

文章编号: 1001-8166(2005)03-0350-09

# 干旱区土壤种子库的研究进展\*

李秋艳, 赵文智

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所寒旱区流域水文及应用生态实验室, 中国生态系统研究网络  
临泽内陆河流域综合研究站, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**土壤种子库在连接过去、现在和将来的植物种群和群落的结构和动态中起着重要的生态和进化作用, 对保护和恢复干旱区植被起着重要的作用。从土壤种子库的研究方法、数量特征、分布格局、时空动态、与地上植被关系、年龄结构及影响因素等方面论述了干旱区土壤种子库研究的若干进展, 展望了干旱区土壤种子库的研究趋势。

**关键词:**干旱区; 土壤种子库; 研究方法; 分布格局; 时空动态

**中图分类号:** Q14      **文献标识码:** A

土壤种子库是土壤中种子积聚和持续的结果<sup>[1]</sup>。植物种子成熟后, 不管以何种方式传播, 最终都会散落到地面上, 有的刚好遇到合适的环境而萌发, 有的被动物摄食掉, 或失去活力, 而大部分保持活力并进入土壤中, 形成土壤种子库。Thompson 等<sup>[2]</sup>在 1979 年定义土壤种子库为“某一特定时间, 存在于土壤表面及其下的土层中具有活力的种子总数”。Haper<sup>[3]</sup>认为它们是植物种群的“记忆”, 因为, 几十年来它们保持了现有植被中不存在的物种的基因。

土壤种子库内所含的种子是特定生态系统的潜在植物种群, 是种群定居、生存、繁衍和扩散的基础。土壤种子库在植被的发生和演替、更新和恢复过程中起着重要的作用。土壤种子库研究不仅与植物种群有关, 而且与许多应用领域, 如保护、储存和植物群落或物种管理有联系, 预示着将来与环境变化有关的植被变化。土壤种子库在连接过去、现在和将来的植物种群和群落结构和动态中起着重要的生态和进化作用。

干旱和半干旱地区占了世界大陆面积的 30%,

干旱与半干旱区的植物群落应该是维持土壤种子库很好的“候选者”。这个预测已经被广泛的认同了, 尤其是一年生植物的丰富性和异质性<sup>[4-6]</sup>。实际上, 尽管植物的地上生物量和在这些生态系统中的盖度较小, 并且多呈现斑块结构, 但这种生境的土壤种子库的密度和丰富度在世界土壤种子库中属于最大的一列<sup>[7]</sup>。加强对干旱区土壤种子库的研究, 掌握干旱区土壤种子库的特点和规律, 对于干旱区植被的保护和恢复起着重要的作用。

## 1 土壤种子库研究进展

### 1.1 研究方法

土壤种子库的研究方法主要涉及取样方法的选择、取样量的大小、取样时间和种类鉴定等方面。

(1) 取样方法的选择。由于种子在土壤中的分布是极不均匀的, 因此减少取样的随机误差, 提高取样的精确性, 是研究土壤种子库的首要问题, 但到目前为止, 尚无一个统一的方法。一般来说, 野外取样方法主要有随机法、样线法、小支撑多样点法等, 其中样线法最为常用。

\* 收稿日期: 2003-12-11; 修回日期: 2004-07-01.

\* 基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目“黑河流域水—生态—经济系统综合管理试验示范”(编号: KZCX1-09-2); 中国科学院知识创新工程重要方向项目“内陆河水—土—气—生观测与综合研究”(编号: KZCX3-SW-329); 国家自然科学基金重点项目“环境变化条件下干旱区的内陆河流域水资源可持续利用研究”(编号: 40235053)资助。

作者简介: 李秋艳 (1978-), 女, 山东金乡人, 硕士研究生, 主要从事生态水文学研究。E-mail: liqiuyan@lzb.ac.cn

随机法,就是在所研究的样地上随机地取一定量土样的取样方法。此种方法简单易行,适于在微地形一致的样地进行。Aviperevobtsky等<sup>[18]</sup>在研究半干旱区放牧对一年生植物群落多样性影响的实验中用了随机法取样。

小支撑多样点法,即大样方内的子样方内再分亚单位小样方,形成多级样方,土壤种子库取样点分别设在一级样方、二级样方和三级样方的中心,整个样地上空间取样点为规则网格结构。此法较为复杂,在野外不易实施。韩有志等<sup>[9]</sup>在研究水曲柳土壤种子库空间格局的实验中用的就是小支撑多样点法。

样线法通常是在研究的样地中设置一条长样线,样线上每隔几米设一个 1 m × 1 m 的小样方,在小样方内取几组土样。此方法在土壤种子库的调查中最为常用,能够保证取样的全面性。国内外大部分研究的取样都采用了样线法。如 Holmes<sup>[10]</sup>在调查土壤种子库的组成和深度分布时就用了样线法取样。

(2) 取样量的大小。通常,种子在土壤中水平和垂直分布极不均匀,因此,取样深度尤其重要。大部分研究的取样深度为 5 cm,也有取 10 cm 的。分为 2 层即 0~2 cm 和 2~5 cm,或 3 层即 0~2 cm、2~5 cm 和 5~10 cm。土芯的直径没有统一的标准,通常有 1.85 cm、3.2 cm、5 cm、7 cm 和 8 cm 等。5 个或 10 个土芯混合成一个样方的取样方法较常见<sup>[11,12]</sup>。截止目前,对于取样数量,尚没有一个统一的标准。经常采用的方法有大数量小样方、小数量大样方和大单位内子样方再分亚单位小样方等。一般地,取样数目原则上要求:相对数目大,随机分布的样方小<sup>[13]</sup>。具体的取样数目还应根据研究目的和群落的特点来确定。

(3) 取样时间。取样时间主要在每年的 3~5 月份和 10 月份。前者目的在于研究经过冬季种子休眠后,当年新种子产生前续存的活性种子库;后者是为研究新种子雨补充后的土壤种子库。

(4) 种类鉴定。种类鉴定的方法主要有漂浮浓缩法、网筛分选法和种子萌发法,其中种子萌发法最为常用。漂浮浓缩法和网筛分选法,要花很多人力物力,而且不准确,所以很少用到。而萌发法可得出更可靠和有效的估计,而且对种苗的鉴定要比直接对种子的鉴定容易的多。用萌发法得出的种子库为有效种子库。而实际种子库为土壤种子库中所有的种子数量,所以一般有效种子库都小于实际种子库<sup>[14]</sup>。但由于萌发法的易行性,所以大约 90% 的研究采用的方法是幼苗萌发技术<sup>[15]</sup>。

种子萌发法的过程一般是:将浓缩的土样(部分实验没有浓缩)平铺在花盆底部无菌土或沙子上,厚度一般为 1~2 cm;用透光性较好的白布覆盖花盆口防止外来种子的污染,然后置于萌发支架上让其自然萌发,定期适时浇水保持盆内的湿度,定期观测幼苗的萌发情况。将已鉴定的幼苗去除,对不能鉴定的幼苗进行移栽,一直长到能鉴定为止。整个过程持续至盆中不再有幼苗长出,然后将土样搅拌均匀,继续观测,直至土样中不再有种子萌发后结束萌发实验。

由于土壤种子库中含有各种植物种子,这些种子大小不一,对萌发条件的要求不同,因此,萌发所需时间的长短也不相同。从开始萌发到幼苗鉴定,一般需 15~20 d 时间,也有的需 25 d 左右时间。若连续 6 周内无新种幼苗出现,便可结束实验,结果是比较准确的<sup>[16]</sup>。鉴于种子萌发时间较长,早出的幼苗比晚出的幼苗生长时间较长,只有幼苗生长到一定时间,才能显出它的形态特征。因此,鉴别幼苗种归属的时间延长到 60 d 左右为宜。鉴别幼苗种的归属是件难事,也是研究方法中的关键。鉴别幼苗常用的方法有种子形态特征法、幼苗的形态特征法、幼苗的颜色、幼苗的气味和种子的萌发特点等<sup>[17]</sup>。

## 1.2 数量特征

土壤种子库的大小是指单位面积土壤内所含的有活力的种子数量。由于取样方法和种类鉴定方法的不同,土壤种子库的种类和数目也不能完全准确地测定出来,所以所得到的数量特征仅是相对的。干旱区土壤种子库大小由于植物群落和研究时间的不同存在极大差别。如在阿根廷蒙特(Monte)沙漠中部,常绿草种子密度在夏末为 2 400 粒/m<sup>2</sup>,早春为 2 700 粒/m<sup>2</sup>,秋冬季为 3 000 粒/m<sup>2</sup><sup>[18]</sup>;而一年生植物种子密度为早春 6 500 粒/m<sup>2</sup>,夏末 5 500 粒/m<sup>2</sup>。在 Seville 长期生态研究站调查的灌丛下面和灌丛之间芥菜的种子数量有着显著差别,分别为 2 400 粒/m<sup>2</sup>和 169 粒/m<sup>2</sup><sup>[19]</sup>。在西班牙中部半干旱石膏生态系统中土壤种子库规模平均为 16 214 粒/m<sup>2</sup><sup>[20]</sup>。即使同一地区、同一种群,但因影响因素不同,天然土壤种子库密度也有较大差异。如西藏雅鲁藏布江中游河谷阶地天然砂生槐种群的土壤种子库密度的统计平均值在 6~25 粒/m<sup>2</sup><sup>[21]</sup>。在自然干扰相对较轻且相对封闭的生境中,85% 的地表都有种子分布,每 20 cm × 20 cm 样方内 250 粒/m<sup>2</sup> 以上聚集的地表占 24.5%。自然干扰生境种子发生明显的运动,在风力干扰生境 78.1% 的地表上都没有

种子,以 20 cm ×20 cm 为单元,10 粒 /m<sup>2</sup> 以上的种子聚集的地表仅 1.3%;在流水干扰生境 72.9% 的地表都没有种子分布,以 20 cm ×20 cm 为单元,250 粒 /m<sup>2</sup> 以上的种子聚集的地表仅 0.4%;在重力干扰生境 57.0% 的地表没有种子分布,以 20 cm ×20 cm 为单元,250 粒 /m<sup>2</sup> 以上的种子聚集的地表几乎没有。

### 1.3 分布格局

空间异质性是大多数干旱系统的典型特征<sup>[22]</sup>。微生境影响土壤种子库的水平分布,所以种子的斑块分布在沙漠土壤种子库中非常普遍<sup>[23]</sup>。在沙漠生态系统中,水平分布上,种子密度从灌丛下面到两灌丛之间的开阔地域逐渐降低<sup>[24, 25]</sup>。但于顺利等<sup>[26]</sup>发现地中海沿岸沙丘土壤种子库的结论与之相反,开阔地区具有最大的种子密度,而灌丛下和路径具有较小的种子密度,且微生境对总的土壤种子库和各功能群的土壤种子库的分布格局具有显著的影响。垂直分布上,随着土壤深度的增加,单位面积种子数量减少。美国西北部的沙漠中绝大部分种子存在于土壤表层,而美国南部的沙漠中种子大部分存在于 1~2 cm<sup>[24, 25]</sup>。沙漠中绝大部分种子在 0~2 cm, 5 cm 以下很少有种子。而且种子的垂直运动和在土层的最终分布主要由种子形状、土壤结构和大小、动物干扰或其他物理过程决定。某一特定深度含有特定大小的种子,因为大种子很难进入土壤深处,而小种子易进入土壤深处。

### 1.4 动态分析

土壤种子库具有随时间而变化的特性。Harper<sup>[31]</sup>用图 1 的方式来表示构成土壤种子库动态变化的各种要素。种子库的输入由种子雨而来,其输出可分为动物摄食、死亡和萌发 3 个过程。

不同因素影响种子的时空分布。春季有活力的种子萌发和掠夺使夏季种子库种子数量减少,进

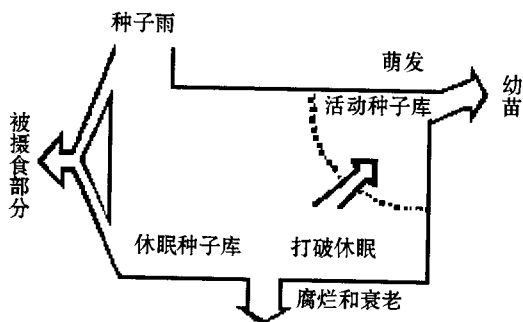


图 1 土壤种子库的动态

Fig 1 Activity in the soil seed banks

而秋初数量最少。春季地上植被物种数量最多,萌发的种子数目最多,表明春季土壤种子库在恢复生态中的重要性。因为很多植物在秋末洒落种子,无论瞬时种子库,还是持久种子库,都在这个季节萌发。因为它们成分的不可见性和复杂的空间异质性<sup>[22]</sup>,直接测量土壤种子库的动态很难。

### 1.5 与地上植被的关系

Majr 等<sup>[27]</sup>强调,要完整地描述一个植物群落,必须包括埋于土壤中有活力的种子。因为它们与地上植物一样,是群落的组成部分。植被的动态特征与土壤种子库中的植物种类组成及其数量特征有着不可分割的制约关系。Whipple<sup>[28]</sup>将一个群落中的现有种和土壤种子库种之间的关系分为:种子和植株都存在、只有种子没有植株和只有植株没有种子。

在一定程度上,土壤种子库的结构反映了地上植物群落结构,地上植被的特征也影响着土壤种子库的组成和结构。植物分布和种子的水平分布比较表明地上植被密度与地下种子库呈小尺度上的正反馈<sup>[29]</sup>。在干旱和半干旱区的观察发现,在灌丛下面的一年生植物比在空旷地的丰富<sup>[30~32]</sup>。有学者的研究表明,在多变环境或高水平种子捕食的条件下,二者的相似性达 40%~60%,有的高达 80%~95%<sup>[33]</sup>。但也有研究表明土壤种子库与地上植被在种类组成上并没有必然的联系<sup>[2, 34]</sup>。

### 1.6 年龄结构

Thompson 等<sup>[2]</sup>将土壤种子库分为持久土壤种子库和瞬时土壤种子库。持久种子库是指不仅在土壤中存在,而且活性种子产生后可至少存活一年;瞬时种子库是指在适宜的生境中活性种子产生后寿命没有超出一年的。一般来说,地上植被中含有此种植物,而土壤种子库中却无相应种子,或种子仅仅存在于土壤上层中,为瞬时种子库。在深层和浅层中都存在的种子,可认为是持久或瞬时种子库。如果在 5~10 cm 的土层中含有大部分的活性种子,认为是长期持久的种子库。如果大部分活性种子存在于 0~5 cm 的土层中,为短期持久种子库。若两土层的种子数量相等,则为长期持久种子库<sup>[13]</sup>。

一般认为土壤深处的有活力的种子比土壤表层的种子年龄大<sup>[3, 35]</sup>。Thompson 等<sup>[36]</sup>发现种子形状和重量与其寿命有相关性;通过对英国 97 种植物的研究,发现持久土壤种子库中种子小而紧实,而瞬时种子库土壤中的种子大而平或拉长。小而紧实的种子比大种子在土壤中更易存活。小而紧实的种子逃脱了不易进入土壤的过程,如萌发、动物摄食、重新

分布等,因此寿命较长。

一般认为,小种子比大种子在土里存活时间长。但在澳大利亚的一些研究中表明种子大小和存活时间之间没有关系,或二者呈现正相关的关系,如 1995 年 Lunt<sup>[37]</sup>发现 6 种植物的种子大小与存活时间无关。Thompson 认为种子的大小和形状与种子的寿命呈负相关,并不适用于在 Leishman 等<sup>[38]</sup>研究的澳大利亚的 101 种植物,寿命长的种子并不比寿命短的种子小,也不比其更紧实,而是寿命长(大于 5 年)的种子显著大于那些存在于瞬间种子库的种子。

另外,在干旱区,很多短命植物都有隔年种子库,来抵制气候的不稳定性。土壤中的种子有适宜存活的生理、形态、生态上的特征。它们至少能在自然条件下保持 13 个月的活力<sup>[39, 40]</sup>。Bowers<sup>[41]</sup>研究了仙人掌种子,如果没有被动物食掉,可以在土壤里至少存活 18 月,形成了隔年种子库。

### 1.7 影响因素

许多研究表明土壤种子库明显地具有时空变化<sup>[42~44]</sup>。生物和非生物因素控制着土壤种子库的分布格局和命运。非生物因素包括水分、风、重力、土壤条件等;生物因素包括种子形态、动物摄食行为方式、放牧等。

(1) 种子形态和土壤条件。种子的大小和形状在决定土壤种子库的状态中起着重要作用<sup>[36]</sup>。某一特定深度含有特定大小的种子。大种子和表面积与体积比较大的种子很难进入土壤,它们很少有机会找到路径进入土壤缝隙,或被土壤中的蚯蚓和其他动物埋于土中<sup>[45, 46]</sup>。小种子或是广泛分布且数量大,或是分布范围小数量少,而大种子总是分布范围小、个体数量少。重力尽力使种子移入土壤深处,一些大种子也通过改变自身的结构进入土壤。所以从这个意义上说,重量较大的大种子有时有较大的机会进入土壤深处。但是,因为土壤缝隙太小,土壤的物理结构又阻止了很大的种子进入。种子的分布和储存与土壤颗粒大小、结构和土壤化学成分等有关。

(2) 水分条件。在干旱和半干旱地区,水是植物生长的限制因素,植物要最大可能地利用稀少而不规律的降水<sup>[47]</sup>。因为种子萌发需水量不同,所以降水多少的不同影响着群落结构和土壤种子库的结构,但水分含量并不会影响种子散布密度。Lortie 等<sup>[48]</sup>调查了沙漠中的植物群落,在沙丘顶部和底部分别设置样线,保证了土壤水分含量的不同。结果

表明,水分含量少的顶部植物密度显著小于水分含量较大的植物密度,但并不影响植物种子散布密度。

水分的异质性对干旱区土壤种子库及种子萌发的影响尤其显著。在干旱区,暂时的湿地广泛存在,其土壤种子库因洪水的发生频率、持续时间和发生时间的不同而差别很大<sup>[49]</sup>。埋深、洪水的持续时间和频率都会对物种组成产生影响,尤其洪水的频率影响更大<sup>[50]</sup>。

(3) 火烧。在易燃火的生境中,植物可以通过加强萌发而存在。地上植被被强火烧死之后依靠土壤种子库的种子萌发继续生存。理解火对土壤种子库的影响与理解火对地上植被的影响同样重要。火的频率、强度和火烧深度会改变地上植被和土壤种子库的特征<sup>[51, 52]</sup>。在埃塞俄比亚南部半干旱区调查的植物群落对火的响应研究中<sup>[53]</sup>,结果表明,在 Acacia 林地,烧前和烧后,种子密度分别为 1 100 粒/m<sup>2</sup>和 2 200 粒/m<sup>2</sup>,而且大部分属于草本和禾本植物种子。在 Afriomontane 森林,火烧前后,冠层外的种子密度分别为 6 125 粒/m<sup>2</sup>和 4 400 粒/m<sup>2</sup>;冠层下面的种子密度分别为 3 425 粒/m<sup>2</sup>和 1 325 粒/m<sup>2</sup>。风速、火传播的速度和火苗长度、燃料的消耗量等是火强度的指标,影响着土壤温度。实验中火的强度和土壤温度足够使豆科植物打破休眠。大部分种子分布在 0~3 cm 的土层中,对于 1 cm 下的种子,或是被火烧死,或是促进了萌发。

(4) 动物摄食行为。动物选择食物主要依靠种子的大小、蛋白质含量和其他因素<sup>[54]</sup>。如哺乳动物和鸟类选择较大的种子,而蚂蚁喜欢较小的种子。其他像野兔等草食动物挖洞穴,把种子移入土壤中。种子的水平和垂直分布对于依赖种子生存的动物来说很重要,尤其对于依赖于特种植物的那些动物。

种子落到地表后,将要受到大量的动物摄食的威胁。地表种子的比例将会改变很多。但是,不同大小的种子产生不同的响应。如选择性摄食使得较少的种子存在地表,所以,大部分种子应存在于土壤下面。但是,大种子应该存在于地表,因为它们很难进入土壤深处。小种子受摄食的危险较小,但是,很容易被风或流水带走,重新分布。但对于不同的生境,分布格局也不同。Chambers<sup>[55]</sup>报道了高山系统小种子易进入土壤深处;Haper<sup>[56]</sup>报道了在雨水的侵蚀下小种子易进入松散的土壤;Guo 等<sup>[24]</sup>调查的北美沙漠中,中等大小的种子易进入土壤深处,而大种子和小种子留在了土壤上层。

(5) 放牧。它不仅影响种子的数量,也影响了

种子质量<sup>[57]</sup>。但是,对于放牧如何影响种子库,存在着不同、甚至相反的观点<sup>[58, 59]</sup>。一般来说,放牧影响土壤种子库中种子密度的观点主要有下列 3 种:放牧提高了种子密度<sup>[60]</sup>;放牧降低了种子密度<sup>[61]</sup>;放牧对种子密度无显著影响<sup>[62]</sup>。产生这种结果的原因一是研究在不同气候条件下进行的;二是不同的研究使用了不同的放牧强度指标。放牧影响了种子库的质量和数量组成,但不同的放牧强度会产生不同的影响。赵文智等<sup>[63]</sup>研究了 4 种放牧强度(无放牧、轻度放牧、中度放牧和重度放牧)对沙地草原土壤种子库的影响,结果表明:随着放牧强度的增加,种子库物种数量降低,但一年生植物的比率增大;轻度和中度放牧的种子库数量增加,但重度放牧的种子库数量降低。相对于没有放牧的地方,放牧的地方非禾本草木植物和一年生植物的种子增多,而常绿草本植物的种子减少。

## 2 土壤种子库研究展望

土壤种子库是一个动态体系,通过对干旱区土壤种子库研究内容的分析,可看出生态学家们已经做了大量的研究工作,但土壤种子库理论并不成熟,还有待于完善,笔者认为今后干旱区土壤种子库的研究应进一步开展下列几个方面:

### 2.1 微生境与土壤种子库

干旱区不同群落或生态系统中,微生境如何影响土壤种子库的分布格局。尤其沙漠生态系统中的流动沙丘、半流动沙丘、半固定沙丘和固定沙丘,以及沙丘的不同部位的土壤种子库的分布格局研究还有待于发展。

### 2.2 土壤种子库与地上植被的关系

土壤种子库与地上植被的关系一直是土壤种子库研究的热点问题。微生境及水文过程等因素对土壤种子库和地上植被以及对两者关系的影响,还需要深入开展工作。对干旱区的很多群落来说,尤其短命植物的生境中,土壤种子库与地上植被的相似性与影响因素有很大关系。

### 2.3 退化生态系统的持久土壤种子库

持久土壤种子库对于植被的恢复具有潜在的作用,尤其是退化生态系统持久土壤种子库,在生物多样性保护中更具有实际意义。研究内容包括不同生态系统的持久土壤种子库的大小和组成、哪些植物种群具有持久土壤种子库、持久土壤种子库的时空动态、持久种子库中种子的寿命长短以及种子的命运等方面。

## 2.4 干扰因素对土壤种子库的影响

干扰影响土壤种子库的动态。很多干扰因素如放牧、火烧等对土壤种子库的影响已得到了广泛研究,但对于种子初始密度、埋深和水文过程等方面的影响还不多见。研究这些干扰因素对土壤种子库的大小和组成的影响,具有重要的实践意义,因为干扰后的土壤种子库对未来植被格局的影响更有实际意义。但此类研究,需设计精巧的实验进行观测。

## 2.5 植物种群的土壤种子库、种子萌发和幼苗生长特性的关系

过程和演替问题是近年来生态学研究的热点之一。研究各植物种群的土壤种子库、种子萌发和幼苗库生长特性之间的关系,为探求群落的更新和演替规律提供依据。

在干旱区,水是植物生长的限制因素。生长季中较大的降水会使大量种子萌发,但随后而来的干旱又会造成大多数新生幼苗死亡。在这种情况下,植物必须适应、忍耐和躲避干旱,形成了一系列关于萌发、出苗、生长和再繁殖的策略。但不同物种,即使在同一生境,萌发需要的最小雨量不同。这与生存策略有关,“机会策略”或说高风险策略,种子在 10 mm 以下即可萌发;“谨慎策略”或说低风险策略,其萌发和幼苗生长均需降水超过一定量。

在植物的生活周期中,种子对极端环境具有最大的忍耐力,而萌发的幼苗的忍耐程度则最小。土壤水分是调节种子萌发与幼苗生长的重要因素之一。土壤水分含量的高低,调节着种子的萌发及幼苗生长速率。种子发芽后能否有效定植成活,取决定于土壤水分状况和幼苗根系获取水分的能力,一般在相同环境条件下扎根深的幼苗抗旱性强。在水分异质性的影响下种子萌发、幼苗出土、生长与土壤种子库之间的自然关系研究正在成为新的研究热点。

## 3 结 语

我国对土壤种子库的研究起步较晚,但也作了大量的研究工作,主要集中在森林和草原等自然生态系统,张志权<sup>[64]</sup>对其做了综述。从内容上看,对土壤种子库的空间格局<sup>[65]</sup>、时空动态分析<sup>[66]</sup>、与地上植被关系<sup>[67]</sup>、影响因素<sup>[21, 68]</sup>,以及种子萌发的影响因素<sup>[69]</sup>等,都有研究;但对干旱区生态系统土壤种子库的研究还不多见。

随着人们对干旱区重要性认识的日益深入,干旱区受到越来越广泛的重视和研究。恢复和重建干旱区生态的重要性已越来越被人们所认识并成为研

研究的热点。作为干旱区的重要组成部分,土壤种子库研究是深入了解干旱区植被的结构和功能的重要内容。土壤种子库在植被恢复过程中的作用日益受到重视。因此,加强对干旱区种子库的研究,掌握干旱区种子库的特点和变化规律,是当前面临的一个迫切任务。

我国干旱区土壤种子库的研究还处于初始阶段,与国外相比,相对落后。结合国际在土壤种子库领域的研究进展,建议在我国干旱区土壤种子库的研究中加强关注以下几方面的内容:

(1) 干旱区土壤种子库的本底研究。我国干旱区土壤种子库研究处于刚刚起步阶段。首先要明确干旱区生态系统土壤种子库的基本特征,包括数量特征和种类组成、分布格局、时空动态和土壤种子库与地上植被的关系等,这是研究中最基本的工作。测定种子库与种子雨的数量关系,也是土壤种子库研究中不可缺少的环节。

(2) 微生境和水文过程等因素对土壤种子库和地上植被关系的影响。土壤种子库理论并不成熟,尤其土壤种子库和地上植被关系研究更有待发展。土壤种子库与地上植被的关系随着干扰因素的影响而变化。不同生态系统微生境和水文过程等因素对二者关系的影响方面的研究还不多见。

(3) 干扰因素对土壤种子库的影响。分析干扰对土壤种子库的影响依然是土壤种子库今后研究的重点内容。在相对稳定未被干扰的生态系统,自然选择可能不利于长命优势种群的持久种子库的积累,而干扰能够影响土壤种子库的组成、密度和动态。水分的异质性对干旱区土壤种子库及种子萌发的影响尤为重要。有关水分与萌发机制将会成为干旱区土壤种子库研究的热点之一。在干旱区,暂时的湿地广泛存在并因洪水的发生频率、持续时间和发生时间的不同而差别很大。埋深、洪水的持续时间和频率都会对土壤种子库的物种组成产生影响,在水的影响下是否种子萌发、幼苗出土、生长与种子库结构之间存在一定的自然关系还存在争论。

(4) 土壤种子库与恢复生态。因为有些种群种子在土壤中可存活几年、几十年,甚至上千年,可为未来的植被恢复提供坚实的种源基础,所以土壤种子库在生物多样性保护方面有着重要的意义。从土壤种子库、种子萌发和幼苗生长特性的角度,恢复和重建干旱区生态环境,是今后干旱区土壤种子库发展的趋势。

## 参考文献 (References):

- [1] Thibaud Decaens, Lucero Mariani, Nixon Betancourt, *et al* Seed dispersion by surface casting activities of earthworms in Colombian grasslands [J]. *Acta Oecologica*, 2003, 24: 175-185.
- [2] Thompson K, Grime J P. Seasonal variation in the seed bank of herbaceous species in ten contrasting habitats [J]. *Journal of Ecology*, 1979, 67: 893-921.
- [3] Harper J L. *Population Biology of Plants* [M]. London: Academic Press, 1977.
- [4] Inouye R S, Byers G S, Brown J H. Effects of predation and competition on survivorship, fecundity, and community structure of desert annuals [J]. *Ecology*, 1980, 61: 1 344-1 351.
- [5] Russi L, Cocks P S, Roberts E H. Seed bank dynamics in a Mediterranean grassland [J]. *Journal of Applied Ecology*, 1992, 29: 763-771.
- [6] Levassor C, Ortega M, Peco B. Seed bank dynamics of Mediterranean pastures subjected to mechanical disturbance [J]. *Journal of Vegetation Science*, 1990, 1: 339-344.
- [7] Leck M A, Parker V T, Simpson R L. *Ecology of Soil Seed Banks* [M]. San Diego: Academic Press, 1989.
- [8] Aviperovoltsky YO, Kige I J. Grazing effect on diversity of annual plant communities in a semi-arid range-land: Interactions with small-scale spatial and temporal variation in primary productivity [J]. *Journal of Ecology*, 2002, 90: 936-946.
- [9] Han Youzhi, Wang Zhengquan. Quantification comparison of spatial pattern of soil seed bank of *Fraxinus mandshurica* in two stands [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14 (4): 487-492. [韩有志, 王政权. 两个林分水曲柳土壤种子库空间格局的定量比较 [J]. *应用生态学报*, 2003, 14 (4): 487-492.]
- [10] Holmes P M. Depth distribution and composition of seed-banks in alien-invaded and uninvaded fynbos vegetation [J]. *Austral Ecology*, 2002, 27: 110-120.
- [11] Gross K L. A comparison of methods for estimating seed numbers in the soil [J]. *Journal of Ecology*, 1990, 78: 1 079-1 093.
- [12] TerHeerdt G N J, Verweij G L, Bekker R M, *et al* An improved method for seed bank analysis: Seedling emergence after removing the soil by sieving [J]. *Functional Ecology*, 1996, 10: 144-151.
- [13] Bigwood D W. Spatial pattern analysis of seed banks: An improving method and optimizing sampling [J]. *Ecology*, 1988, 69: 497-507.
- [14] Grime J P. Seed bank in ecological perspective [A]. In: Leck M A, Parker V T, Simpson R L, eds. *Ecology of Soil Seed Bank* [C]. San Diego: Academic Press, 1989. 1-5.
- [15] Thompson K, Bakker J P, Bekker R M. *The Soil Banks of North West Europe: Methodology, Density and Longevity* [M]. Cambridge University Press, 1997.
- [16] Lin Jin'an. A Review of Plant Seeds [M]. Harbin: Northeast Forestry Press, 1993. 211-221. [林金安. 植物种子综论 [M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1993. 211-221.]
- [17] Zhong Yankai, Zhang Haiyan. The influence of mowing on seed

- amount and composition in soil seed bank of typical steppe in quiring the research methods of soil seed bank [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis NeMongol*, 2001, 32 (6): 644-648. [仲延凯, 张海燕. 割草干扰对典型草原土壤种子库种子数量与组成的影响 V 土壤种子库研究方法的探讨 [J]. 内蒙古大学学报 (自然科学版), 2001, 32 (6): 644-648.]
- [18] Maone, Rossi B E, Casenave J L. Granivore impact on soil-seed reserves in the central Monte desert, Argentina [J]. *Functional Ecology*, 1998, 12: 640-645.
- [19] 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* [J]. *Journal of Ecology*, 2000, 88: 283-292.
- [20] Caballero I, Olano J M, Loidi J, *et al*. Seed bank structure along a semi-arid gypsum gradient in Central Spain [J]. *Journal of Arid Environment*, 2003, 55: 287-299.
- [21] Liu Zhimin, Zhao Wenzhi, Li Zhigang. Characteristics of the seed bank of *Sophora moorcroftiana* population in the middle reach of Yarlung Zangbo River, Tibet [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (5): 715-722. [刘志民, 赵文智, 李志刚. 西藏雅鲁藏布江中游河谷砂生槐种群种子库特征 [J]. 生态学报, 2002, 22 (5): 715-722.]
- [22] Araki S, Shiozawa S, Washitani I. An experimental device for studying seed responses to naturally fluctuating temperature of surface soil under a constant water table [J]. *Functional Ecology*, 1998, 12: 492-499.
- [23] Kemp P R. Seed bank and vegetation processes in deserts [A]. In: Leck M A, Parker V T, Simpson R L, eds. *Ecology of Soil Seed Bank* [C]. San Diego: Academic Press, 1989. 257-282.
- [24] Guo Q, Rundel P W, Goodall D W. Horizontal and vertical distribution of desert seed banks: Patterns, causes, and implications [J]. *Journal of Arid Environment*, 1998, 38: 465-478.
- [25] Guo Q, Rundel P W, Goodall D W. Structure of desert seed banks: Comparisons across four North American desert sites [J]. *Journal of Arid Environment*, 1999, 42: 1-14.
- [26] Yu S L, Marcelo S, Jiang G M, *et al*. Heterogeneity in soil seed banks in a Mediterranean coastal sand dune [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45 (5): 536-543.
- [27] Major J, Pyott W T. Buried viable seeds in temperate forest [A]. In: White J D, ed. *The Population Structure of Vegetation* [C]. Dordrecht, the Netherlands: Junle Publishers, 1966, 13: 253-282.
- [28] Whipple S A. The relationship of buried, germinating seeds to vegetation in an old-growth Colorado subalpine forest [J]. *Canadian Journal of Botany*, 1978, 56: 1 505-1 509.
- [29] Guo Q, Rundel P W, Goodall D W. Structure of desert seed banks: Comparisons across four North American desert sites [J]. *Journal of Arid Environment*, 1999, 42: 1-14.
- [30] Facelli J M, Temby A M. Multiple effects of shrubs on annual plant communities in arid lands of South Australia [J]. *Austral Ecology*, 2002, 27: 422-432.
- [31] Cody M L. Spacing patterns in Mojave Desert plant communities: Near neighbour analyses [J]. *Journal of Arid Environment*, 1986, 11: 199-217.
- [32] Halvorson W L, Patten D T. Productivity and flowering of winter ephemerals in relation to Sonoran desert shrubs [J]. *American Middle Nature*, 1974, 93: 311-319.
- [33] Henderson C B. Spatial and temporal pattern in the seed bank and vegetation of desert grassland community [J]. *Journal of Ecology*, 1988, 76: 717-728.
- [34] Sudebilige H, Li Y H, Yong S P, *et al*. Geminable soil seed bank of *Artemisia frigida* grassland and its response to grazing [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20 (1): 43-48.
- [35] Brown A H F, Oosterhuis L. The role of buried seed in coppice-woods [J]. *Biological Conservation*, 1981, 21: 19-38.
- [36] Thompson K, Band S R, Hodgson J G. Seed size and shape predict persistence in soil [J]. *Functional Ecology*, 1993, 7: 236-241.
- [37] Lunt I D. Seed longevity of six native forbs in a closed Themeda triandra grassland [J]. *Australia Journal of Botany*, 1995, 43: 439-439.
- [38] Leishman M R, Westoby M. Seed size and shape are not related to persistence in soil in Australia in the same way as in Britain [J]. *Functional Ecology*, 1998, 12: 480-485.
- [39] Thompson K, Grime J P. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats [J]. *Journal of Ecology*, 1979, 67: 893-921.
- [40] Ellis R H, Roberts E H. The quantification of aging and survival in orthodox seeds [J]. *Seed Science and Technology*, 1981, 9: 373-409.
- [41] Janice E B. Does *Ferocactus wislizeni* (Cactaceae) have a between-year seed bank? [J]. *Journal of Arid Environment*, 2000, 45: 197-205.
- [42] Reichman J. Spatial and temporal variation of seed distributions in Sonoran desert soils [J]. *Journal of Biogeography*, 1984, 11: 1-11.
- [43] Rundel P W, Gibson A C. *Ecological Communities and Processes in Mojave Desert Ecosystem* [M]. Cambridge: Cambridge University, 1996.
- [44] Guo Q F, Rundel P W, Goodall D W. Horizontal and vertical distribution of desert seed banks: Patterns, causes and implications [J]. *Journal of Arid Environment*, 1998, 38: 465-478.
- [45] Van der Reest P J, Rogaar H. The effect of earth worm activity on the vertical distribution of plant seeds in newly reclaimed polder soils in The Netherlands [J]. *Pedobiologia*, 1988, 31: 211-218.
- [46] Bemhardt K G. Seed burial by soil burrowing beetles [J]. *Nordic Journal of Botany*, 1995, 15: 257-260.
- [47] Wiegand K, Jeltsch F, Ward D. Analysis of the population dynamics of Acacia trees in the Negev desert, Israel with a spatially-explicit computer simulation model [J]. *Ecological Modelling*, 1999, 117: 203-224.
- [48] Lortie C J, Turkington R. The effect of initial seed density on the structure of a desert annual plant community [J]. *Journal of E-*

- ecology*, 2002, 90: 435-445.
- [49] Boulton A J, Brock M A. Australian Freshwater Ecology: Processes and Management [M]. Australia: Gleneagles Publishing, 1999.
- [50] Casanova M T, Brock M T. How do depth, duration and frequency of flooding influence the establishment of wetland plant communities [J]. *Plant Ecology*, 2000, 147: 237-250.
- [51] Bradstock R A, O'Connell M A. Demography of woody plants in relation to fire: *Banksia ericifolia* L. f. and *Petrophile pulchella* (Schrad) R. Br. [J]. *Australian Journal of Ecology*, 1988, 13: 505-518.
- [52] Auld T D, O'Connell M A. Predicting patterns of post-fire germination in 35 eastern Australia Fabaceae [J]. *Australian Journal of Ecology*, 1991, 16: 53-70.
- [53] Ingallil E, Demel T, Anders G. Response of plant communities to fire in an Acacia woodland and a dry Afriomontane forest, southern Ethiopia [J]. *Forest Ecology and Management*, 2003, 177: 39-50.
- [54] Sanson D A, Philippi T E, Davidson D W. Granivory and competition as determinants of annual plant diversity in the Chihuahuan Desert [J]. *Oikos*, 1992, 165: 61-80.
- [55] Chambers J C, MadMahon J A, Haefner J H. Seed entrapment in alpine ecosystems: Effects of soil particle size and diaspore morphology [J]. *Ecology*, 1991, 72: 1 668-1 677.
- [56] Harper J L. Population Biology of Plants [M]. New York: Academic Press, 1977.
- [57] Kinucan R J, Smeins F E. Soil seed bank of semi-arid Texas grassland under three long-term (36 years) grazing regimes [J]. *American Middle Naturalists*, 1992, 128: 11-21.
- [58] Huston M. Biological Diversity: The Coexistence of Species on Changing Landscapes [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [59] Proulx M, Mazumder A. Reversal of grazing impact on plant species richness in nutrient-poor vs nutrient-rich ecosystems [J]. *Ecology*, 1998, 79: 2 581-2 592.
- [60] O'Connor T G, Pickett G A. The influence of grazing on seed production and seed bank of some African savanna grassland [J]. *Journal of Applied Ecology*, 1992, 29: 247-260.
- [61] Ghemandi L. Seasonal patterns in the seed bank of a grassland in north-western Patagonia [J]. *Journal of Arid Environments*, 1997, 35: 215-224.
- [62] Milberg P, Hansson M L. Soil seed bank and species turnover in a limestone grassland [J]. *Journal of Vegetation Sciences*, 1993, 4: 35-42.
- [63] Zhao W Z, Liu Z M, Chang X L. Influence of Grazing intensity on seed bank of a sandy grassland in Horqin steppe of China [J]. *Annals of Arid Zone*, 2001, 40 (4): 397-404.
- [64] Zhang Zhiquan. Soil seed bank [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1996, 15 (6): 36-42 [张志权. 土壤种子库 [J]. 生态学杂志, 1996, 15 (6): 36-42 ]
- [65] Han Youzhi, Wang Zhengquan. The spatial pattern and process of seed bank of *Fraxinus mandshurica* in secondary hardwood forests [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26 (2): 170-176 [韩有志, 王政权. 天然次生林中水曲柳种子库的空间格局与过程 [J]. 植物生态学报, 2002, 26 (2): 170-176 ]
- [66] Wang Gang, Liang Xuegong. The dynamics of seed bank on Shapotou artificially stabilized dunes [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1995, 37 (3): 231-237. [王刚, 梁学功. 沙坡头人工固沙区的种子库动态 [J]. 植物学报, 1995, 37 (3): 231-237. ]
- [67] Tang Yong, Cao Min, Zhang Jianhou, et al. Relationship between soil seed bank and above ground vegetation in tropical forest of Xishuangbanna [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10 (3): 279-282 [唐勇, 曹敏, 张建侯, 等. 西双版纳热带森林土壤种子库与地上植被的关系 [J]. 应用生态学报, 1999, 10 (3): 279-282 ]
- [68] Liu Zhimin, Jiang Deming, Gao Hongying, et al. Relationships between plant reproductive strategy and disturbance [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14 (3): 418-422 [刘志民, 蒋德明, 高红瑛, 等. 植物生活史繁殖对策与干扰关系的研究 [J]. 应用生态学报, 2003, 14 (3): 418-422. ]
- [69] Ren J, Tao L, Liu X M. Effect of water supply on seed germination of soil seed bank in desert vegetation [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44 (1): 124-126.



## ADVANCES IN THE SOIL SEED BANK OF ARID REGIONS

LI Qiu-yan, ZHAO Wen-zhi

(1. *Laboratory of Hydrology and Applied Ecology in Cold and Arid Basin, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Chinese Ecosystem Network Research Linze Inland River Basin Comprehensive Research Station, Lanzhou 730000, China*)

**Abstract:** Soil seed banks play prominent ecological and evolutionary roles linking past, present and future plant population and community structure and dynamics. They are important contributors in conservation and vegetation regeneration in arid regions. The seed bank methodology, and main subjects, such as character of size, distribution patterns, dynamics, relationship with the above-ground vegetation, age structure and influence factors in arid regions are reviewed in detail. The research trends of soil seed banks in arid regions are prospected and summed up as follows: (1) how microhabitats affect the distribution patterns of the soil seed bank in different ecosystem; (2) the dynamics of relationships between soil seed bank and above-ground vegetation; (3) the dynamics of soil seed banks, especially the persistent soil seed bank, in deteriorated ecosystem; (4) how the influencing factors, such as initial seed density, sand burial depth and hydrological process affect soil seed banks in arid regions; (5) the relationships among soil seed bank, germination and juvenile performance of different populations. And some hot topics about soil seed bank research are presented in China, which include: (1) the primary characteristics of soil seed banks in different ecosystem, mainly concerning species composition, size character, distribution patterns, spatio-temporal dynamics; (2) the influences of microhabitats and water regime on relationships between soil seed bank and the above-ground vegetation; (3) how enclosure, grazing and hydrological heterogeneity affect soil seed bank; (4) the intrinsic mechanism of soil seed bank and its ecological application.

**Key words:** Arid regions; Soil seed bank; Methodology; Distribution patterns; Spatio-temporal dynamics