the fixed sample lines

样线号编号 Plot No.	海拔 Altitude /m	郁闭度 Canopy density	坡度 Slope /(°)	坡向 Aspect /(°)	平均年龄 Mean age /a	平均胸径 Mean DHB /cm	平均树高 Mean tree height/m
I	2205	0.45	12	N	145	30.0	21.9
II	1810	0.60	36	NW	103	23.8	17.0
III	1930	0.49	15	N	125	27.6	23.3
IV	2200	0.58	10	N	131	31.8	24.2
V	1800	0.59	29	NE	105	22.5	20.0

2.2 土壤种子库物种及种子数量鉴定

种子库物种及种子数量鉴定采用萌发法^[18]。将采集的土壤种子库土样分别放入规格为 40 cm×40 cm×7 cm 育苗盘中(育苗盘材质为聚乙烯材料),并均匀铺成 3—4 cm 厚。育苗盘逐一做好标记,放置在日光控温温室等待种子萌发。在种子萌发过程中定期对其进行浇水,以确保种子萌发所需充足的水分,并保持适当的温度与光照条件,待有幼苗出现后每天观察 1 次,记录幼苗的种类和数量,并对已鉴定记录的幼苗进行拔除。对于暂时无法鉴定的幼苗,移栽直到能够鉴定为止。培养至两周内再无新的植物幼苗出现时试验结束,整个萌发鉴定试验持续时间每年约为 120 d。

2.3 数据处理

2.3.1 土壤种子库种子密度

土壤种子库密度(粒/m²)为土壤种子库土样萌发的种子数除以对应采样面积(20 cm×20 cm)。

2.3.2 土壤种子库物种相似性

不同年份间土壤种子库物种相似性度量选用 Czekanowski 相似系数^[19]:

$$CC = 2a / (2a + b + c)$$

式中, CC 为相似性系数; a 为所要计算的两个年份土壤种子库共有物种数; b , c 分别为所要计算的两个年份土壤种子库各自拥有的物种数。

采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较年际间的土壤种子库密度差异性。

3 结果与分析

3.1 天山云杉林土壤种子库物种组成及其年际变化

2004—2011 年连续 8 a 采集的天山云杉林土壤种子库土样中共萌发鉴定出种子植物 87 种,分属 29 科 70 属,其中松科(Pinaceae)、菊科(Compositae)、蔷薇科(Rosaceae)、毛茛科(Ranunculaceae)、藜科(Chenopodiaceae)、豆科(Leguminosae)6 科有 47 种,占全部土壤种子库种子植物物种数的 54.0%。各采样年份土壤种子库种子植物物种数分别为:2004 年 28 种,2005 年 39 种,2006 年 15 种,2007 年 14 种,2008 年 15 种,2009 年 37 种,2010 年 34 种,2011 年 36 种。8 a 共计鉴定种子植物种子萌发幼苗数 20 838 株。各采样年份土壤种子库种子植物各物种组成(%)及其种子密度(粒/m²)见表 2。在各采样年份土壤种子库中均出现的种子植物恒有种仅有 6 种,分别为天山云杉(*P. schrenkiana*)、塔什克羊角芹(*Aegopodium tadshikorum*)、准噶尔繁缕(*Stellaria soongarica*)、北方拉拉藤(*Galium boreale*)、天蓝岩苣(*Cicerbita azurea*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)。从土壤种子库种子植物生活型来看,2004—2011 年土壤种子库中乔、灌木植物种较为单一,除了在 2010 年萌发鉴定出乔木种天山云杉、天山桦(*Betula tianschanica*)和灌木种黑果小檗(*Berberis heteropoda*)、天山花楸(*Sorbus tianschanica*)外,其余各采样年份萌发鉴定出的木本植物仅有天山森林群落建群种天山云杉。

3.2 天山云杉林土壤种子库种子密度及其年际变化

2004—2011 年天山云杉林土壤种子库全部种子植物种子密度和土壤种子库中天山云杉种子密度均表现

表 2 天山云杉林土壤种子库种子植物物种组成及种子密度

Table 2 Species composition and seed densities in soil seed bank of *P. schrenkiana* forest

科 Family	物种 Species	年份 Years											
		2004		2005		2006		2007		2008		2009	
		组成 /%	密度/ (粒/m ²)	组成 /%	密度/ (粒/m ²)	组成 /%	密度/ (粒/m ²)	组成 /%	密度/ (粒/m ²)	组成 /%	密度/ (粒/m ²)	组成 /%	密度/ (粒/m ²)
松科 Pinaceae	天山云杉 <i>Picea schrenkiana</i> Fish. et Mey.	0.87	3.50	0.04	0.25	63.64	584.50	13.04	52.00	2.01	3.75	0.45	4.25
桦木科 Betulaceae	天山桦 <i>Betula tianschanica</i> Ruprecht.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.26	2.50
荨麻科 Urticaceae	异株荨麻 <i>Urtica cannabina</i> Linn.	0.06	0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
蓼科 Polygonaceae	蒺藜 <i>Polygonum aviculare</i> Linn.	—	—	0.67	4.25	—	—	—	—	—	—	—	—
	拳蓼 <i>Polygonum bistorta</i> Linn.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.85	17.75
藜科 Chenopodiaceae	珠芽蓼 <i>Polygonum viviparum</i> Linn.	3.90	15.75	1.90	12.00	0.54	5.00	1.08	4.25	1.48	2.75	0.13	1.25
	灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i> Linn.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.08	0.75
	藜 <i>Chenopodium album</i> Linn.	3.65	14.75	0.12	0.75	0.71	6.50	—	—	—	—	0.13	1.25
	球花藜 <i>Chenopodium foliosum</i> (Moench) Aschers.	—	—	0.44	2.75	—	—	—	—	—	—	—	—
	小白藜 <i>Chenopodium iljinii</i> Golosk.	1.61	6.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	小藜 <i>Chenopodium serotinum</i> Linn.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03	0.25
大麻科 Cannabaceae	杂配藜 <i>Chenopodium hybridum</i> Linn.	0.37	1.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	大麻 <i>Cannabis sativa</i> Linn.	0.06	0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	白苋 <i>Amaranthus albus</i> Linn.	—	—	0.04	0.25	—	—	—	—	—	—	—	—
石竹科 Caryophyllaceae	反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i> Linn.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03	0.25
	准噶尔繁缕 <i>Stellaria soongarica</i> Roshev.	5.69	23.00	5.35	33.75	3.89	35.75	8.97	35.75	3.49	6.50	13.41	128.00
毛茛科 Ranunculaceae	繁缕 <i>Stellaria media</i> (Linn.) Vill.	—	—	—	—	—	—	—	—	7.38	13.75	6.40	61.00
	繸状卷耳 <i>Cerastium bungeanum</i> Vved.	2.91	11.75	2.38	15.00	—	—	0.19	0.75	—	—	—	—
潘油科 Ranunculaceae	裂叶毛茛 <i>Ranunculus pedatifidus</i> Sm.	—	—	—	2.50	15.75	—	—	—	—	—	—	—
	西伯利亚铁线莲 <i>Clematis sibirica</i> (Linn.) Mill.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.13	1.25
小檗科 Berberidaceae	箭头唐松草 <i>Thalictrum simplex</i> Linn.	0.62	2.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	亚欧唐松草 <i>Thalictrum minus</i> Linn.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
十字花科 Cruciferae	暗紫糙斗菜 <i>Aquilegia atrovirens</i> M. Pop. ex Gamajun	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.10	1.00
	准噶尔金莲花 <i>Trollius dschungaricus</i> Regel	—	—	0.04	0.25	—	—	—	—	—	—	—	—
小檗科 Berberidaceae	蓝堇草 <i>Leptopyrum funarioides</i> (Linn.) Reichb.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.15	1.50
	黑果小檗 <i>Berberis heteropoda</i> Schrank	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
十字花科 Cruciferae	遏蓝菜 <i>Thlaspi arvense</i> Linn.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03	0.25
	葶苈 <i>Draba nemorosa</i> Linn.	—	—	4.67	29.50	—	—	—	—	—	—	—	—

续表

科 Family	物种 Species	年份 Years											
		2004		2005		2006		2007		2008		2009	
		密度/ 组成 /%	密度/ 组成 /%	密度/ 组成 /%	密度/ 组成 /%	密度/ 组成 /%	密度/ 组成 /%	密度/ 组成 /%	密度/ 组成 /%	密度/ 组成 /%	密度/ 组成 /%	密度/ 组成 /%	密度/ 组成 /%
蔷薇科 Posaceae	草原委陵菜 <i>Potentilla desertorum</i> Bge.	—	—	0.08	0.50	—	—	—	—	—	—	—	—
	绿草莓 <i>Fragaria viridis</i> Duch.	0.74	3.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	水杨梅 <i>Geum aleppicum</i> Jacq.	0.68	2.75	—	—	—	—	3.21	12.75	—	—	0.76	7.25
	森林草莓 <i>Fragaria vesca</i> Linn.	—	—	—	—	—	—	—	—	0.40	0.75	0.79	7.50
	石生悬钩子 <i>Rubus saxatilis</i> Linn.	—	—	—	0.12	0.75	0.25	0.25	—	—	—	—	—
	天山羽衣草 <i>Alchemilla tianschanica</i> Juz.	—	—	0.91	5.75	—	—	—	—	—	—	—	—
	天山花楸 <i>Sorbus tianschanica</i> Rupur.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03
	腺毛委陵菜 <i>Potentilla longifolia</i> Willd. ex Schlecht.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.26	2.50
	阿克苏黄芪 <i>Astragalus akeuensis</i> Bge.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.26	2.50
	白花车轴草 <i>Trifolium repens</i> Linn.	13.42	54.25	10.61	67.00	—	—	—	—	0.13	0.25	0.42	4.00
豆科 Panunculaceae	拉普兰棘豆 <i>Oxytropis lapponica</i> (Wahl). J. Gray.	—	—	0.12	0.75	—	—	—	—	—	—	—	—
	拉德京棘豆 <i>Cxytropis ladyginii</i> Kryl.	—	—	—	—	—	—	0.14	0.50	—	—	—	—
牻牛儿苗科 Geraniaceae	草原老鹳草 <i>Geranium pratense</i> Linn.	—	—	0.08	0.50	—	—	—	—	—	—	—	0.03
	鼠掌老鹳草 <i>Geranium sibiricum</i> Linn.	0.12	0.50	—	—	0.05	0.50	—	—	—	—	—	—
凤仙花科 Balsaminaceae	直立老鹳草 <i>Geranium rectum</i> Trautv.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	短距凤仙 <i>Impatiens brachycentra</i> Kar. et Kir.	0.68	2.75	0.08	0.50	0.11	1.00	—	—	1.47	2.75	0.37	3.50
堇菜科 Violaceae	双花堇菜 <i>Viola biflora</i> Linn.	0.12	0.50	0.95	6.00	—	—	—	—	—	—	0.03	0.25
	塔什克羊角芹 <i>Aegopodium tadshikorum</i> Sobischk.	31.85	128.75	16.99	107.25	18.96	174.25	43.26	172.50	50.00	93.25	20.00	190.75
报春花科 Primulaceae	葛缕子 <i>Carum carvi</i> Linn.	—	—	0.16	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—
	寒地报春 <i>Primula algida</i> Adam.	—	—	0.12	0.75	—	—	—	—	—	—	—	—
龙胆科 Gentianaceae	假报春 <i>Cortusa brotheri</i> Pax. ex Lipsky	—	—	0.44	2.75	—	—	—	—	—	—	0.13	1.25
	秦艽 <i>Gentiana macrophylla</i> Pall.	—	—	0.08	0.50	—	—	—	—	—	—	—	—
紫草科 Boraginaceae	新疆假龙胆 <i>Gentianella turkestanorum</i> (Candl.) Holub.	—	—	0.16	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—
	草原勿忘草 <i>Myosotis suaveolens</i> W. et K.	1.73	7.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
唇形科 Labiateae	山地糙苏 <i>Phlomis oreophila</i> Kar. et Kir.	—	—	0.24	1.50	—	—	—	—	—	—	—	—
	车前 <i>Plantago asiatica</i> Linn.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.34	12.75
茜草科 Rubiaceae	平车前 <i>Plantago depressa</i> Willd.	4.70	19.00	2.18	13.75	—	—	—	—	—	—	—	—
	北方拉拉藤 <i>Galium boreale</i> Linn.	3.15	12.75	1.90	12.00	0.22	2.00	4.39	17.50	4.02	7.50	0.13	1.25
	蓬子菜 <i>Galium verum</i> Linn.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.75	26.25

续表

科 Family	物种 Species	年份 Years											
		2004		2005		2006		2007		2008		2009	
		组成 /%	密度/ (粒/m ²)	组成 /%	密度/ (粒/m ²)	组成 /%	密度/ (粒/m ²)	组成 /%	密度/ (粒/m ²)	组成 /%	密度/ (粒/m ²)	组成 /%	密度/ (粒/m ²)
桔梗科	聚花风铃草 <i>Campanula glomerata</i> Linn.	—	—	0.04	0.25	—	—	—	—	—	—	—	—
Campanulaceae	新疆党参 <i>Codonopsis clematidea</i> (Schrenk) C. B. Cl.	0.93	3.75	0.04	0.25	—	—	—	—	—	—	0.26	2.50
菊科 Compositae	薄叶翅膜菊 <i>Alfredia acantholepis</i> Kar. et Kir.	—	—	1.32	8.25	—	—	—	—	—	—	—	—
	翅膜菊 <i>Alfredia cernua</i> (Linn.) Cass.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.08	0.75
	多榔菊 <i>Doronicungansuense</i> Y. L. Chen	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.66	6.25
	东方婆罗门参 <i>Tragopogon altaicum</i> Pall.	—	—	—	13.13	2.09	—	—	—	—	—	—	—
	毒山柳菊 <i>Hieracium bellatum</i> Linn.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	大籽蒿 <i>Artemisia steversiana</i> Ehrhart. ex Willd.	0.12	0.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	大叶橐吾 <i>Ligularia macrophylla</i> (Ledeb.) DC.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	飞廉 <i>Carduus nutans</i> Linn.	0.06	0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	黄花蒿 <i>Artemisia annua</i> Linn.	—	—	—	—	—	—	—	—	0.13	0.25	—	—
	加拿大飞蓬 <i>Erigeron canadensis</i> Linn.	—	—	—	—	1.17	10.75	—	—	—	—	—	—
禾本科 Gramineae	新疆薹 <i>Cirsium semenovii</i> Rgl. et Schnallh.	—	—	—	—	—	—	—	—	0.27	0.50	—	—
	苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i> Linn.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.10	1.00
	林荫千里光 <i>Senecio nemorensis</i> Linn.	—	—	0.20	1.25	—	—	0.14	0.50	—	—	—	—
	毛果一枝黄花 <i>Solidago virgaurea</i> Linn.	0.32	1.25	0.08	0.50	—	—	0.06	0.25	0.13	0.25	0.03	0.25
	湿地蒿 <i>Artemisia tournefortiana</i> Reichb.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	苣荬蒿 <i>Artemisia andaloicles</i> Matf.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	天蓝岩苣 <i>Cicerbita azurea</i> (Ledeb.) Beauv.	6.43	26.00	4.99	31.50	2.78	25.50	13.04	52.00	12.47	23.25	14.1	134.5
	天山千里光 <i>Senecio tianschanicus</i> Linn.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.52	14.50
	万年蒿 <i>Artemisia sacrorum</i> Ledeb.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03	0.25
	小蓬草 <i>Conyza Canadensis</i> (Linn.) Cronq.	0.06	0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03	0.25
莎草科 Cyperaceae	药用蒲公英 <i>Taraxacum officinale</i> F. H. Wigg.	3.59	14.50	0.12	0.75	0.22	2.00	—	—	—	—	3.46	33.00
	垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i> Griseb.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8.52	81.25
	巨序剪股颖 <i>Agrostis gigantea</i> Roth.	—	—	0.04	0.25	—	—	—	—	—	—	—	—
	林地早熟禾 <i>Poa nemoralis</i> Linn.	—	—	16.32	103.00	—	—	8.15	32.50	13.94	26.00	16.46	157.00
	仰卧早熟禾 <i>Poa supina</i> Schrad.	11.56	46.75	21.74	137.25	5.50	50.50	3.45	13.75	—	—	—	—
	黑穗苔草 <i>Carex melanantha</i> C. A. Mey.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.33	31.75
	紫苞鸢尾 <i>Iris ruthenica</i> Ker-Gawl.	—	—	1.62	10.25	2.15	19.75	0.88	3.50	2.68	5.00	0.87	8.25
	斑叶兰 <i>Goodyera schlechtendalliana</i> Reichb. f.	—	—	—	—	0.03	0.25	—	—	—	—	0.13	1.25
	合计 Total	100.00	404.25	100.00	629.50	100.00	918.50	100.00	398.50	100.00	186.50	100.00	953.75
	组成 Compose; 密度 Denisity; 土壤种子库种子密度为平均值; “—”表示该物种不存在	87											

出明显的年际间差异(表 2,图 1)。不同年份土壤种子库中,天山云杉林土壤种子库密度最大的年份为 2009 年,密度最小的年份为 2008 年;不同年份土壤种子库中天山云杉种子密度最大年份为 2006 年,密度最小年份为 2005 年。天山云杉林土壤种子库种子密度与其中的天山云杉种子密度不具有同步性。各采样年份天山云杉林土壤种子库的种子密度大小顺序为:2009 年>2006 年>2010 年>2011 年>2005 年>2004 年>2007 年>2008 年;土壤种子库中的天山云杉种子库密度大小顺序为:2006 年>2011>2007 年>2009 年>2008 年>2004 年>2010 年>2005 年。

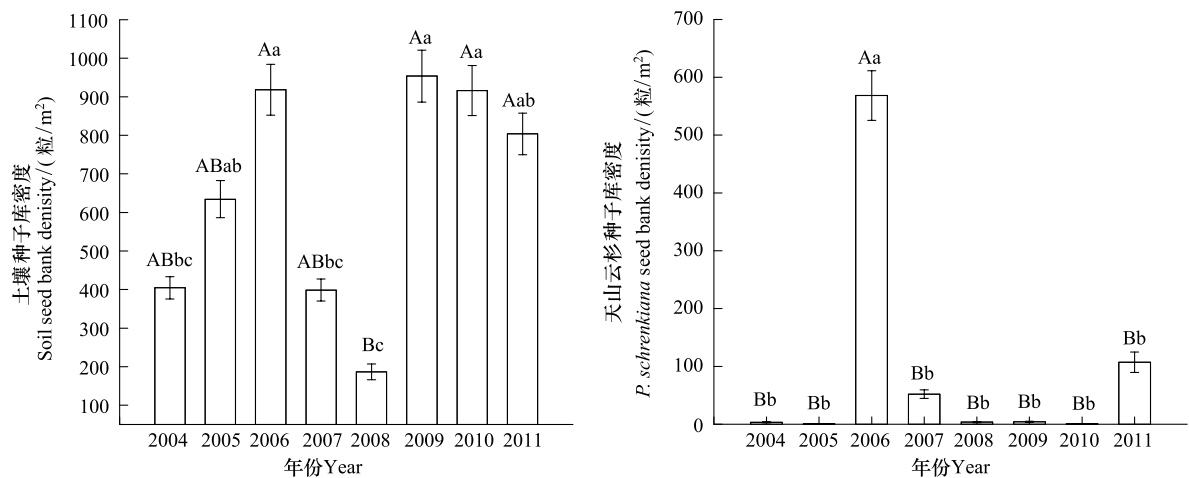


图 1 2004—2011 年天山云杉林土壤种子库种子密度及天山云杉种子库密度

Fig. 1 Seed densities in soil seed bank from 2004 to 2011 in *P. schrenkiana* forest and *P. schrenkiana*

数据为各处理平均值,误差线为标准误差;大写字母不同表示差异极显著($P<0.01$),小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

3.3 不同间隔年限天山云杉林土壤种子库物种相似性及其变化

通过对土壤种子库萌发物种进行归类统计,各年份间土壤种子库物种相似性整体较低,但不同年份间也存在一定差异(表 3)。相似性系数最高的年份为 2009 年与 2010 年,达到 0.450;相似性系数最低的年份为 2007 年与 2011 年,仅为 0.242。其它采样年份之间的土壤种子库种子植物物种相似性系数界于 0.242—0.450 之间,表现为不同间隔年限的物种相似性系数具有一定的波动性。土壤种子库 8 个采样年份的年际间物种组成相似系数均值为 0.344。

表 3 天山云杉林(2004—2011 年)土壤种子库物种相似性系数变化

Table 3 Variation of similarity coefficient of *P. schrenkiana* forest in soil seed bank from 2004 to 2011

年份 Years	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
2004	1							
2005	0.306	1						
2006	0.317	0.267	1					
2007	0.300	0.289	0.326	1				
2008	0.271	0.267	0.318	0.356	1			
2009	0.301	0.280	0.278	0.261	0.316	1		
2010	0.295	0.275	0.269	0.273	0.329	0.450	1	
2011	0.289	0.296	0.282	0.242	0.320	0.397	0.386	1

4 讨论与结论

4.1 土壤种子库中草本植物物种组成及种子密度年际变化

通过连续 8a 对天山云杉林土壤种子库采样并萌发鉴定,共鉴定草本种子植物 83 种,各采样年份有活力种子密度界于 182.75—949.50 粒/m² 之间(图 2,图 3)。从土壤种子库中草本植物的物种数和种子密度的年际变化反映出,除少数物种外,大多数物种在土壤种子库中具有不稳定性或非持续性的特征。各采样年份土

壤种子库中均存在的林下草本植物种仅为伞形科的塔什克羊角芹(*A. tadshikorum*)、石竹科的准噶尔繁缕(*S. soongarica*)、菊科的天蓝岩苣(*C. azurea*)、蓼科的珠芽蓼(*P. viviparum*)和茜草科的北方拉拉藤(*G. boreale*)。这可能是上述物种在土壤中形成了持久种子库,加之种子雨每年的持续不断输入使其在土壤种子库中表现出较高的稳定性与持续性。相比较而言,土壤种子库中豆科的阿克苏黄芪(*A. akeuensis*)、堇菜科的双花堇菜(*V. biflora*)、石竹科的镰状卷耳(*C. bungeanum*)等物种在不同年份波动较大,可能是由于这些物种的种子在散落后的较短时间内已经开始萌发未能形成持久土壤种子库,或虽形成了土壤种子库,但其种子库中种子储量较低,加之种子具有休眠的特性,使其在土壤种子库中表现出不稳定和非持续性的特征。另外,大部分多年生植物在其生活史中既具营养繁殖、又具种子繁殖,并且两种类型的后代在大小、产生时间、传播效率、结实、死亡率等方面表现出明显的差异^[20],均会造成草本植物种子库的年际差异。同时,年降水量、温度等气象因素的变异也会因影响植物种子产量而导致土壤种子库的年际变化,但本研究缺少与天山云杉林土壤种子库采样相同地点及采样年份同步的气象记录,对此无法进行深入分析。

除上述原因外,由于本研究土壤种子库采样时间为种子散落后的翌年4月下旬,加大了种子从散落到采样期间被捕食或活力丧失的风险,造成部分物种种子损失或失活,在一定程度上也是导致土壤种子库物种数和种子密度年际变化的原因。与此同时,由于某些植物种子具有休眠特性且本研究室室内萌发观测时间有限,不可能同时达到所有物种的最佳萌发条件,从而导致种子库中的一些物种不能萌发,存在低估种子库物种组成的可能。

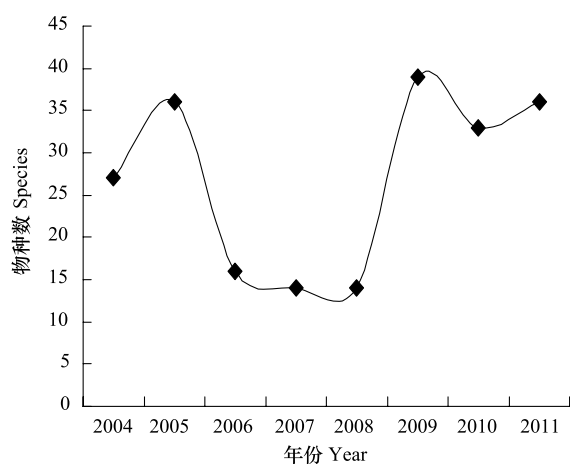


图2 土壤种子库中草本植物物种数年际变化

Fig. 2 Inter-annual variation of herb species in soil seed bank of *P. schrenkiana* forest

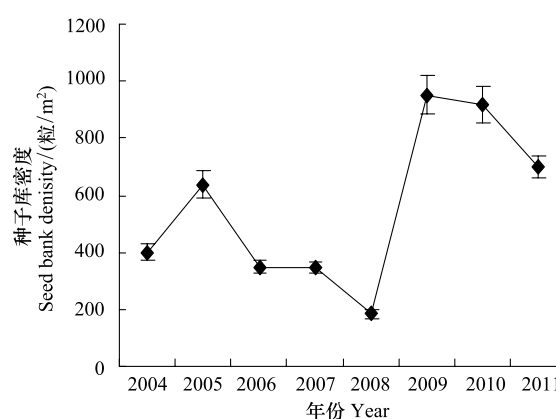


图3 土壤种子库中草本植物种子密度年际变化

Fig. 3 Inter-annual variation of seed bank densities of herb species in soil seed bank of *P. schrenkiana* forest

4.2 土壤种子库中天山云杉种子密度年际变化

研究结果表明,土壤种子库中天山云杉种子密度存在明显的年际差异。这一结论与尹华军等^[21]对川西米亚罗亚高山云杉(*Picea asperata*)林土壤种子库研究结果相一致,与子午岭油松(*Pinus tabulaeform*)林^[22]和小兴安岭阔叶红松(*Pinus koraiensis*)林^[23]土壤种子库的研究结果具有相似之处。在2004—2011年天山云杉林土壤种子库连续采样的8a中,土壤种子库中天山云杉种子密度最高年份(2006年,(584.50 ± 53.58)粒/ m^2)为次高年份(2011年,(107.25 ± 17.62)粒/ m^2)的5.50倍,为最低年份(2005年,(0.25 ± 2.46)粒/ m^2)的2338倍,变异系数达到211.92%,种子库中天山云杉种子密度的年际波动巨大。根据观测,2005年是天山云杉的种子年,2010年为平年,其它年份(2004年、2006年、2007年、2008年、2009年、2011年)均为歉年,可见土壤种子库中天山云杉种子密度的年际变化与其种子库采样前一年天山云杉结实的丰歉直接相关。另外,通过对天山云杉种子野外(与种子库采样同一林地)埋藏试验证明,活力能维持1a以上的种子不足10%。可

见,天山云杉种子活力的持续时间对削减因其结实丰歉变化引起的种子库密度年际巨大波动的作用很小。不少研究认为,天然状况下多数针叶树种依靠种子更新^[24-25],但针叶树种种子质量较差,不能形成持久土壤种子库^[26]。徐化成等^[27]对兴安岭落叶松(*Larix gmelini*)土壤种子库研究结果表明,种子年后第1年春季土壤中种子很丰富,但到当年生长季末(8月)土壤中有生活力的种子仅存1/10—1/8左右,到第2年则更少,属于间断型土壤种子库。本研究土壤种子库中天山云杉种子从扩散到大部分种子失去活力不超过一年,与川西米亚罗高山云杉^[21]、兴安岭落叶松^[27]等土壤种子库具有相似的特点,属于间断类型土壤种子库,这从天山云杉林分年龄结构的分析中也得到了间接印证^[28]。

土壤种子库年际变化主要是由降水等气象因素的变化、植被的演替以及植物结实的周期性等原因所致^[29]。朱晓梅等^[30]对杉木种子园研究后认为,不同年份气候限制性因子的不同,会导致树体内营养生长和生殖生长的不平衡,形成了花芽数量有规律的变化,花期如遇长期阴雨或晚霜和早霜的冻害,则授粉不良,座果率下降,致使种子雨产生年际波动,进而影响土壤种子库中种子的密度。种子落到地面后的命运取决于环境筛选的作用^[31],几乎所有生物及非生物因子都会影响种子的命运^[32]。另外,由于种子具有休眠的特性,大部分种子会进入土壤形成土壤种子库,之后动物的搬运、取食、微生物侵染等则是影响种子库动态的主要因素,而所有这些因素因种子本身状况和生境的异质性其影响程度又有所差异。尹华军等^[21]对川西米亚罗高山云杉林种子库研究后认为,腐烂种子占其土壤种子库的绝大部分,成为引起土壤种子库年际变化的重要因素之一,空粒种子在土壤种子库中也占有较高比例。邹莉等^[33]对巴山冷杉(*Abies fargesii*)种子雨研究后认为,冷杉种子中无活力种子占有较大比例,其单性结实现象是导致大量空粒种子产生的原因之一。高润梅等^[34]通过研究华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、青杆(*Picea wilsonii*)、白杆(*Picea meyeri*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)等针叶树种土壤种子库后认为,在土壤种子库中上述物种种子占极小比例或不存在的原因是其种子富含淀粉或油脂,易遭到动物取食,且潮湿环境中病原真菌也对土壤种子库起到衰减作用。究竟是何种因素对天山云杉林土壤种子库中天山云杉种子的年际变化产生如此大的影响,尚需进一步深入研究。

4.3 不同间隔年限天山云杉林土壤种子库物种相似性变化

计算结果显示,2004—2011年天山云杉林土壤种子库随间隔年限的增加,其物种相似性系数呈现出减小—增大—减小的变化趋势(图4),这一现象在一定程度上代表了天山中部森林植物种子萌发的特性。从种子萌发试验鉴定结果来看,天山云杉林土壤种子库中除天山云杉种子外,大多以多年生或1、2年生草本植物种子为主。统计数据表明,天山云杉林土壤种子库中绝大多数物种种子具有不稳定性或非持续性的特征。土壤种子库的这种不稳定性或非持续性被认为是受多种因素影响的结果,具体表现为种间关系、生境异质性、植物种本身的生物学特性等^[35]。龙翠玲等^[36]对茂兰喀斯特森林土壤种子库研究后认为,种源及生境特征的差异均是造成土壤种子库物种稳定性和连续性差异的原因,也是种子库物种和种子数量空间变异较大的原因所在。从天山云杉林土壤种子库中萌发物种统计来看,草本层物种丰富度相对较高。较高的物种差异性不同年份的环境差异性致使各个物种物候期不尽相同,加之光照、温度、降水等环境因子的不确定性,在一定程度上也造成了不同年份种子萌发时间的差异,导致不同间隔年限土壤种子库物种相似性系数的波动。另外,由于2005年为天山云杉种子年,导致2006年土壤种子库中天山云杉种子密度急剧增加,占全部种子密度的63.64%,其它物种种子密度与相邻调查年份相比明显偏小,也是导致不同间隔年限天山云杉林土壤种子库物种相似性波动变化的原因之一。除此之外,有研究认为同一物种的种子具有不同程度的生理性休眠状态^[37],由于天山云杉林草本植物土壤种子库中同一物种的种子休眠深度可能不同,致使解除休眠的时间也不尽一

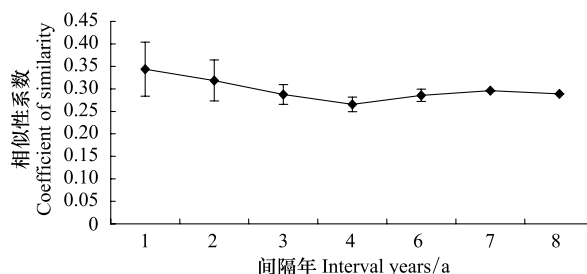


图4 不同间隔年限天山云杉林土壤种子库物种相似性系数变化
Fig. 4 Soil seed bank of *P. schrenkiana* forest similarity coefficient change in different years

致,呈现不整齐的萌发特点,这种萌发时间上的不同步性也是种子萌发策略的一种表现形式。

从天山云杉林土壤种子库不同间隔年限物种组成的相似性系数变化来看(图4),当间隔年限为1—4a时,不同年份间土壤种子库物种相似性系数随间隔年限的增加呈逐渐减小的趋势,这一变化与袁宝妮等^[38]对黄土丘陵土壤种子库的研究结果具有相似之处。产生此种变化的原因之一可能与物种物候期对气象条件的年际变化极其敏感有关^[39]。通过与2004年土壤种子库采样萌发出的物种对比,2005—2007年各年份部分未出现或间断出现的物种可能是由于其物候期发生改变使种子提前萌发,未能进入土壤种子库,造成萌发鉴定试验中未获得该物种的幼苗,物种丰富度随之减小,相似性系数呈降低趋势;另一种原因是由于各科、属及同种物种在不同时期的休眠深浅有所差异,部分物种种子在采集的种子库土样中一直未能萌发,导致物种相似性系数减小。相比较而言,当间隔年限为4—6a时,其物种相似性系数呈逐渐增加的变化趋势,这是由于2007—2011年各年份中,随着间隔年限的增加,植物种子生长发育期与物候期趋同,不仅使得该年份物种种子打破休眠正常萌发,加之上一年的种子库中积累的种子萌发,其物种相似性系数呈上升趋势。另外,朱教君等^[40]研究认为,干扰在影响物种组成、多样性方面起着重要作用,植被在通过种子更新的过程中,各种干扰因素可促进种子扩散,致使群落结构发生变化。在一些特定的干扰中,可使林分内部光照和土壤温度等因子发生突然变化,触动土壤种子库中休眠的种子萌发并生长发育结实,造成相邻年份及间隔不同年限物种在土壤种子库中发生变化。除受萌发或休眠影响外,动物取食行为、霉变、化感作用等均会造成间隔不同年限同一物种或不同物种种子密度及物种种类的波动,进而影响物种相似性系数。在以后的研究中,需对不同采样地点的立地特征进行综合分析。

References:

- [1] Harper J L. Population Biology of Plants. New York: Academic Press, 1977: 256-263.
- [2] McDonald A W, Bakker J P, Vegelin K. Seed bank classification and its importance for the restoration of species-rich flood-meadows. *Journal of Vegetation Science*, 1996, 7(2): 157-164.
- [3] Yu S L, Jiang G M. The research of soil seed bank and several hot topics. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(4): 552-560.
- [4] Nathan R. Long distance dispersal of plants. *Science*, 2006, 313: 786-788.
- [5] Marone L, Rossi B E, Horno M E. Timing and spatial patterning of seed dispersal and redistribution in a South American warm desert. *Plant Ecology*, 1998, 137: 143-150.
- [6] Nathan R, Safriel U N, Noy-Meir I. Spatiotemporal variation in seed dispersal and recruitment near and far from *Pinus halepensis* trees. *Ecology*, 2000, 81(8): 2156-2169.
- [7] Coffin D P, Lauenroth W K. Spatial and temporal variation in the seed bank of a semiarid grassland. *American Journal of Botany*, 1989, 76(1): 53-58.
- [8] Bekker R M, Verweij G L, Bakker J P, Fresco L F M. Soil seed bank dynamics in hayfield succession. *Journal of Ecology*, 2000, 88: 594-607.
- [9] 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.
- [10] Li H Y, Mo X Q, Hao C. A review of study on soil seed bank in the past thirty years. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(2): 731-737.
- [11] Tørresen K S, Skuterud R, Tandsæther H J, Hagemo M B. Long-term experiments with reduced tillage in spring cereals. I. Effects on weed flora, weed seedbank and grain yield. *Crop Protection*, 2003, 22: 185-200.
- [12] Moonen A C, Bärberi P. Size and composition of the weed seed bank after 7 years of different over-crop-maize management systems. *Weed Research*, 2004, 44: 163-177.
- [13] Mason T J, French K, Russell K G. Moderate impacts of plant invasion and management regimes in coastal hind dune seed banks. *Biological Conservation*, 2007, 134: 428-439.
- [14] Xinjiang Comprehensive Survey Team of Chinese Academy of Sciences, Institute of Botany. *Vegetation and Its Utilization in Xinjiang*. Beijing: Science Press, 1978: 157-166.
- [15] Yin K, Pan C D, Liu C L, Chang J, Chen D M. Species compositions and vertical distribution of soil seed bank in *Picea schrenkiana* Forest. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2005, 28(4): 1-4.

- [16] Wang L, Pan C D, Liu C L. Storage and vertical distribution of soil seed bank in *Picea schrenkiana* forest after the seed age. Xinjiang Agricultural Sciences, 2007, 44(2): 111-114.
- [17] Chen D M, Pan C D, Liu C L, Chang J, Yin K. Analysis on micro-habitat variables affecting natural regeneration and survival of seedlings in *Picea schrenkiana* stand. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2005, 28(3): 35-39.
- [18] Simpson R L, Leck M A, Parker V T. Seed banks: general concepts and methodological issues // Leck M A, Parker V T, Simpson R L, eds. Ecology of Soil Seed Banks. San Diego: Academic Press, 1989: 3-8.
- [19] Ma K P, Liu Y M. Measure of biodiversity. I. test of a diversity (second). Chinese Biodiversity, 1994, 2(4): 231-239.
- [20] Fenner M, Thompson K. The Ecology of Seeds. Cambridge: Cambridge University Press, 2005: 1-31.
- [21] Yin H J, Liu Q. Seed rain and soil seed banks of *Picea asperata* in subalpine spruce forests, western Sichuan, China. Acta Phytocologica Sinica, 2005, 29(1): 108-115.
- [22] Zhang X B, Wang R J, Shang Guan Z P. Dynamics of seed rain and soil seed bank in *Pinus tabulaeformis* Carr. forests in eroded hilly loess regions of the Loess Plateau in China. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1877-1884.
- [23] Liu S, Jin G Z. Spatiotemporal dynamics of seed rain in a broadleaved Korean pine mixed forest in Xiaoxingan Mountains. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5731-5740.
- [24] Johnson E A, Fryer G I. Why Engelmann spruce does not have a persistent seed bank. Canadian Journal of Forestry Research, 1996, 26(5): 872-878.
- [25] Stoehr M U. Seed production of western larch in seed-tree systems in the southern interior of British Columbia. Forest Ecology and Management, 2000, 130(1/3): 7-15.
- [26] Augusto L, Dupouey J L, Picard J F. Potential contribution of the seed bank in coniferous plantations to the restoration of native deciduous forest vegetation. Acta Oecologica, 2001, 22(2): 87-98.
- [27] Xu H C, Ban Y. The distribution of seeds in the soil and the sustainability of the seed bank of *Larix gmelini* in northern Da XingAnLing Mountains. Acta Phytocologica Sinica, 1996, 20(1): 28-34.
- [28] Pan C D, Zhang Y S, Zhou L S. A study on age structure of shrenk spruce stand. Journal of August 1st Agriculture College, 1991, 14(3): 68-75.
- [29] Kemp P R. Seed bank and vegetation processes in deserts // Leck M A, Parker V T, Simpson R L, eds. Ecology of Soil Seed Banks. San Diego: Academic Press, 1989: 257-281.
- [30] Zhu X M, Fang L J. Studies on on and off-year period of seed yield of *Cunninghamia lanceolata* seed orchard. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 1999, 19(3): 18-22.
- [31] Sun S C, Chen L Z. Seed demography of *Guercus liaotungensis* in Dongling Mountain Region. Acta Phytocologica Sinica, 2000, 24(2): 215-221.
- [32] Vander Wall S B, Forget P M, Lambert J E, Hulme P E. Seed fate pathways: filling the gap between parent and offspring // Forget P M, Lambert J E, Hulme P E, Vander Wall S B eds. Seed Fate: Predation, Dispersal and Seedling Establishment. Wallingford: CABI Publishing, 2002: 1-8.
- [33] Zhou L, Xie Z Q, Li Q M, Zhao C M, Li C L. Spatial and temporal pattern of seed rain of *Abies fargesii* in Shennongjia Nature Reserve, Biodiversity Science 2007, 15(5): 500-509.
- [34] Gao R M, Guo J P, Guo Y D. Characteristics of soil seed bank and tree regenerations of riparian forests in the upper reach of Wenyuhe watershed in Shanxi Province. Plant Science Journal, 2011, 29(5): 580-588.
- [35] Kevin J R, Andrew R D. Seed aging, delayed germination and reduced competitive ability in *Bromus tectorum*. Plant Ecology, 2001, 155: 237-243.
- [36] Long C L, Yu S X. Space variation of seed rain and seed bank in gaps of Karst forest in Maolan Nature Reserve, Guizhou Province. Acta Botanica Yunnanica, 2007, 29(3): 327-332.
- [37] Lai J S, Li Q M, Xie Z Q. Seed germinating characteristics of the endangered plant *Abies chensiensis*. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(5): 661-666.
- [38] Yuan B N, Li D W, Li J X. Studies on characteristics of soil seed banks in natural vegetation restoration of the Loess hilly gully regions. Agricultural Research in the Arid Area 2009, 27(6): 216-222.
- [39] Lu P L, Yu Q, He Q T. Responses of plant phenology to climatic change. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(3): 924-929.
- [40] Zhu J J, Liu S R. Ecological research on forest disturbances. Beijing: China Forestry Press, 2007, 14-16.

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.
- [9] 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.
- [10] 李洪远, 莫训强, 郝翠. 近30年来土壤种子库研究的回顾与展望. 生态环境学报, 2009, 18(2): 731-737.
- [14] 中国科学院新疆综合考察队, 植物研究所. 新疆植被及其利用. 北京: 科学出版社, 1978: 157-166.

- [15] 尹锴,潘存德,刘翠玲,常静,陈迪马. 天山云杉林土壤种子库物种组成及其垂直空间分布. 新疆农业大学学报,2005,28(4):1-4.
- [16] 汪莉,潘存德,刘翠玲. 种子年后天山云杉林土壤种子库储量及其垂直空间分布. 新疆农业科学,2007,44(2):111-114.
- [17] 陈迪马,潘存德,刘翠玲,常静,尹锴. 影响天山云杉天然更新与幼苗存活的微生境变量分析. 新疆农业大学学报,2005,28(3):35-39.
- [19] 马克平,刘玉明. 生物群落多样性的测试方法. I 多样性的测度方法(下). 生物多样性,1994,2(4):231-239.
- [21] 尹华军,刘庆. 川西米亚罗亚高山云杉林种子雨和土壤种子库研究. 植物生态学报,2005,29(1):108-115.
- [22] 张希彪,王瑞娟,上官周平. 黄土高原子午岭油松林的种子雨和土壤种子库动态. 生态学报,2009,29(4):1877-1884.
- [23] 刘双,金光泽. 小兴安岭阔叶红松(*Pinus koraiensis*)林种子雨的时空动态. 生态学报,2008,28(11):5731-5740.
- [27] 徐化成,班勇. 大兴安岭北部兴安落叶松种子在土壤中的分布及其种子库的持续性. 植物生态学报,1996,20(1):28-34.
- [28] 潘存德,张瑛山,周林生. 天山云杉林年龄结构的研究. 八一农学院学报,1991,14(3):68-75.
- [30] 朱晓梅,方乐金. 杉木种子园种子产量大小年周期研究. 浙江林业科技,1999,19(3):18-22.
- [31] 孙书存,陈灵芝. 东灵山地区辽东栎种子库统计. 植物生态学报,2000,24(2):215-221.
- [33] 邹莉,谢宗强,李庆梅,赵常明,李传龙. 神农架巴山冷杉种子雨的时空格局. 生物多样性,2007,15(5):500-509.
- [34] 高润梅,郭晋平,郭跃东. 山西文峪河上游河岸林的土壤种子库与树种更新特征. 植物科学学报,2011,29(5):580-588.
- [36] 龙翠玲,余世孝. 茂兰喀斯特森林林隙种子雨、种子库空间变异. 云南植物研究,2007,29(3):327-332.
- [37] 赖江山,李庆梅,谢宗强. 濒危植物秦岭冷杉种子萌发特性的研究. 植物生态学报,2003,27(5):661-666.
- [38] 袁宝妮,李登武,李景侠. 黄土丘陵沟壑区植被自然恢复过程中土壤种子库特征. 干旱地区农业研究,2009,27(6):216-222.
- [39] 陆佩玲,于强孙,贺庆棠. 植物物候对气候变化的响应. 生态学报,2006,26(3):924-929.
- [40] 朱教君,刘世荣. 森林干扰生态研究. 北京:中国林业出版社,2007,14-16.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 14 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

A review of the researches on *Alectoris* partridge SONG Sen, LIU Naifa (4215)

Autecology & Fundamentals

Effects of precipitation and nitrogen addition on photosynthetically eco-physiological characteristics and biomass of four tree seedlings in Gutian Mountain, Zhejiang Province, China YAN Hui, WU Qian, DING Jia, et al (4226)

Effects of low temperature stress on physiological-biochemical indexes and photosynthetic characteristics of seedlings of four plant species SHAO Yiruo, XU Jianxin, XUE Li, et al (4237)

Decomposition characteristics of maize roots derived from different nitrogen fertilization fields under laboratory soil incubation conditions CAI Miao, DONG Yanjie, LI Baijun, et al (4248)

The responses of leaf osmoregulation substance and protective enzyme activity of different peanut cultivars to non-sufficient irrigation ZHANG Zhimeng, SONG Wenwu, DING Hong, et al (4257)

Interannual variation of soil seed bank in *Picea schrenkiana* forest in the central part of the Tianshan Mountains LI Huadong, PAN Cunde, WANG Bing, et al (4266)

Physiological & ecological effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole LI Lingli, GUO Hongxia, HUANG Genghua, et al (4278)

Effects of magnesium, manganese, activated carbon and lime and their interactions on cadmium uptake by wheat ZHOU Xiangyu, FENG Wenqiang, QIN Yusheng, et al (4289)

Effects of increased concentrations of gas CO₂ on mineral ion uptake, transportation and distribution in *Phyllostachys edulis* ZHUANG Minghao, CHEN Shuanglin, LI Yingchun, et al (4297)

Effects of pH, Fe and Cd concentrations on the Fe and Cd adsorption in the rhizosphere and on the root surfaces of rice LIU Danqing, CHEN Xue, YANG Yazhou, et al (4306)

Effects of low-light stress on maize ear development and endogenous hormones content of two maize hybrids (*Zea mays* L.) with different shade-tolerance ZHOU Weixia, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (4315)

Effects of maize || peanut intercropping on photosynthetic characters and yield forming of intercropped maize JIAO Nianyuan, NING Tangyuan, YANG Mengke, et al (4324)

Cloning root system distribution and architecture of different forest age *Populus euphratica* in Ejina Oasis HUANG Jingjing, JING Jialin, CAO Dechang, et al (4331)

Impact of vegetation interannual variability on evapotranspiration CHEN Hao, ZENG Xiaodong (4343)

Mating behavior of *Pachycrepoides vindemmiae* and the effects of male mating times on the production of females SUN Fang, CHEN Zhongzheng, DUAN Bisheng, et al (4354)

Component analysis and bioactivity determination of fecal extract of *Locusta migratoria tibetensis* (Chen) WANG Haijian, LI Yili, LI Qing, et al (4361)

Effects of different rice varieties on larval development, survival, adult reproduction, and flight capacity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) LI Xia, XU Xiuxiu, HAN Lanzhi, et al (4370)

Population, Community and Ecosystem

Genetic structure of the overwintering Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) collections in Shandong of China based on *mtCOII* gene sequences LI Lili, YU Yi, GUO Dong, TAO Yunli, et al (4377)

The structure and diversity of insect community in Taihu Wetland HAN Zhengwei, MA Ling, CAO Chuanwang, et al (4387)

Annual variation pattern of phytoplankton community at the downstream of Xijiang River WANG Chao, LAI Zini, LI Xinhui, et al (4398)

Effect of species dispersal and environmental factors on species assemblages in grassland communities WANG Dan, WANG Xiao'an, GUO Hua, et al (4409)

- Cyanobacteria diversity in biological soil crusts from different erosion regions on the Loess Plateau: a preliminary result YANG Lina, ZHAO Yunge, MING Jiao, et al (4416)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Zoning for regulating of construction land based on landscape security pattern WANG Siyi, OU Minghao (4425)
- Fragmentation process of wetlands landscape in the middle reaches of the Heihe River and its driving forces analysis ZHAO Ruifeng, JIANG Penghui, ZHAO Haili, et al (4436)
- Analysis on grassland degradation in Qinghai Lake Basin during 2000—2010 LUO Chengfeng, XU Changjun, YOU Haoyan, et al (4450)
- Research on soil erosion based on Location-weighted landscape index (LWLI) in Guanchuanhe River basin, Dingxi, Gansu Province LI Haifang, WEI Wei, CHEN Jin, et al (4460)
- Effects of host density on parasitoids and hyper-parasitoids of cereal aphids in different agricultural landscapes GUAN Xiaoqing, LIU Junhe, ZHAO Zihua (4468)
- Effects of interactive CO₂ concentration and precipitation on growth characteristics of *Stipa breviflora* SHI Yaohui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (4478)
- Resource and Industrial Ecology**
- Eco-service efficiency assessment method of urban land use: a case study of Changzhou City, China YANG Wenrui, LI Feng, WANG Rusong, et al (4486)
- Changes in phosphorus consumption and its environmental loads from food by residents in Xiamen City WANG Huina, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (4495)
- Research Notes**
- Intercropping enhances the farmland ecosystem services SU Benying, CHEN Shengbin, LI Yonggeng, et al (4505)
- Assessment indicator system of eco-industry in mining area WANG Guangcheng, WANG Huanhuan, TAN Lingling (4515)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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

本期责任副主编 骆世明

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 33 卷 第 14 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 14 (July, 2013)

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



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元