

草炭与珍珠岩对土壤种子库种子萌发特征的影响

赵娜, 贺梦璇, 李洪远

(南开大学 环境科学与工程学院, 天津 300350)

摘要: [目的] 探究基质添加对土壤种子库种子萌发特征的影响, 为今后土壤种子库应用于植被恢复工程提供有价值的参考。[方法] 借鉴日本植被恢复的先进经验, 采用温室萌发法探究有机基质(草炭)、无机基质(珍珠岩)及混合基质(草炭与珍珠岩)添加对土壤种子库种子萌发特征的影响。[结果] 草炭与珍珠岩混合基质对土壤种子库密度、物种多样性的促进作用更为明显, 当混合基质与表土配比为 20% 和 30% 时, Shannon-Wiener 多样性指数和种子库密度分别达到最高值; 种子库萌发曲线中, 混合基质组的萌发效果明显高于空白组和其他组; 种子库密度与土壤因子的多元回归分析中, C, N, P, K 元素均对种子库密度影响显著, 进一步通过 CCA 排序法, 分析发现大部分植物均对土壤含水率和 C, N, P, K 等元素有一定程度上的要求。[结论] 向表土中添加混合基质作为一种人工措施, 能有效地促进种子库密度和物种多样性, 可为植被恢复工程提供具有实用价值的参考。

关键词: 基质; 土壤种子库; 萌发曲线; 回归分析; 典范对应分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)06-0092-05

中图分类号: Q142.3

文献参数: 赵娜, 贺梦璇, 李洪远. 草炭与珍珠岩对土壤种子库种子萌发特征的影响[J]. 水土保持通报, 2016, 36(6): 092-096. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.06.016

Influences of Peat and Perlite on Germination Characteristics of Soil Seed Bank

ZHAO Na, HE Mengxuan, LI Hongyuan

(College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China)

Abstract: [Objective] The impacts on germination characteristics of soil seed bank (SSB) by adding different substrates were researched to provide valuable reference for the application of soil seed bank in vegetation restoration project in the future. [Methods] In the light of experience from Japan vegetation restoration, greenhouse germination was used to explore the impacts on germination characteristic of SSB by adding different substrates, such as organic substrate (peat), inorganic substrate (perlite) and mixed substrate (peat and perlite). [Results] Seed density and species diversity indexes were apparently improved by adding mixed substrate (peat and perlite). The mixing ratio with topsoil of 20% and 30% had witnessed the highest Shannon-Wiener diversity index and soil seed bank density. For germination curves of SSB, the mixed substrate group showed greater advantage than those of control group and other groups. Multiple regression analysis between soil seed bank density and soil properties, including C, N, P, K elements, showed that soil properties had extremely significant influence on the density of soil seed bank. CCA analysis showed that most plants had a certain degree of requirements on moisture content, C, N, P and K elements. [Conclusion] As a kind of artificial measures, adding mixed substrate to topsoil can promote the seed density and species diversity effectively, which is valuable for the vegetation restoration.

Keywords: substrates; soil seed bank; germination curves; regression analysis; canonical correspondence analysis

土壤种子库 (soil seed bank, SSB) 是指土壤及土壤表面落叶层中具有生命力的种子总和^[1]。土壤种子库作为地面植被的“基因潜库”, 是植被更新、繁衍

源物质的提供者^[2], 在植被潜在更新和植被恢复过程中起着极其重要的作用。此外, 丰富的土壤种子库多样性为重建多种植被提供了潜在的可能^[3]。因此, 土

收稿日期: 2016-03-08

修回日期: 2016-03-23

资助项目: 国家自然科学基金项目“不同生境下城市绿化树种 VOCs 排放影响机制及估算模型研究”(31370700)

第一作者: 赵娜(1991—), 女(汉族), 山西省长治市人, 硕士研究生, 研究方向为植被恢复技术与生态工程。E-mail: nku_zhaona@126.com。

通讯作者: 李洪远(1963—), 男(汉族), 天津市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事恢复生态学及植被生态学研究。E-mail: eialec@nankai.edu.cn。

壤种子库作为原植被繁殖体的来源,在退化土地的植被重建中起着十分重要的作用^[4]。国外对土壤种子库的研究起步较早,且对其应用于工程实践的研究也有突破性进展,尤其是在日本已有许多土壤种子库应用的案例,例如将土壤种子库应用于水库裸地、垃圾处理场以及高速道路周边的植被恢复等^[5-6]。此外,日本学者针对表土混入植生基质中进行喷播的绿化方法进行了多方面的实践性研究,主要体现在森林植被恢复和边坡绿化上^[7],特别是对林道的坡面绿化很有效,并且 Miyamoto^[8]和 Hosogi 等^[9]认为表土混合比例为 20%~30%时,将更早实现既定覆盖率目标,长出更多的木本植物。国内土壤种子库的研究大多集中在基本特征探究方面,对土壤种子库应用于植被恢复实践工程的研究非常少^[10]。通过总结 CNKI 从 2010 年至今发表的文献,发现近几年种子库基础特征的研究仍占较大比例,平均占每年文献的 33.7%;而对土壤种子库与植被恢复的研究平均只占到每年文献的 13.5%,且大多为植被恢复过程中土壤种子库的研究以及对土壤种子库用于植被恢复的潜力研究。总体而言,国内对土壤种子库的研究仍然集中在基础阶段,实践工程研究仍是非常少,甚至连试验室阶段的研究也很少^[11]。因此,本研究从工程应用的角度出发,借鉴日本土壤种子库工程案例的成功经验,选择天津地区常见的植生基质草炭与珍珠岩,探究基质添加对土壤种子库种子萌发特征的影响,包括土壤种子库密度、生物多样性、萌发曲线、基质添加后的土壤理化性质与种子库密度的关系等等,为今后土壤种子库应用于植被恢复工程提供有价值的参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

基质能为植物根系生长提供稳定、良好的根际环境以及充足的含水率和营养物质。本研究中选择的无机基质和有机基质分别为珍珠岩和草炭,因为珍珠岩具有很强的吸水性(体积吸水率达 30%),可作为种子库建设中低温、保温材料^[12];草炭可以提高土壤环境质量,稳定土壤结构,作为一种土壤改良剂,能迅速增加土壤有机质含量^[13];并且这 2 种基质在本研究区域内容易获得,成本也较低。

1.2 取样地概况

取样地点设在天津市武清区(116°46'43"—117°19'59"E, 39°07'05"—39°42'20"N),属于典型的城郊结合带,具有相对丰富的植物区系和种子库多样性,在土壤种子库方面具有很大的研究价值。该地区土壤的成土母质多为永定河和北运河的冲积物,土壤

有机质累积量不多,且呈微碱性。武清区内含丰富的植物种类,如榆树(*Ulmus pumila*)、绒毛白蜡(*Fraxinus velutina*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)等天津常见的乡土树种。

1.3 取样方法

土壤种子库的取样一般选在种子雨散布结束后到种子萌发前。本研究于 2014 年 3 月,在取样地选取有代表性的 5 个样地,每个样地随机选择 6 个样方,共计 30 个样方。其中,样地面积为 20 m×20 m,样方面积为 1 m×1 m,在选定样方内以样点为中心,在东、西、南、北侧间隔 1 m 处再各设置 4 个采样点进行采样。每个样方采集 0—15 cm 的表土作为土样,仔细去掉样品中的砂石、枯叶等杂质后(杂质中不含植物种子),将土样装进塑料袋封口并带回实验室。对土壤种子库取样的同时,记录各样地地表植被群落状况,主要包括物种组成、数量及植被盖度等指标。

1.4 试验设计

本研究采用温室萌发法。先将取回的土样全部混合均匀,参考日本土壤种子库工程案例及研究室前期的工作经验^[8-11],并充分考虑植生基质的成本,设置草炭、珍珠岩、草炭与珍珠岩(体积比为 1:1)和表土的混合比例分别为 10%,20%,30%和 40%,然后按比例分别将基质与土样混合均匀,铺成 5 cm 厚的苗床,其中萌发盘面积为 50 cm×20 cm。此外,设置一组空白组(即不添加任何基质)作为对照。试验以连续 6 周无新幼苗长出视为萌发试验结束,整个萌发试验自 3 月 5 日开始至 5 月 30 日结束,历时 12 周。萌发试验全程采用自然光,经常洒水保持土壤湿润,定期记录土壤种子库萌发的种类、数量等数据。

1.5 样品分析及数据处理

萌发试验结束后,参照《土壤理化分析》分别测定新鲜土壤的含水率(WC)、有效磷(AP)、有效钾(AK)、总碳(TC)、总氮(TN)等 5 个指标。本研究所有数据采用 Excel, R 2.15.0, SPSS 20.0, Canoco 4.5 等软件进行处理。本文在多样性指数计算中,选择 Shannon-Wiener 多样性指数进行分析,公式为:

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i) \quad (1)$$

式中: P_i ——第 i 种植物萌发数占种子库中总萌发个体数的比例; S ——各萌发盘中总物种数。

2 结果与分析

2.1 土壤种子库基本特征

2.1.1 土壤种子库密度 从图 1 可以看出,添加单一基质对种子库密度的影响差异性不显著;随着混合

基质与表土配比的增加,土壤种子库密度出现 1 个峰值,即草炭和珍珠岩 1:1(体积比)并与表土配比为 30%时,种子库密度高达 3.63×10^6 株/m²。总体来看,添加混合基质的种子库密度明显高于其他组,这可能与基质添加后土壤的理化性质有关。

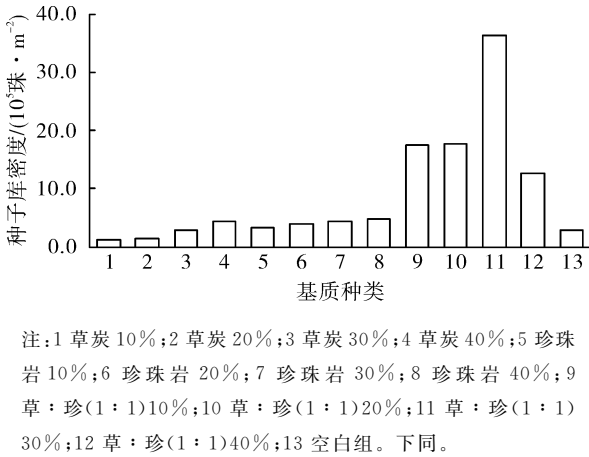


图 1 基质添加后的土壤种子库密度

2.1.2 Shannon-Wiener 多样性指数 从图 2 可以看出,相对于空白组,随着草炭比例的增加,Shannon-Wiener 多样性指数降低;添加珍珠岩可以增加 Shannon-Wiener 多样性指数,但其添加比例对多样性指数的影响不明显;混合基质的添加对 Shannon-Wiener 多样性指数影响差异性较大,当混合基质与表土配比为 20%时,Shannon-Wiener 多样性指数达到峰值,但当混合比例继续增加至 40%时,Shannon-Wiener 多样性指数明显降低。

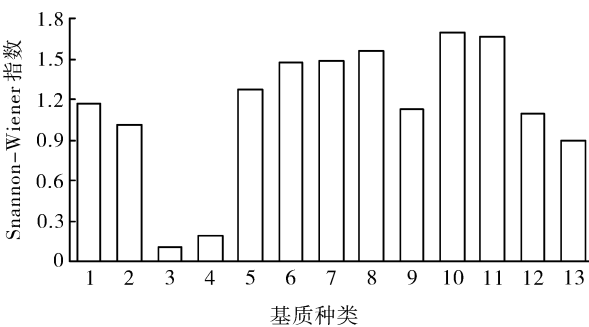


图 2 基质添加后土壤种子库的多样性指数分析

2.2 土壤种子库幼苗萌发动态

土壤种子库萌发试验于铺土后的第 9 d,即 3 月 14 日开始有幼苗出现。图 3 为各基质添加后种子库的萌发动态图。从图 3 可以看出,种子库萌发数量随草炭比例的增大而增大,总体趋势为经历一个时间较长的平稳萌发期;珍珠岩添加后的萌发生态与草炭明显不同,珍珠岩配比为 20%,30%,40%间的差异性很小,萌发趋势呈现出一个较为迅速的上升期,到萌

发开始第 27 d 逐渐达到平稳状态;如图 3c 所示,混合基质组的萌发曲线形状基本符合“S”形,即经历了“萌发平稳期—快速增长期—稳定期”。选择各基质组中添加效果最好的混合比例作比较。从图 3 可以看出,与空白组相比,添加混合基质后,萌发曲线的整体效果明显高于空白组和其他组,说明相对于添加单一基质,添加混合基质对种子库萌发的促进作用最佳。

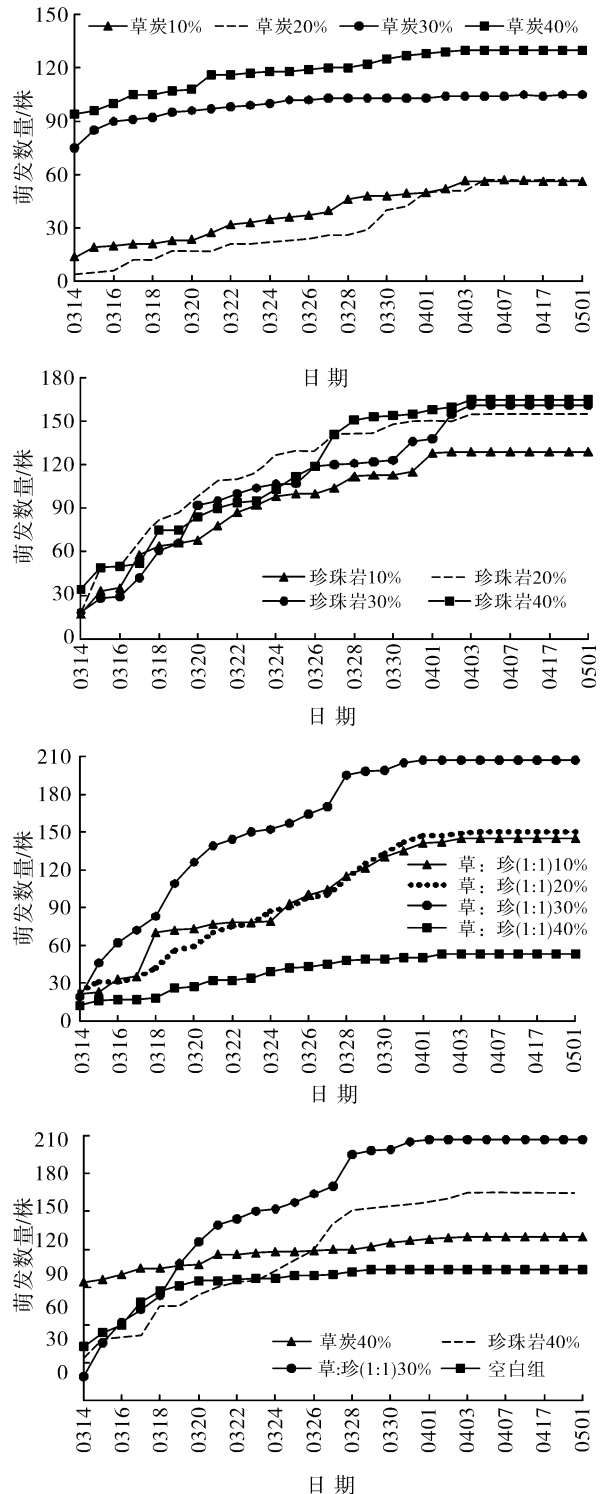


图 3 添加不同基质后土壤种子库的萌发动态

2.3 土壤种子库与基质添加后土壤理化性质的关系

本研究采用多元回归分析法探讨土壤种子库密度与基质添加后土壤理化性质的函数关系,用进入法选入 C,N,P,K 这 4 个变量进行拟合,拟合模型 $R^2 = 0.987, sig. < 0.05$ (表 1),说明该模型对总体变异的

解释程度较高,进一步对各自变量进行检验,如表 2 所示,C,N,P,K 这 4 个自变量均对种子库密度影响显著,很好地解释了种子库密度与基质添加后土壤理化性质间的关系,其回归方程为:密度 = $227.211 - 30.977C + 474.678N + 11.53P - 28.695K$ 。

表 1 模型汇总

模型	R	R ²	调整 R ²	标准估计的误差	更改统计量					
					R ² 更改	F更改	df ₁	df ₂	sig. F更改	Durbin-Watson
1	0.993	0.987	0.960	2.392	0.987	37.223	4	3	0.026	1.466

表 2 对模型中各个系数检验的结果

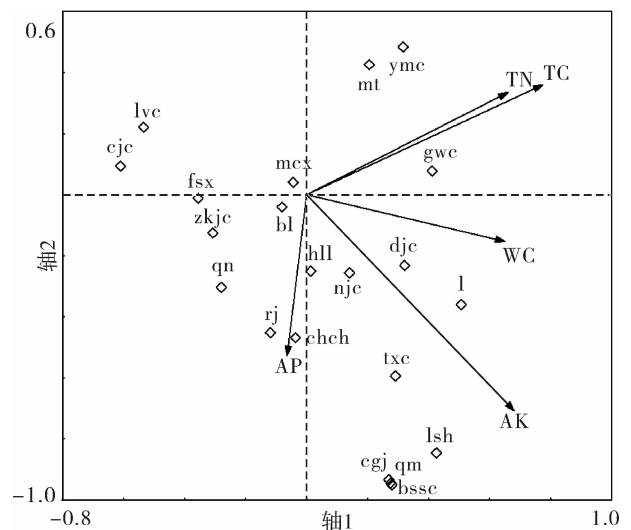
模型	非标准化系数		标准系数		t	sig.
	B	标准误差	试用版			
常量	227.211	28.539			7.962	0.015
1 C	-30.977	5.773	-4.660		-5.366	0.033
1 N	474.678	86.518	4.718		5.486	0.032
1 P	11.530	2.662	0.654		4.331	0.049
1 K	-28.695	3.618	-0.758		-7.931	0.016

如图 4 所示,用 CCA 排序分析法对土壤种子库萌发物种与基质添加后的土壤理化性质进行分析,发现大部分植物对土壤含水率、全碳、全氮、速效钾、速效磷等的含量有一定程度上的要求,如狗尾草(*Setaria viridis*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)等植物分布在全碳、全氮含量较高的地方,藜(*Chenopodium album*)、地锦草(*Euphorbia humifusa*)等喜湿润气候,分布在含水率相对较高的地方;只有少数植物是中性植物,能广泛地适应各种类型的生境,如葎草(*Humulus scandens*)、早开堇菜(*Viola prionantha*)、酢酱草(*Oxalis corniculata*)、繁穗苋(*Amaranthus cruentus*)等。

3 讨论

研究发现基质添加对土壤种子库密度的总体效果为:混合基质 > 无机基质 > 有机基质,且混合基质对种子库密度的促进作用远远大于单一基质。原因可能是单一的无机基质化学性质相对稳定,但蓄肥能力较差,缓冲能力差^[12];单一的有机基质虽具有团聚作用,吸水保水性能好,但质量缺乏稳定性^[13];而混合基质同时包括有机基质和无机基质,在水、肥、气等方面达到一个相对较好的平衡,既为土壤种子库萌发提供了充足的营养物质,又为根系生长提供了稳定的环境。本研究中基质的选择虽然涉及到无机、有机、混合基质 3 个类型,但仅仅考虑到草炭、珍珠岩 2 种基质以及二者配比为 1:1(体积比)的情况,对其他基

质和其他配比情况尚未进行深入研究与分析。因此,对于基质添加对土壤种子库特征的影响,还需通过更多的试验进行研究分析。



注:gwc 为狗尾草;qn 为牵牛(*Ipomoea purpurea*);lvc 为葎草;mt 为马唐;cgj 为翅果菊(*Lactuca indica*);mcx 为马齿苋(*Portulaca oleracea*);txc 为铁苋菜(*Acalypha australis*);bssc 为扁穗莎草(*Cyperus compressus*);lsh 为棠树(*Koeleruteria paniculata*);bl 为绒毛白蜡(*Fraxinus velutina*);fsx 为繁穗苋;l 为藜;hll 为灰绿藜(*Chenopodium glaucum*);cjc 为酢浆草;zkjc 为早开堇菜;rj 为乳苣(*Mulgedium tataricum*);chch 为臭椿;ymc 为益母草(*Leonurus artemisia*);njc 为牛筋草(*Eleusine indica*);qm 为苘麻(*Abutilon theophrasti*);djc 为地锦草。

图 4 植物与基质添加后土壤理化因子的 CCA 排序图

分析种子库萌发后的物种种类及数量,发现随草炭比例的上升,狗尾草大量生长,约占萌发幼苗总数的 88%,而 Shannon-Wiener 多样性指数不仅与种数有关,还与种间个体分配的均匀性有关,因此草炭添加比例为 30%和 40%时,虽然土壤种子库密度增加,Shannon-Wiener 多样性指数反而降低。混合基质对种子库萌发后物种种类的影响有一定的差异性,混合基质添加比例为 10%和 20%时,种子库萌发数量相

差不多,但后者萌发物种的种类明显多于前者;而混合基质添加比例增加至 40%时,早开堇菜、酢酱草、圆叶牵牛等大量减少甚至不再出现,因此 Shannon-Wiener 多样性指数出现先增加后下降的趋势。但总体上基质添加对 Shannon-Wiener 多样性指数的促进效果仍表现为:混合基质>无机基质>有机基质。

种子萌发受外部的生态环境因素和内部的生理因素的影响,且大多数植物种子都有或强或弱的休眠特性^[14]。草炭添加比例为 30%和 40%时,对土壤种子库萌发初期有非常明显的促进效果,这可能与草炭保水保肥效果好有关,该组种子库萌发初期狗尾草大量生长,而土壤含水率对狗尾草出苗的影响较大;狗尾草大量生长,形成优势种群,争夺肥水,造成种子库萌发后期其他物种减少的现象。而珍珠岩的添加在一定比例范围内能有效促进土壤种子库的萌发,可能是因为珍珠岩本身独特的物理性质,导致基质的毛管水饱和时,固、液、气 3 相组成发生了不同程度的变化。由此可见,混合基质间的配比问题对土壤种子库种子萌发特征的影响很大。

通过多元回归分析法可以看出 C, N, P, K 元素均对种子库密度影响显著,说明在种子萌发过程中 C, N, P, K 元素能有效改良土壤的理化性质,进而促进萌发物种的密度。对种子库萌发物种与基质添加后土壤理化性质的 CCA 排序分析也进一步说明植物的生长发育与土壤含水率、C, N, P, K 元素有着密切的关系。

4 结论

综合以上分析,向表土中添加混合基质可以显著影响土壤种子库密度及物种多样性,当草炭与珍珠岩 1:1(体积比)并与表土混合配比为 30%时土壤种子库萌发的效果最佳,其种子库密度为 3.63×10^6 株/m², Shannon-Wiener 多样性指数为 1.666 3,且该组幼苗的萌发曲线明显高于其他组。此外,基质添加后土壤中全碳、全氮、速效钾、速效磷等因子均对种子库密度影响显著,回归方程为密度 = $227.211 - 30.977C + 474.678N + 11.53P - 28.695K$,且大部分萌发物种对土壤含水率、全碳、全氮、速效钾、速效磷等的含量有一定程度上的要求,说明基质的添加可有效改良土壤的理化性质,进而促进种子的萌发和幼苗的生长发育。因此,添加混合基质可作为一种人工措施为土壤种子库应用于植被恢复工程提供一定的参考依据。

[参 考 文 献]

- [1] Thompson K, Grime J P. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats [J]. *Journal of Ecology*, 1979, 67(3): 893-921.
- [2] Leck M A, Parker V T, Simpson R L. *Ecology of Soil Seed Banks*[M]. New York: Academic Press, 1989.
- [3] Van der Valk A G, Davis C B. The role of seed banks in the vegetation dynamics of prairie glacial marshes[J]. *Ecology*, 1978, 59(2): 322-325.
- [4] Hosogi D S, Yonemura S, Kameyama A. Thickness of topsoil setting and effectiveness of fertilizer quantity and malting on banked slope revegetation with forest topsoil [J]. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 2006, 31(3): 385-390.
- [5] Goto K, Moriito M, Hiranaka H. Approach of revegetation using surplus soil from river construction works [J]. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 2005, 31(2): 288-292.
- [6] Watanabe T, Yamabe S. The flora consisted of transplanting topsoil and effect of restoration of natural environment[J]. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 2004, 30(1): 249-252.
- [7] Hosogi D. Soil seed bank in forest topsoil as planting material (< SPECI AL ISSUE > Living beyond the times: Mechanisms and applications of dormancy) [J]. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 2005, 30(3): 509-513.
- [8] Nakamura K, Ishizaka T, Taniguchi S. A case study on the revegetation method using topsoil seed bank [J]. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 2005, 31(4): 107-110.
- [9] Miyamoto A, Taniguchi S, Obata H. A case study on the utilization of the topsoil seed bank in spraying cultivate base[J]. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 2002, 28(1): 162-164.
- [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[J]. *生态环境*, 2009, 18(2): 731-737.
- [11] 贺梦璇. 基质添加对土壤种子库特征的影响研究[D]. 天津:南开大学, 2014.
- [12] 纪大元. 膨胀珍珠岩在种子库建筑中的应用[J]. *种子世界*, 1986, 26(10): 26.
- [13] 秦玲,李嘉瑞,魏钦平,等. 草炭对砂质土壤保水特性影响及其机制研究[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(10): 201-204.
- [14] 陈伟,马绍宾,陈宏伟. 种子休眠类型及其破除方法概述[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(33): 16237-16239.