

# 表土在日本植被恢复中的应用\*

梁耀元 李洪远\*\* 莫训强 马 春

(南开大学环境科学与工程学院, 天津 300071)

**摘 要** 土壤种子库具有区域特有的物种组成和遗传特性,对维持物种多样性和种群密度起到重要作用.表土是具有植被恢复潜在能力的绿化材料.本文在参考大量日本文献的基础上,介绍了利用表土进行植被恢复的特点及分类,从表土混合比例、坡面环境、表土采集深度等3个方面归纳分析了利用表土进行植被恢复的方式,介绍了其在森林、道路、湿地、废弃地等不同类型生境中的应用.最后针对表土在植被恢复应用中存在的问题提出了今后的研究课题:应加强表土在植被恢复中的应用研究,明确绿化技术、恢复目标及表土作为绿化材料的适用性调查方法和标准,开发低成本、高效率的新型表土利用方法.

**关键词** 土壤种子库 植被恢复 表土 日本

文章编号 1001-9332(2009)11-2832-07 中图分类号 X171 文献标识码 A

**Topsoil application in vegetation restoration in Japan.** LIANG Yao-yuan, LI Hong-yuan, MO Xun-qiang, MA Chun (College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2009 20(11):2832-2838.

**Abstract:** Soil seed bank has the unique regional species composition and genetic characteristics, and plays important roles in maintaining species diversity and population density. Topsoil, as a kind of revegetation materials, has the potential in vegetation restoration. Based on the Japanese literatures, this paper introduced the characteristics and contents of revegetation with topsoil, and discussed the revegetation modes from the aspects of topsoil mixing ratio, slope surface condition, and topsoil collection depth. The application cases of topsoil in various habitat types such as forests, roads, wetlands, and abandoned lands were also introduced. Some suggestions to the further researches on topsoil application in vegetation restoration were proposed, *e. g.*, to strengthen the practical research of topsoil, to determine the appropriate techniques and targets of topsoil application as well as the survey methods and applicability standards, and to develop the low cost and high-efficient new application ways of topsoil.

**Key words:** soil seed bank; vegetation restoration; topsoil; Japan.

植被恢复是退化生态系统恢复和重建的首要工作<sup>[1]</sup>.目前,植被恢复主要有3种途径:1)依靠植物种子自然传播形成的植被自然演替;2)依靠外来植物种子或种苗的大量引入;3)利用土壤种子库恢复自然植被<sup>[2]</sup>.第1种途径要求在植被恢复场所附近存在可供繁殖的种源<sup>[3]</sup>,但植被恢复的时间长短难以预见,且耗资太大,难以推广.第2种途径中外来种的入侵可能破坏当地的植物组成,引起生态系统物种的单一化,从而导致许多相应的生态问题<sup>[4]</sup>.相对于上述两种方法,利用土壤种子库是植被恢复

后能保持原有生物多样性的最原始和有效的方法<sup>[5]</sup>.土壤种子库作为绿化材料的应用研究正日益引起各国学者的关注.作为一个植被天然更新的种源贮备库,土壤种子库在植被恢复中起到重要的作用<sup>[3]</sup>.Johnson<sup>[6]</sup>认为,有较多土壤种子库的森林生态系统在灾变后可以迅速恢复,反之则非常缓慢.特别是在干扰严重和频繁的区域,种子库对地表植被的影响尤其显著<sup>[7]</sup>.

日本施行现代绿化技术方法经历了约50年的历程.20世纪70年代开始将土壤种子库应用于植被恢复绿化,取得了许多研究成果与成功案例.早期的探索性案例有:亚高山地带道路绿化中喷播含有土壤种子库的表土的试验研究<sup>[8]</sup>;箕面川自然公园

\* 天津市科技支撑计划重点项目(08ZCFSF00200)资助.

\*\* 通讯作者. E-mail: hongyuan@nankai.edu.cn

2009-05-20 收稿, 2009-08-28 接受.

的水库大坝上喷播森林表土进行边坡绿化<sup>[9]</sup>等。因此,在植被恢复与演替过程中开展土壤种子库研究可以帮助人类在环境治理与林业发展方面制定合理的政策与措施,具有重要的指导意义<sup>[10]</sup>。但是,有关土壤种子库的利用,尚未有学者进行系统的归纳总结。为此,本文在参考大量日本文献的基础上,综述了土壤种子库在日本植被恢复中的应用方法及案例,旨在丰富恢复生态学和绿地管理的理论,为我国相关研究实践提供参考资料。

## 1 土壤种子库与表土利用绿化方法

土壤种子库指土壤及土壤表面的落叶层中所有具有生命力的种子的总和<sup>[11]</sup>。一般用单位面积土壤内所含有的活力种子数量来表示种子库的大小,即种子密度<sup>[12]</sup>。土壤种子库的种子密度与种子的大小、森林面积、地形、演替阶段等因素有关。通常,一些种子数量多而体积较小的植物具有较大的土壤种子库<sup>[13]</sup>。而森林面积与种子数量呈线性正相关<sup>[14]</sup>。如 Ishida 等<sup>[15]</sup>对兵库县东南部孤立林的土壤种子库研究表明,草本植物的种子数量随森林面积的增加而有增多的趋势。此外,种子库的密度与地形有一定关系,谷底部分的土壤种子库密度大于山脊和坡面<sup>[16]</sup>;凹型坡面的土壤种子库密度大于凸型坡面<sup>[17]</sup>。不同演替阶段土壤种子库的种子密度差别很大。演替早期生态系统的土壤种子库密度较大。表土中的土壤种子库含有大量的乡土植物种子,具有当地特有的遗传基因和变异特性<sup>[18-19]</sup>,因此,将表土应用于植被恢复可以有效地保护生物多样性。Hosogi 等<sup>[20]</sup>研究表明,利用表土进行植被恢复将形成乡土种占优势的植物群落。但是,即使土壤种子库类型相同,使用其他地方的土壤种子库也可能出现遗传上的扰乱,因此,在植被恢复中一般是就近采集表土。

### 1.1 表土利用绿化方法的特点

土壤种子库存在于表土中,因此,土壤种子库在植被恢复中的应用即为表土的应用。表土分为森林表土、农田表土和废弃地表土等。针对表土的多种含义与类型,日本有学者建议:在利用表土进行绿化时,应统一使用“表土”这一通用语<sup>[21]</sup>。基于此,日本将利用土壤种子库进行绿化的方法简称为“表土利用绿化方法”。这种方法充分利用建设工程中挖掘的表土,实现有限资源的有效利用,形成以先锋树种为主要构成种、乡土种占优势的次生演替初期群落。与苗木法、播种法相比,表土利用绿化方法具有构成

种数较多、不扰乱遗传基因、保全土壤微生物、使灭绝物种再生、就近采集表土、方便且成本较低等优点<sup>[22]</sup>,是一种有利于保护生物多样性的绿化方法<sup>[23-24]</sup>,适用于自然度较高的区域(如自然公园地区、特别保护区及珍稀物种生育区等),也广泛应用于乡土自然次生林和道路坡面的绿化中。

### 1.2 表土利用绿化方法的分类

在日本,表土利用绿化方法主要分为4种:1)采集周边表土直接喷播的传统表土利用绿化方法<sup>[25-26]</sup>;2)将表土混入植栽基质中进行喷播的绿化方法<sup>[27-28]</sup>;3)将表土装在土壤袋中使用的绿化方法<sup>[29]</sup>;4)表土移植法<sup>[30]</sup>。传统的表土利用绿化方法使用的表土中含有许多腐殖质和植物种子,在适当的养分和水分条件下,通过搅拌使土壤变得蓬松,以利于植物生长,但实际上这种方法较为麻烦,因此没有普及应用。与传统表土利用绿化方法相比,将表土混入植栽基质中进行喷播的绿化方法能够更早实现植被的多样化及演替过程<sup>[31]</sup>,从而得到广泛的应用。而近几年,表土移植法作为一种新的表土保全技术开始受到人们的青睐,将表土内的木本、草本、土壤种子库、动物及微生物等一并移植到绿化区域,既利于植物生长,又不破坏表土的物理结构<sup>[32]</sup>,在实现自然恢复的同时也防止了区域生态系统受到扰乱<sup>[33-34]</sup>。

### 1.3 表土利用绿化方法的研究进展

日本学者针对表土利用绿化方法进行了多方面的实践性研究,取得了大量成果,从而大大促进了植被恢复进程。利用表土土壤种子库进行植被恢复时需要考虑表土种子发芽率、采集的表土厚度、喷播的表土厚度、长期保存时土壤种子库的损耗等多方面因素<sup>[35]</sup>。这里主要介绍表土与人工基质的混合使用、采集表土的坡面环境、表土采集的适宜深度等方面的研究进展。

**1.3.1 表土与人工基质的混合使用** 近年来,将表土混入植栽基质中进行喷播的绿化方法开始在日本盛行<sup>[36-37]</sup>,其关键在于表土与人工基质的混合比例。综合诸多研究结果得出以下结论:表土混合比例为10%时,将形成稀疏的先锋树种<sup>[31,38-40]</sup>;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<sup>[37,41]</sup>;而表土混合比例达到50%和100%时,覆盖率将会降低,不利于绿化<sup>[42]</sup>。屋久岛林道坡面的绿化结果发现,施工1年半后,表土混合比例为10%的试验区中木本植物的密度为9株·m<sup>-2</sup>、20%处为19株·m<sup>-2</sup><sup>[43]</sup>。冈山

县胜田群的绿化工程中,将表土以 10% ~ 40% 的比例混入植栽基质中进行绿化,结果发现,木本植物的发芽株数与表土混入量成正比<sup>[44]</sup>。此外,在人工基质中混入辅助添加剂可以促进绿化效果。如 Sekioka 等<sup>[45]</sup>研究表明,利用表土进行边坡绿化时,不仅需要混入表土,还应混入辅助土壤种子库发芽和生长的添加剂(如 AM 菌),从而提高植被覆盖率,有助于更早实现绿化。

**1.3.2 采集表土的坡面环境** 土壤种子库性质各异的原因主要是人为和微地形的影响,而与气候条件没有太大关系。边坡绿化的覆盖率受坡面特有的布局条件影响<sup>[41]</sup>,含水量适中的坡面上,乡土种植物的覆盖率较高。但是,并不是含水量越高覆盖率就越高。Obata 等<sup>[46]</sup>研究发现,不同坡度上生长的植物种类有所差异,可能与坡面土壤含水量有很大的关系。因此,采集森林表土时,应选择与谷底有一定距离且坡度较小的地方,而不是选择土壤含水量较高的谷底<sup>[47]</sup>。

**1.3.3 表土采集的适宜深度** 土壤种子库一般分布在土壤表层,随着深度的增加,种子数量逐渐减少<sup>[20]</sup>。有关表土作为绿化材料的可行性研究表明,将森林表土以 4 cm 以上的厚度进行喷播,能够有效实现绿化效果<sup>[48]</sup>。Sekioka 等<sup>[45]</sup>对采集表土后的枯枝落叶层的植被恢复情况进行调查研究发现,进行表土采集后的枯枝落叶层上的植物种数与盖度均有所增加,从而认为采集表层 5 cm 厚土壤,不会对枯枝落叶层的植被产生负面影响。通过诸多研究,认为采集表土深度 5 cm 最为合理<sup>[20]</sup>。

2 不同类型植被恢复中表土利用绿化方法的应用

2.1 森林植被恢复

近年来,随着对保护自然环境及生物多样性的社会需求不断提高,土壤种子库在森林植被恢复中的作用日益受到人们的重视。土壤种子库随地面环境的变化将形成多样的植物群落,因此,对群落的维持和再生起到重要作用。Makino 等<sup>[49]</sup>研究发现,经过演替的城市近郊次生林中,由于森林类型组成单一,周边新种类的供给较少,土壤种子库作为新品种的供给源,其作用显得尤为重要。Kawanishi 等<sup>[50]</sup>研究表明,土壤种子库对提高人工林的物种多样性起到重要作用。

目前,森林植被恢复中主要采用将表土混入植栽基质中的绿化方法<sup>[51]</sup>,特别是对林道的坡面绿化很有效。Nakamura 等<sup>[43, 52]</sup>2004 年在屋久岛林道坡

面上采用将表土混入植栽基质中的方法进行绿化,结果确认出秃悬钩子(*Rubus croceacanthus*)、长梗紫麻(*Oreocnide pedunculata*)等 19 种木本植物与 20 种草本植物;2005 年在奄美大岛林道坡面上,他采用相同方法进行绿化,结果形成了百穗蔗草(*Scirpus ternatanus*)、椿叶花椒(*Zanthoxylum ailanthoides*)等 24 种木本类散生的草本群落,覆盖率达到 40%。这种绿化方法在森林表土丰富且易于采集的地方很有效,但在表土较薄处则难以确保植被覆盖率。为此,Obata<sup>[36]</sup>在长野县木曾群南木会町的林道坡面上,将混入森林表土的植栽基质喷播在铺设有无种子植被垫的坡面上,结果发现,与单独铺设植被垫的区域相比,风散布种的补充能力有所提高,植物多样性有所增加,促进了植被的演替。

在日本,有关森林土壤种子库研究多以暖温带林为研究对象,而对寒冷地及亚热带区域的研究甚少<sup>[44]</sup>。暖温带林的土壤种子库主要集中在土壤表层,水平分布不均匀;在物种组成上,含有丰富的乡土种种子以及野梧桐(*Mallotus japonicus*)、海州常山(*Clerodendrum trichotomum*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)等先锋植物种子。近年来,森林土壤种子库的研究对象逐渐多样化,开始对其他气候类型的森林土壤种子库进行研究,拓宽了森林土壤种子库的研究范围。Nakamura 等<sup>[52]</sup>研究发现,从高温多湿的枯枝落叶层中可以得到优质的土壤种子库,表明土壤种子库在亚热带地区也能成为有效的绿化材料。

2.2 道路边坡绿化工程

对于道路建设中产生的表土的处理方法,日本的《道路设计方针》中规定:“表土中含有许多小动物、植物种子,在进行土木工程之前应尽量保存表土,用于道路绿化中”;“表土的有效利用在今后道路建设中作为自然恢复等重要事项,有效利用施工现场产生的表土显得十分重要”<sup>[53]</sup>,从而将表土视为自然环境保全资源。

近几年,在道路建设工程中开始出现将施工用地上的表土保存起来,用于边坡绿化的案例。Nakamura 等<sup>[27, 54]</sup>利用将表土混入植栽基质中的绿化方法,分别对兵库县西宫市与爱知县丰田市的道路坡面进行绿化,结果发现,兵库县西宫市道路坡面上的植被覆盖率达到 60%,爱知县丰田市道路坡面上的植被覆盖率达到 90%。此外,Yanagawa 等<sup>[55]</sup>采用表土移植方法进行道路边坡绿化,从表土块中确认萌发的木本植物及日本矮竹(*Sasa nipponica*),均是很好的绿化树种。Watanabe 等<sup>[53]</sup>与 Yamabe 等<sup>[33]</sup>利

用表土移植方法对滋贺县高速道路周边进行植被恢复 结果发现 在植被恢复初期阶段 不仅恢复了现有林的树种构成 同时还恢复了多种动、植物生存的森林环境 说明表土移植方法对自然环境的初期恢复很有效.

2.3 水域与湿地植被恢复

表土利用绿化方法常应用于水域植被的恢复中 主要以湖沼为研究对象<sup>[56-57]</sup>. 将河流施工产生的泥土中的种子库应用于河流周边的绿化上 不仅可以保全河流固有的植物群落 还可以减少搬运沙土所产生的费用 是有效利用工程废土的好方法.

水域与湿地植被恢复中常用的表土利用绿化方法有 表土喷播法、表土移植法以及表土利用绿化方法与栽植法相结合的复合方法. 其中 表土喷播法对河流和自然湖泊的植被恢复效果很好<sup>[58-59]</sup> 但由于表土采集区域的湖岸植被在质与量上都有限 因此需要寻找可利用的含有种子库的表土 并确保采集表土不会导致新裸地的出现. Fujiwara 等<sup>[60]</sup>研究发现 在宫城县釜房湖上采用表土喷播法进行植被恢复 不仅恢复了绿化对象区域的植被 采集表土区域的植被也有一定程度的恢复. 土壤种子库虽能恢复植被 但要想长期维持恢复后的植物群落 还需要适宜的水文条件和长期的维护管理 从而防止植被演替. Sekioka 等<sup>[61]</sup>在福井县敦贺市中池见内利用表土移植法恢复绿百叶草(*Eusteralis yatabeana*)群落时发现 没有进行维护管理的区域中 柳叶箬(*Isachne globosa*)占优势 而进行维护管理的区域中 绿百叶草占优势. 此外 由于河流护岸通常以草本植物群落为主 很少看到乔木林<sup>[62]</sup> 故河床及河岸的土壤种子库中以草本类居多 为了创造木本及草本的多样性植被 常将栽植法(木本植物)与表土利用绿化方法相结合. Goto 等<sup>[63]</sup>在长良川堤坝上铺设工程废土并在其上栽植木本植物 结果形成了草本-木本的多样性植物群落 从而营造出动物栖息的环境.

2.4 废弃地植被重建

自 20 世纪 70 年代 日本开始利用表土中的土壤种子库对废弃地进行植被恢复 如 Nakagoshi 等<sup>[64]</sup>对火山痕迹地上赤松(*Pinus densiflora*)林表土的研究 Umehara<sup>[65]</sup>对大阪府箕面水库裸地的恢复 Koshimizu 等<sup>[66]</sup>利用土壤种子库对湿生植被的恢复等. 通过土壤种子库重现自然性、乡土性植被恢复的基础研究和施工案例正在不断增加 如大阪府茨木市的栓皮栎(*Quercus variabilis*)林、毛竹(*Phyllostach-*

*ys heterocycla*)林 千旱赤阪村的米槠(*Castanopsis carlesii*)林 泉佐野市的枹栎-山鸡椒(*Quercus serrata-Litsea cubeba*)林 兵库县西宫市的赤松林等森林表土喷播在废弃地上进行植被恢复 结果观察到有先锋性木本种子发芽和成长. Jimmon 等<sup>[67]</sup>研究发现 即使在管理程度较低的情况下 采用表土喷播法也能在短时间内在废弃地上形成灌木林 因此是废弃地植被恢复的有效绿化方法之一. Ozeki 等<sup>[68]</sup>在栎树山区内的垃圾处理场利用表土移植法进行植被恢复 结果发现 施工 1 年后生长出枹栎(*Quercus serrata*)、齿叶冬青(*Ilex crenata*)、青木(*Aucuba japonica*)等多种植物.

3 研究展望

表土利用绿化方法是保护生物多样性的一种有效方法 但作为绿化技术尚不完善 还存在很多问题. 如表土采集的地点、时间、深度等没有一个合理的标准 土壤种子库的保存方法不当将影响土壤种子库的特性 表土与基盘的组合方法、导入方法及施工后的维持管理均没有明确规定 等等. 今后应在以下几方面开展研究工作：

- 1)加强表土利用绿化方法在植被恢复中的应用研究 建立数据库 对各种方法带来的植被演替、物种及景观的多样性变化、生物量的增加等进行综合解析 从而确定其有效性、明确绿化技术.
- 2)土壤种子库作为表土利用绿化方法的绿化材料 随场所与季节的不同而多样化. 因此需要设计出与快速绿化方法不同的新型工作流程 提高表土利用绿化方法的效率.
- 3)明确表土与绿化目标之间的关系 确定表土利用绿化要恢复成什么样的植物群落. 制定出相应的调查方法和检验标准 提出适合表土利用绿化方法的植被恢复评价体系.
- 4)开发低成本、高效率的新型表土利用方法. 表土利用绿化方法初期成林效果较好 但它是一种“超迟速”的绿化方法 需要数年 甚至 10 年以上的 时间. 此外 土壤种子库中常会有很多难以萌发的种子. 为此 需要开发出新型表土利用绿化方法. 如将表土利用绿化方法与苗木法、播种法相结合 以有效解决部分种子发芽困难的问题.

参考文献

[1] Cheng D-B (程冬兵), Cai C-F (蔡崇法), Sun Y-Y (孙艳艳). A review of vegetation restoration. *Subtropi-*

- cal Soil and Water Conservation* ( 亚热带水土保持 ), 2006 , **18** ( 2 ) : 24–26 ( in Chinese )
- [ 2 ] Li H-Y ( 李洪远 ), Sato H ( 佐藤治雄 ), Zhu L ( 朱琳 ), *et al.* The relationship analysis of plant species of soil seed bank and the soil vegetation in the collecting field. *Ecology and Environment* ( 生态环境 ), 2006 , **15** ( 4 ) : 791–795 ( in Chinese )
- [ 3 ] Shi H-F ( 史鸿飞 ), Tian K ( 田 昆 ), Zhang J-F ( 张劲峰 ), *et al.* Soil seed pool and its application to forest regeneration in degraded forestland. *Forest Inventory and Planning* ( 林业调查规划 ), 2006 , **31** ( 1 ) : 71–74 ( in Chinese )
- [ 4 ] Gao P ( 高 鹏 ), Yang J-L ( 杨加利 ). Approach on some long-standing misunderstanding of vegetation restorations and vegetation restoration and method of applied ecology in China. *Inner Mongolian Environmental Sciences* ( 内蒙古环境科学 ), 2007 , **19** ( 1 ) : 3–8 ( in Chinese )
- [ 5 ] Li Y-Z ( 李有志 ), Zhang C-M ( 张灿明 ), Lin P ( 林鹏 ). A review to the research on the content of soil seed bank. *Pratacultural Science* ( 草业科学 ), 2009 , **26** ( 3 ) : 83–90 ( in Chinese )
- [ 6 ] Johnson EA. Buried seed populations in the subarctic forest east of Great Slave Lake , Northwest Territories. *Canadian Journal of Botany* , 1975 , **53** : 2933–2941
- [ 7 ] Liu G-H ( 刘贵华 ), Xiao C ( 肖 藏 ), Chen S-F ( 陈漱飞 ), *et al.* Soil seed bank in the role of restoration and biodiversity conservation in the middle and lower reaches of the Yangtze River wetland. *Progress in Natural Science* ( 自然科学进展 ), 2007 , **17** ( 6 ) : 741–745 ( in Chinese )
- [ 8 ] Yamadera Y. Study of the vegetation restoration of the subalpine zone. *Revegetation Technology* , 1976 , **3** : 1–32 ( in Japanese )
- [ 9 ] Nagano M. Study of the Vegetation Restoration with Forest Topsoil Spraying. Osaka : Study of Improving the Mino River Dam Natrual Recovery , 1980 ( in Japanese )
- [ 10 ] Liu X ( 刘 旭 ), Cheng R-M ( 程瑞梅 ), Xiao W-F ( 肖文发 ). Review and prospect on soil seed bank research. *World Forestry Research* ( 世界林业研究 ), 2008 , **21** ( 1 ) : 27–31 ( in Chinese )
- [ 11 ] Thompson K , Grime JP. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. *Journal of Ecology* , 1979 , **67** : 893–921
- [ 12 ] Yang Y-J ( 杨跃军 ), Sun X-Y ( 孙向阳 ), Wang B-P ( 王保平 ). Forest soil seed bank and natural regeneration. *Chinese Journal of Applied Ecology* ( 应用生态学报 ), 2001 , **12** ( 2 ) : 304–308 ( in Chinese )
- [ 13 ] Zhang Y-M ( 张咏梅 ), He J ( 何 静 ), Pan K-W ( 潘开文 ), *et al.* Potential contribution of the soil seed banks to the restoration of native plants. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* ( 应用与环境生物学报 ), 2003 , **9** ( 3 ) : 326–332 ( in Chinese )
- [ 14 ] Imanishi A , Murakami K , Imanishi J , *et al.* Herbaceous plant species richness and species distribution pattern at fragmented forests in Kyoto City. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2005 , **31** : 51–56 ( in Japanese )
- [ 15 ] Ishida H , Hattori T , Takeda Y , *et al.* Relationship between species richness or species composition and area of fragmented *Lucidophyllous* forests in southeastern Hyogo Prefecture. *Japanese Journal of Ecology* , 1998 , **48** : 1–16 ( in Japanese )
- [ 16 ] Yamase K , Sekioka H. Comparison of topsoil seedbank potential at the 3 districts in Hyogo prefecture. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2006 , **32** : 266–269 ( in Japanese )
- [ 17 ] Yamase K , Sekioka H , Kawashima S , *et al.* Slope revegetation using topsoil seed bank of local. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2004 , **30** : 316–319 ( in Japanese )
- [ 18 ] Van der Valk AG , Penderson RL. Seed bank and management and restoration of natural vegetation// Leck MA , Parker VT , Simpson RL eds. *Ecology of Soil Seed Banks*. San Diego : Academic Press , 1989 : 329–346
- [ 19 ] Washitani I. Conservation ecology and population dynamics. *Japanese Journal of Ecology* , 1997 , **47** ( 2 ) : 185–187 ( in Japanese )
- [ 20 ] Hosogi D , Yonemura S , Kameyama A. Potential of forest soil seed bank as revegetation material in Kanto district and its examination method. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2004 , **29** ( 3 ) : 412–422 ( in Japanese )
- [ 21 ] Tanaka J , Yamada M. Using topsoil to revegetate a slope and the problem. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2005 , **31** : 99–102 ( in Japanese )
- [ 22 ] Ueda T , Koh JH , Sasaki YO. The possibility experiment of the existing forest revegetation in a nature park zone. I. Topsoil seedbank potential experimental. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2004 , **30** : 257–260 ( in Japanese )
- [ 23 ] Hosogi DS , Yonemura S , Kameyama A. Thickness of topsoil setting and effectiveness of fertilizer quantity and malting on banked slope revegetation with forest topsoil. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2006 , **31** : 385–390 ( in Japanese )
- [ 24 ] Hosogi DS , Yonemura S , Kameyama A. The study of woody plants ' growth at the early stage of slope revegetated by using forest top-soil. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2002 , **28** : 73–78 ( in Japanese )
- [ 25 ] Nakamura A , Kinugasa T , Jimmon T , *et al.* Evaluation of revegetation using forest top soil by seed density , species and diversity-area curves. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2002 , **28** : 79–84 ( in Japanese )
- [ 26 ] Sato H , Tsutsumi H , Morimoto Y , *et al.* A preliminary study of revegetation of disturbed area from forest seedbanks. *Journal of the Japanese Institute of Landscape Architecture* , 1999 , **62** : 521–524 ( in Japanese )
- [ 27 ] Nakamura K , Nakamura AH. A case study on the revegetation method using topsoil seedbank. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2003 , **29** : 197–200 ( in Japanese )

- [ 28 ] Uesugi A , Nakamura A , Sato H , *et al.* An experiment on spraying cultivation method using seedbank. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2001 , **27** : 296–299 ( in Japanese )
- [ 29 ] Yabu S , Yamada H , Nakashima A , *et al.* The estimation for the slope plantings by using the forest surface soils packed in sandbags. *Journal of the Japanese Institute of Landscape Architecture* , 2000 , **63** : 447–450 ( in Japanese )
- [ 30 ] Takahashi T. Changes in physical and chemical characteristics of soil of coppice forest made using transference intact surface soil in the Higashi Imperial Gardens. *Journal of the Japanese Institute of Landscape Architecture* , 2001 , **27** : 430–435 ( in Japanese )
- [ 31 ] Obata H , Nakamura K. A case study on the spraying revegetation method using topsoil seed bank : Difference of invasion tree species between center of artificial slope and edge of forest. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2006 , **31** : 441–444 ( in Japanese )
- [ 32 ] Yamabe S , Ogura I , Yamamoto M , *et al.* A case study for forest restoration using topsoil layer block. *Technical Reports of Landscape Architecture* , 2003 , **2** : 132 – 135 ( in Japanese )
- [ 33 ] Yamabe S , Watanabe T. Effect of restoration of the natural environment by transplanting topsoil in the forest. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2004 , **29** : 393–395 ( in Japanese )
- [ 34 ] Yamabe S. Efficiency of the forest topsoil in the restoration of natural environment. *Road and Nature* , 2003 , **30** : 30–33 ( in Japanese )
- [ 35 ] Umehara T. Fundamental principle and methods of natural recovery ( 1 ). *Ancient City* , 1997 : 64–66 ( in Japanese )
- [ 36 ] Obata H. A case study on the spraying revegetation method using topsoil seedbank : Invasive species caught by revegetation slope frame and revegetation mat. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2006 , **32** : 361–364 ( in Japanese )
- [ 37 ] Miyamoto A , Taniguchi S , Obata H. A case study on the utilization of the topsoil seed bank in spraying cultivation base. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2002 , **28** : 162–164 ( in Japanese )
- [ 38 ] Obata H , Taniguchi S , Onuki M. A case study on the spraying revegetation method using topsoil seedbank : The follow-up report cutting slope constructed 3 years ago. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2005 , **31** : 284–287 ( in Japanese )
- [ 39 ] Obata H , Nakamura K , Taniguchi S. A case study on the spraying revegetation method using topsoil seedbank. V. The follow-up report cutting slope constructed 4 years ago. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2007 , **32** : 513–516 ( in Japanese )
- [ 40 ] Onuki M. A case study on the spraying revegetation method using topsoil seedbank : The follow-up report cutting slope constructed 2 years and 3 months ago. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2005 , **30** : 586–588 ( in Japanese )
- [ 41 ] Hosogi DS , Nakamura K , Kameyama A. Using forest topsoil to revegetate an artificial cut slope using a growth material spraying method. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2005 , **30** : 561–571 ( in Japanese )
- [ 42 ] Shimozono H , Nagayoshi K , Kawabata Y , *et al.* Revegetation on cutting slope by spraying cultivation method without seeds. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2006 , **32** : 203–206 ( in Japanese )
- [ 43 ] Nakamura K , Honda K , Taniguchi S. A case study on the revegetation method using topsoil seedbank in Yakushima Island. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2006 , **32** : 239–242 ( in Japanese )
- [ 44 ] Nakamura K , Ishizaka T , Taniguchi S. A case study on the revegetation method using topsoil seedbank. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2005 , **30** : 253–256 ( in Japanese )
- [ 45 ] Sekioka H , Yamase K , Kubo S , *et al.* Slope revegetation using topsoil seedbank of *Cryptomeria* artificial forest. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2005 , **31** : 163–166 ( in Japanese )
- [ 46 ] Obata H , Onuki M. A case study on the spraying revegetation method using topsoil seed bank. VII. About arbor species growing in large herbaceous community. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2008 , **33** : 601–604 ( in Japanese )
- [ 47 ] Yamase K , Sekioka H. Distribution of soil seed banks along slopes in a *Cryptomeria japonica* plantation. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2007 , **33** : 187–190 ( in Japanese )
- [ 48 ] Hosogi D. Research of Slope revegetation using seedbank. 3. Relationship of construction condition and germination growth. The 29th Conference Papers of the Japanese Society of Revegetation Technology Gist , Tottori , 1998 : 112–115 ( in Japanese )
- [ 49 ] Makino A , Morimoto J , Shibata S , *et al.* Changes of woody plant diversity after cutting in the small area of the secondary forest in the suburbs. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2002 , **28** : 286–289 ( in Japanese )
- [ 50 ] Kawanishi M , Sakio H. A comparative study of buried seed assemblages in conifer plantation and secondary broad-leaved forest. *Bulletin of Geo-environmental Science* , 2007 , **9** : 31–41 ( in Japanese )
- [ 51 ] Hosogi D. Soil seed bank in forest topsoil as planting material ( < SPECIAL ISSUE > Living beyond the times : mechanisms and applications of dormancy ). *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2005 , **30** : 509–513 ( in Japanese )
- [ 52 ] Nakamura K , Honda K , Taniguchi S. A case study on the revegetation method using topsoil seed bank in Amami Oshima. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* , 2007 , **33** ( 1 ) : 183 – 186 ( in Japanese )
- [ 53 ] Watanabe T , Yamabe S. The flora consisted of trans-

- planting topsoil and effect of restoration of natural environment. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 2004, **30**: 249–252 ( in Japanese )
- [ 54 ] Nakamura K , Ishizaka T , Taniguchi S. A case study on the revegetation method using topsoil seedbank. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 2005, **31**: 107–110 ( in Japanese )
- [ 55 ] Yanagawa T , Shibata S , Kamimura K , *et al.* The study for revegetation of the slope with the method of translated top soil mats. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 2003, **29**: 265–268 ( in Japanese )
- [ 56 ] Nishihiro J. Vegetation restoration with the soil seed bank of Lake Kasumigaura : Decisive factor in the initial plant. The 7th Conference Papers of the Ecology and Civil Engineering. Kitakyushu, 2003 : 169 – 176 ( in Japanese )
- [ 57 ] Omura R , Muranaka T , Michikawa M , *et al.* Revegetation with dredged soil seed bank of Lake Kasumigaura , Japan. *Japanese Journal of Conservation Ecology*, 1999, **4**: 1–19 ( in Japanese )
- [ 58 ] Imhashi M , Washitani I. Evaluation of soil seed banks as plant materials for the restoration of floodplain vegetation. *Japanese Journal of Conservation Ecology*, 1997, **1**: 131–147 ( in Japanese )
- [ 59 ] Nishihiro J , Fujiwara N. Vegetation degradation of lake-shore and the possibility of re-vegetation with soil seed bank – A case study of the Lake Kasumigaura , Japan. *Civil Engineering Journal*, 2000, **42**: 34–39 ( in Japanese )
- [ 60 ] Fujiwara N , Imoto I , Ohe E. Experiments in revegetation on inundated banks of the reservoir with topsoil covered with *Xanthium canadense* Mill at the Kamafusa Dam , Miyagi Prefecture , Japan. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 2001, **27**: 327–330 ( in Japanese )
- [ 61 ] Sekioka H , Nakamoto M. The preservation of *Euslellaris yatabeana* community by the table soil transplant. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 2001, **27**: 357–358 ( in Japanese )
- [ 62 ] Okuda S Characteristics of riverbank vegetation// Okuda S , ed. *Riparian Environment and Riparian Plant-Vegetation Preservation and Management*. Tokyo : Soft Science , 1996 : 261 ( in Japanese )
- [ 63 ] Goto K , Moriito M , Hiranaka H. Approach of revegetation using surplus soil from river construction works. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 2005, **31**: 288–292 ( in Japanese )
- [ 64 ] Nakagoshi N. Research of soil seed bank in forest community of Miyajima. *Hikobio*, 1977, **8**: 180–192 ( in Japanese )
- [ 65 ] Umehara T. Restoration method of pioneer plant by scattering method topsoil in the forest. *Journal of Japanese Revegetational Technology Society*, 1983, **9**: 1–8 ( in Japanese )
- [ 66 ] Koshimizu A , Araki S , Washitani I , *et al.* Evaluating the soil seed bank of an abandoned valley paddy field as materials for vegetation restoration. *Japanese Journal of Conservation Ecology*, 1997, **2**: 189 – 200 ( in Japanese )
- [ 67 ] Jimmon T , Sato H , Morimoto Y. A preliminary study of revegetation of disturbed area from forest seedbanks. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 2000, **25**: 397–402 ( in Japanese )
- [ 68 ] Ozeki Y , Kono M , Yamamoto M. A effect of forest restoration using topsoil layer block. *Technical Reports of Landscape Architecture*, 2005 : 130–133 ( in Japanese )

---

作者简介 梁耀元 ,女 ,1984 年生 ,硕士研究生 .主要从事植被恢复与绿地景观设计研究 ,发表论文 5 篇 . E-mail :liangyaoyuan@mail.nankai.edu.cn

责任编辑 李凤琴

---