

太白山土壤种子库储量与物种多样性的垂直格局

张 玲, 方精云

(北京大学环境学院生态学系, 北京大学地表分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 通过野外植被调查和室内试验, 从 1 220 份土样中, 挑选土壤中的种子, 进行分类统计, 研究秦岭太白山南坡土壤种子库储量与物种多样性沿海拔梯度的变化。研究结果如下: (1) 太白山南坡土壤种子库中的植物种为 172 种; 从总体上看, 土壤种子库中的物种丰富度 (S) 随着海拔的上升呈下降趋势。土壤种子库生物多样性特征表现为在 2 个海拔段发生较明显的变化: 一是从低海拔到中海拔 (1 500~2 500 m), 二是从中海拔到高海拔 (2 500~3 500 m)。在 α 多样性方面, 生态优势度在海拔 2 500 m 处最大; 在海拔 2 400 m 以下 (包含 2 400 m) 的样地中, 种子库生态优势度大于海拔 2 500 m 以上 (含 2 500 m) 的样地种子库的生态优势度。 H' (Shannon-Wiener 指数) 与生态优势度的变化趋势相反。(2) 太白山南坡土壤种子库储量最大值出现在海拔 2 600 m 的样地, 为 2.24×10^4 Ind./m²; 种子库储量最小值出现在海拔 3 500 m 的样地, 为 4.43×10^2 Ind./m²。储量沿海拔梯度的变化趋势表现为: 在海拔 2 600 m 以下, 种子库储量沿海拔的上升呈逐渐增加的趋势; 在海拔 2 600 m 以上, 种子库储量沿海拔的上升呈逐渐下降的趋势。(3) 土壤种子库的种子储量与种子密度的变化规律基本一致。而用单位面积土壤中的种子储量来表示种子库的大小特征比用种子密度来表示更为实用和方便, 而且采集具有不同性质的土壤研究种子库, 考虑到了土壤性质等因素的影响, 更能客观反映土壤种子库的特点。

关键词: 太白山; 土壤种子库; 物种多样性; 海拔

1 引言

土壤种子库 (soil seed bank) 指存在于确定面积的土壤表面及其下的土层中具有活力的种子总数^[1-4]。土壤种子库与地上植物一样, 是群落的组成成分^[5]; 它作为潜在的植物群落, 与群落更新、植被重建、林窗动态及生物多样性保护密切相关^[6]。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; 它能维持多种多样的物种、基因型、表现型, 这为群落的潜在反应提供了重要可能; 其动态也保证了群落的自身维持和对环境变化的反应。组成植物群落的物种具有不同的土壤种子库, 掌握这些物种土壤种子库的动态, 有助于了解在群落内部有重要限制作用的因子或过程^[7]。土壤种子库作为生物多样性的一个重要组成部分, 在植被的发生和演替、更新和恢复过程中起着重要的作用; 对土壤种子库的研究已成为植物种群生态学和植被生态学研究热点之一; 主要内容有土壤种子库的区系组成、动态、分布格局及其与群落植

收稿日期: 2004-02-20; 修订日期: 2004-09-04

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(G2000046801); 国家自然科学基金项目(39830050; 39970044); 教育部科学技术重点项目(99001)[Foundation: State Key Basic Research and Development Plan, No.G2000046801; National Natural Science Foundation of China, No.39830050; No.39970044; Key Project of Science and Technology MOE, No.99001]

作者简介: 张玲 (1974-), 女, 湖北恩施人, 土家族, 博士, 现清华大学环境系博士后, 主要从事生态学和环境科学研究。E-mail: ling-zhang@mail.tsinghua.edu.cn

物、环境条件和人为干扰的关系等。土壤种子库的研究在我国起步相对较晚, 研究成果主要集中在森林生态系统、草原和山地草甸等方面^[8-21]。关于山地的生物多样性研究主要在于地上植被植物多样性的分布规律^[22, 23], 而关于山地生态系统的土壤种子库研究, 更多的是探讨一个系统内部的平面分布情况, 对于沿山体垂直梯度的土壤种子库的研究少见^[15, 16]。那么地下土壤种子库的生物多样性与海拔之间究竟有着什么样的规律呢? 这是一个很值得探讨的问题。为了了解土壤种子库的生物多样性与海拔的关系, 本文选择秦岭太白山南坡作为研究对象, 运用多项反映群落结构和物种多样性的指标对太白山南坡沿海拔梯度的土壤种子库的种子储量特征进行研究, 以期探讨土壤种子库的垂直分布特征以及土壤种子库生物多样性的垂直格局。

2 研究方法

2.1 研究地点

研究地点位于太白山自然保护区内, 自然保护区面积 56 325 hm²。太白山是秦岭的主峰, 位于陕西省境内, 跨太白、眉县和周至 3 县, 地理位置大约为 107°19'~107°58'E, 33°40'~34°10'N, 最高峰拔仙台海拔 3 767.2 m, 为暖温带第一高峰。太白山处于暖温带的最南端, 年降水量约为 1 000 mm 左右, 年均温 1~5 °C。由于复杂的生物、气候条件与地质、地貌条件相互作用, 太白山的土壤分布具有明显的垂直带性, 海拔高度范围在 1 300~3 500 m 之间, 工作区的土壤分带自下而上为: 山地棕壤带、山地暗棕壤带、亚高山草甸森林土带、高山草甸土带; 在高山带还分布着山地沼泽土。植被大致可分为常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、针阔混交林、针叶林、高山灌丛草甸、高山草甸等 6 个类型。这里的植物种类丰富, 种子植物有 125 科 657 属 1 782 种, 植被类型复杂, 垂直地带性明显^[24, 25]。

2.2 取样及处理

2.2.1 样品采集 2001 年 6 月 24 日至 2001 年 7 月 20 日进行野外调查及土壤样品采集。样地设在太白山南坡从海拔 1 500 m 的厚畛子直到海拔 3 500 m。从海拔 1 500 m 起, 沿海拔梯度每隔 100 m 选取一个典型样地 (20 m×40 m), 进行植物群落调查记录。在植被调查的同时采集土样。所有种子库调查均采用小样方法 (0.25 m×0.4 m), 样方随机设置。在典型样地内随机选取 20 个小样方, 每个小样方的面积为 0.25 m×0.4 m。在各小样方内, 分 3 层采集土样; 第一层为枯枝落叶层, 第二层为腐殖质层, 第三层为心土层; 各土样分装入布袋中, 并记录各层的土样厚度。由于心土层较深, 因此心土层取样 10 cm 深。总共采集土样 1 220 份。

2.2.2 种子筛选 野外采集土样置于常温下, 2001 年 7 月 24 日开始对每个取样点的样品进行逐点逐层过筛、淘洗。首先将各个土样进行分级筛选, 分别依次过筛: 3 mm、2 mm、0.6 mm、0.45 mm。然后人工挑选种子, 0.6 mm 和 0.45 mm 筛上的土壤再在双筒显微镜下进行记数、鉴定。最后进行淘洗, 待反复冲洗干净后剔除杂物, 拣出各种植物种子进行统计。把筛选过的土壤拿来进行发芽实验, 统计幼苗以弥补人工挑选漏掉的种子。对挑选出来的种子进行种子活力测定。种子生活力用四唑法^[26]: 将 2、3、5~三苯四唑氯化物 (TTC) 称得 1 g, 加重蒸水 100 ml (pH6.5~7.0)。把植物种子用自来水冲洗干净, 浸泡 2h 后, 吸干种子表面水分, 横切不断裂, 放入四唑溶液中, 在 35~40 °C 温箱内染色 2h, 然后从四唑溶液中取出种子在放大镜下区分着色及未着色种子; 着色种子是有生活力的。

2.2.3 数据分析

(1) 土壤种子库储量的表示指标 通常表征土壤种子库储量的指标有 2 个, 一个是土

壤种子库储量,以单位取样面积土壤内所包含的种子数量来表示,它是反映一个样地内种子储量的总体情况。为了探讨土壤内种子的储量随海拔梯度的变化趋势,本实验中根据各个样地土壤性质的不同,分三层取样,故此在本文中土壤种子库的储量是以单位面积土壤中所埋藏的种子数量 (Ind./m²) 来表示。第二个是土壤种子库密度,它是指单位体积土壤内所包含的种子数量,它可用于同一样地内不同土壤深度的土壤种子储量的比较。土壤种子库密度用单位面积每厘米深的土壤中的种子数量 (Ind./m²×cm) 来表示。

(2) α 多样性测度方法

生态优势度^[27]: $C = \sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1) / N(N - 1)$, 其中, S 为样地总种数, n_i 为第 i 种的个体数, N 为样地总个体数。

Shannon-Wiener 指数^[28]: $H' = - \sum_{i=1}^{S^*} (p_i \ln p_i)$, 其中, S 为群落中总物种数, p_i 为第 i 种的相对多度。

(3) β 多样性测度方法

Jaccard 指数^[28]: $C_j = \frac{c}{a + b - c}$

Cody 指数^[28]: $\beta_c = \frac{g(H) + l(H)}{2} = \frac{a + b - 2c}{2}$

式中: a 和 b 分别为两群落各自的物种数, c 为两群落的共有物种数, $g(H)$ 为沿生境梯度 H 增加的物种数, $l(H)$ 为沿生境梯度 H 丢失的物种数。

相异性系数^[29] (Community Dissimilarity): $CD = 1 - \frac{2c}{a + b}$

式中: c 为两群落共有的物种数, a 、 b 分别为两群落各自的物种数。

3 研究结果

3.1 土壤种子库储量的垂直分布

3.1.1 土壤种子库总储量沿海拔的分布 太白山土壤种子库储量在海拔 2 500~3 000 m 之间出现了一个明显的峰值区域 (图 1a), 其储量明显高于其他海拔的种子库储量 (2 900 m 处除外)。在海拔 2 500 m 以下的各样地, 土壤种子库储量随海拔的升高逐渐增加; 3 100 m 以上各海拔的种子库储量则随海拔的增加而下降。种子库储量最大出现在海拔 2 600 m 的样地, 储量为 2.24×10^4 Ind./m², 其中糙皮桦 (*Betula utilis*) 种子和马唐 (*Digitaria sanguinalis*) 种子贡献大, 数量分别多达 1.8×10^4 Ind./m² 和 3.2×10^3 Ind./m²; 种子库储量最小出现在海拔 3 500 m 的样地, 储量为 4.43×10^2 Ind./m²。海拔 1 500~3 000 m 之间, 随着海拔的升高, 土壤种子库总储量有上升趋势; 海拔 3 000 m 以上, 随着海拔的升高, 土壤种子库总储量有下降趋势。经过 t-检验 (检验显著度水平 $p < 0.05$), 说明土壤种子库总储量沿海拔的变化趋势显著 ($p = 0.000$)。土壤种子库的密度变化趋势与储量变化趋势基本一致 (图 1a)。

3.1.2 土壤种子库储量在不同土层的分布 在研究区域内, 枯落物层的种子储量范围为 $67 \sim 1.72 \times 10^4$ Ind./m², 平均为 4.09×10^3 Ind./m² (图 1b)。其土壤种子库储量在 3 层土样基本是最大。枯落物层的种子储量与土壤种子库总储量沿海拔梯度的变化趋势相似, 同样在海拔 2 500~3 000 m 区域内出现了峰值。其最大值出现在海拔 2 600 m 的样地中, 种子库储量为 1.72×10^4 Ind./m²; 而海拔 1 500~2 500m 之间, 枯落物层的种子库储量随海拔升高有增加趋势, 但各样地储量均较低, 平均为 1.99×10^3 Ind./m²; 海拔 2 500 m 以上枯落

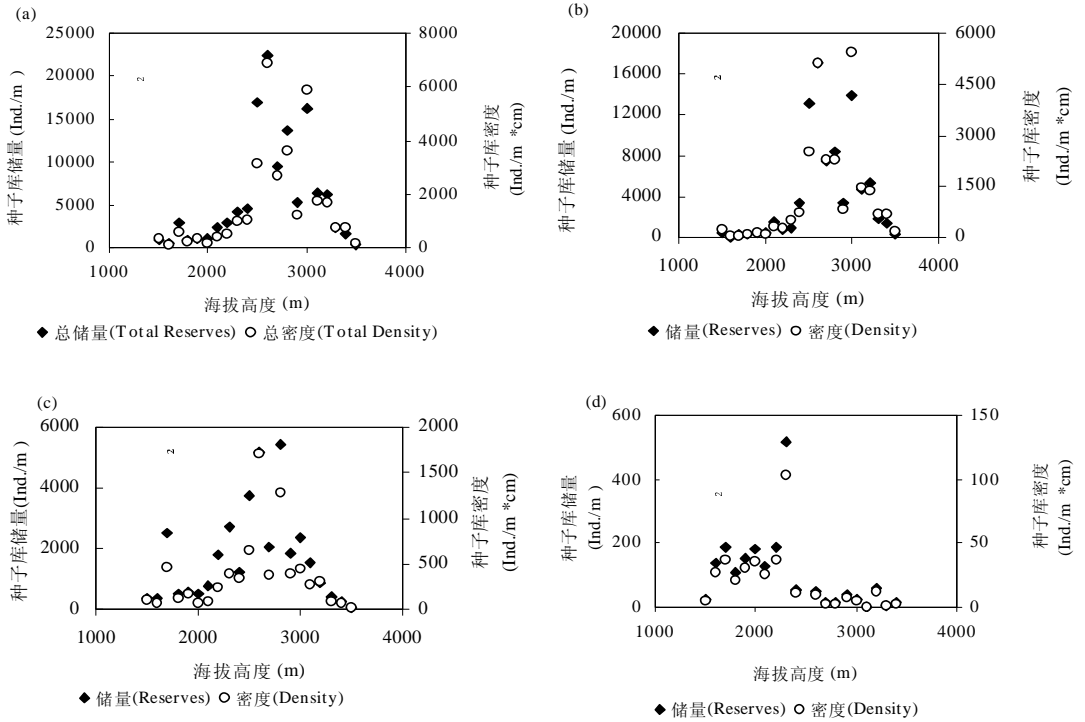


图 1 土壤种子库总储量和总密度 (a) 以及枯落物层 (b)、腐殖质层 (c)、心土层 (d) 的储量和密度
 Fig. 1 Soil seed bank reserves and density of sum (a); litter layer (b); humus layer (c); and subsurface soil layer (d) along altitudinal gradient

物层的种子库储量则随海拔的升高逐渐下降。t-检验 (检验显著度水平 $p < 0.05$) 表明, 枯落物层的种子库储量沿海拔的变化趋势显著 ($p = 0.000$)。枯落物层的密度变化与储量变化趋势基本一致 (图 1b)。

与土壤种子库总储量沿海拔梯度的变化趋势相似, 腐殖质层中的种子储量也在 2 500~3 000 m 海拔段内出现了峰值 (图 1c); 在这个海拔段内糙皮桦种子的贡献较大。种子库储量最大值出现在海拔 2 800 m 的样地中, 储量为 5.42×10^3 Ind./m²; 最小值出现在海拔 3 500 m 处, 储量为 73 Ind./m²; 海拔 1 500~2 500 m, 腐殖质层的种子库储量随海拔升高而增加, 而各个样地种子库储量均较低, 平均为 790 Ind./m²。海拔 2 500 m 以上腐殖质层的种子库储量随海拔升高而下降。总体来看, 海拔 2 500 m 以上样地腐殖质层的种子库储量大致高于 2 500 m 以下样地腐殖质层的种子库储量。t-检验 (检验显著度水平 $p < 0.05$) 表明, 腐殖质层的种子库储量沿海拔的变化趋势显著 ($p = 0.000$)。腐殖质层种子库密度变化趋势与储量变化趋势基本一致 (图 1c)。

心土层种子储量不多 (图 1d), 平均为 90 Ind./m², 只占平均总储量的 1.5%。该层土壤中的种子储量沿海拔梯度的变化趋势不如枯枝落叶层和腐殖质层那么明显。除 2 300 m 处的种子储量 (517 Ind./m²) 较高外, 其他则都不高; 总体趋势为低海拔处的种子储量高于高海拔处。在海拔 2 300 m 的样地中, 心土层的种子库储量最大。海拔 2 200 m 以下心土层种子库储量沿海拔的升高变化不大; 海拔 2 400 m 以上心土层种子库储量沿海拔的变化也不大。海拔 2 500 m 和 3 500 m 没有采集到心土层土样, 而海拔 3 100 m 心土层土样中没有发现有种子存在。t-检验 (检验显著度水平 $p < 0.05$) 表明, 心土层的种子库储量沿海拔的变化趋势显著 ($p = 0.000$)。心土层种子库密度变化趋势与储量变化趋势基本一致 (图 1d)。

本研究分 3 层取土样，即枯落物层、腐殖质层、心土层。经 ANOVA 分别对各个样地种子在土壤中的垂直分布储量和密度进行差异显著性分析，结果表明在 5% 的差异显著水平上，各个样地土壤种子库枯落物层、腐殖质层、心土层相互之间种子储量和密度的差异达到了显著水平。大部分样地内种子库储量的垂直分布基本表现为枯落物层 > 腐殖质层 > 心土层，而在 1 600~2 000 m 海拔段种子库储量的垂直分布则表现为腐殖质层 > 枯落物层 > 心土层。从种子库垂直分布的密度来看，除了海拔 1 600~1 900m 处种子库密度的垂直分布表现为腐殖质层 > 枯落物层 > 心土层，其他样地内种子库密度的垂直分布也基本表现为枯落物层 > 腐殖质层 > 心土层 (图 1)。

3.2 土壤种子库的多样性特征

土壤种子库作为潜在的植物群落，也具有一定的结构特征。各个样地土壤种子库的群落结构特点用不同的生态学指数表示；物种多样性包括 α 多样性和 β 多样性。

3.2.1 物种丰富度 土壤种子库中物种数 S 沿着海拔梯度的变化表明：太白山南坡土壤种子库中的物种数目为 172 种 (图 2)，总体上看，土壤种子库中的物种数沿着海拔的上升呈下降趋势。从低海拔到中等海拔处 (海拔 1 500~2 200 m) 物种数表现出随着海拔的升高逐渐增加的趋势，但变化幅度不大。从中等海拔到高海拔处 (海拔 2 300~3 500 m) 物种数随着海拔的升高表现出逐渐减少的趋势。海拔 2 200 m 样地处土壤种子库中物种种类最多，有 56 种。海拔 3 500 m 样地处土壤种子库中物种种类最少，只有 16 种。在海拔 2 500 m 以下的样地，土壤种子库中物种种类普遍多于海拔 2 500 m 以上 (包含海拔 2 500 m 样地) 样地的物种种类。

3.2.2 α 多样性 土壤种子库中生态优势度在海拔 2 500 m 处的生态优势度最大 (图 3a)。生态优势度在海拔梯度上的变化分为两段：在海拔 2 400 m 以下 (包含 2 400 m) 的样地中，种子库生态优势度大于海拔 2 500 m 以上 (包含 2 500 m) 的样地种子库的生态优势度。土壤种子库 Shannon-Wiener 指数 (H') 沿海拔梯度的变化显示， H' 与生态优势度的变化趋势相反 (图 3b)。

3.2.3 β 多样性 比较相邻样方间土壤种子库的 Jaccard 指数 (图 4)，发现 2 100~2 200 m 之间的群落共有度最大，3 000~3 100 m 之间的共有度最小。从中看出，Cody 指数在海拔

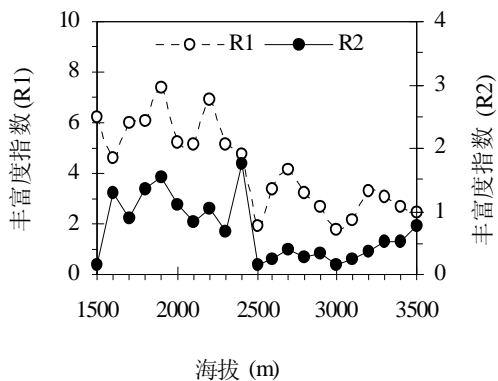


图 2 土壤种子库物种丰富度沿海拔梯度的变化
Fig. 2 Species richness of soil seed bank along altitudinal gradient

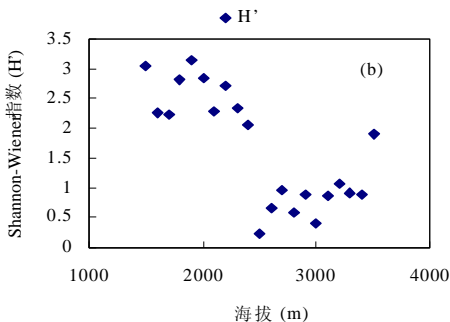
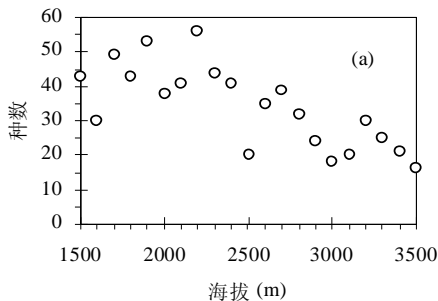


图 3 土壤种子库生态优势度 (a) 和 Shannon-Wiener 指数 (b) 沿海拔梯度的变化

Fig. 3 Changes in ecological dominance (a) and Shannon index (b) of soil seed bank along altitudinal gradient

段 1 900~2 000 m、2 600~2 700 m、3 200~3 300 m 三个海拔段出现峰值，在海拔 2 000~2 100 m、2 900~3 000 m 二个海拔段出现谷值。

分别以太白山南坡海拔 1 500 m、1 600 m 和 1 700 m 的样方为基准，以 100 m 为步长，计算不同海拔差的样方与基准样方的相异性系数 (图 5)，发现其表现出相同规律：随着海拔差的增加，相异性系数逐渐增大，直至接近于 1。

4 分析与讨论

4.1 土壤种子库储量

土壤种子库储量是表征土壤种子库组成特征的一个重要指标，它反映了一个样地内植物更新种源的情况，是影响其植被更新能力的一个重要因素。已有的很多研究常用固定深度土壤内的种子密度来表示种子库的大小特征。本文分别用单位取样面积土壤内所包含的种子数量来表示的种子库储量和用单位体积土壤内所包含的种子数量来表示的种子库储量，并对这两个指标进行了比较。土壤种子库的种子储量与种子密度的变化规律基本一致。表明用单位面积土壤中的种子储量来表示种子库的大小特征比用种子密度来表示更为实用和方便，不用拘泥于采用固定深度的土层进行土壤种子库研究；而且采集具有不同性质的土壤来研究种子库，考虑到了土壤性质等因素的影响，更能客观地反映土壤种子库的特点。因为随着海拔高度变化，植被类型以及土壤的结构和理化性质都有所变化，这一点值得注意。本文在土壤种子库研究的土壤取样方法上进行了创新。

太白山南坡土壤种子库储量沿海拔梯度的变化趋势为：在海拔 2 600 m 以下，种子库储量沿海拔的上升呈逐渐增加的趋势；在海拔 2 600 m 以上，种子库储量沿海拔的上升呈逐渐下降的趋势。在中等海拔处，土壤种子库储量呈现峰值区。土壤种子库储量在土壤中垂直分布的基本规律是：在较高海拔 (2 000 m 以上) 土壤种子库储量随土层加深而减少，表现为枯落物层 > 腐殖质层 > 心土层；在低海拔 (2 000 m 以下) 则表现为腐殖质层 > 枯落物层 > 心土层。这与已有的研究认为土壤种子库储量随土层加深而减少的观点^[13]有差别。这是通过用不同性质的土壤层进行采样研究的结果。

枯落物层是土壤与地上植被的交界面，所以枯落物层的种子储量也比较丰富。心土层处于土壤的较下层，许多种子难以进入该层次，所以该层次种子储量不多。研究结果显示较低海拔的土壤种子库在枯落物层的分布量小于腐殖质层。对于这种分布状况，地形在其中起到一定的作用。在海拔 2 000 m 以下，坡度比较大；而在海拔 2 000 m 以上，坡度要小一些，因此前者枯落物层的种子赋予量就较小。另外，不同土壤层的厚度也存

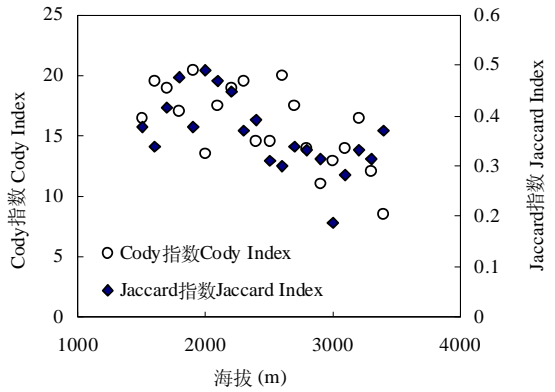


图 4 土壤种子库的 β 多样性指数沿海拔梯度的变化
Fig. 4 Changes in Cody index and Jaccard index of soil seed bank along altitudinal gradient

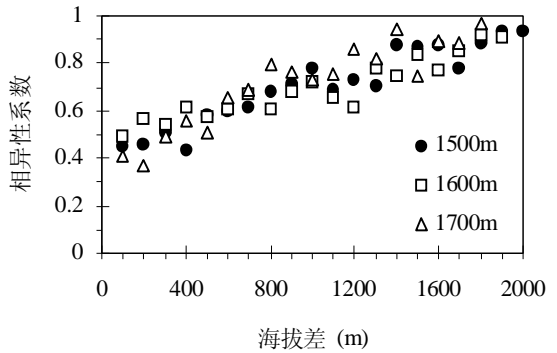


图 5 土壤种子库的相异性指数沿海拔梯度的变化
Fig. 5 Community dissimilarity index of soil seed bank along altitudinal gradient

在一定的影响。大多数海拔处，腐殖质层土厚度普遍大于枯落物层的土厚度(图6)。

分析发现,土壤种子库中物种种子特性也是影响种子库的储量的一个重要因素。糙皮桦和巴山冷杉(*Abies fargesii*)的种子沿海拔梯度的变化规律与土壤种子库总储量的变化规律表现出一定的一致性^[20]。在太白山的中山地带,糙皮桦为群落的主要优势物种,糙皮桦种子细小、轻巧,数量很多;且易于随风传播,这是海拔2 500~2 800 m间样地土壤种子库储量较大的重要原因之一。在海拔2 300 m处,心土层的种子库储量比较大,一种榆科乔木的种子和马唐种子在其中起到重要的作用。在2 500 m以下的地区,落叶栎林中栎类占主要位置,由于栎类的种籽粒大,数量也不如糙皮桦那么巨大,且成熟后易被动物取食,这是导致海拔1 500~2 300 m之间样地土壤种子库储量较小的原因之一。随着海拔的升高,植物种类也趋于减少,最后逐渐过渡到高山灌丛草甸,从而也就减少了土壤中种子的储量。腐殖质层中的种子储量也在2 500~3 000 m海拔段内出现了峰值;在这个海拔段内糙牛皮桦种子的贡献较大。种子库储量最小的样地海拔3 500 m,种子库中主要包括太白红杉种子,以及莎草科、菊科和伞形科植物各一种的种子数量较多。在海拔2 300 m的样地中,心土层的种子库储量最大,因为在此海拔处,榆科的一种乔木种子和禾本科的马唐种子占有较大的优势,分别占该层总量的43.9%和25.8%。

4.2 土壤种子库的多样性特征

物种丰富度即出现在样方内的物种数,是对生物多样性最直观的描述。它是最为古老、同时也是最基本的一个多样性概念,它可能是所有多样性术语中最不易引起混乱的,因而其使用率很高^[30]。丰富度是足以反映群落多样性的指数。一般来说,物种丰富度和群落类型关系密切,而群落类型又与各种环境因子的综合作用有关。总体上看,土壤种子库中的植物种数沿着海拔的上升呈下降趋势。这与地上植被的变化趋势基本一致,只是变化幅度有差异。

土壤种子库群落特性表现为在两个海拔段内发生较明显的变化:一个是从低海拔到中等海拔(1 500~2 500 m),另一个是从中等海拔到高海拔(2 500~3 500 m)。生态优势度沿海拔的变化规律说明,在海拔2 400 m以下种子库中潜在的群落优势度为多个种群分配,而在海拔2 500 m以上种子库中优势种较少。通过比较发现,生态优势度高的种子库物种多样性指数低,这与彭少麟^[26]对亚热带森林群落的研究结果相同。Cody指数反映出太白山南坡土壤种子库群落过渡带的特点。土壤种子库群落的Cody指数沿海拔梯度的变化并不十分剧烈。在共有度小的区域,群落的物种组成发生陡变,说明这个区域是群落过渡带。海拔3 000~3 100 m之间的共有度最小,因此这是土壤种子库群落的过渡带。 β 多样性的变化规律表明太白山南坡的海拔变化表现出较明显的生态梯度,不同海拔间的土壤种子库群落物种组成和结构发生了较大的变化。从相异性系数来看,尽管所研究区域的海拔跨度达2 000 m,种子库群落相互间在物种组成上均有或多或少的联系;海拔差越小,相互间的相异性系数越小,即相互间的共有种越多,相异程度也越小。

Thompson认为^[31],土壤种子库的密度随着海拔、纬度和演替年龄的增加而降低;他

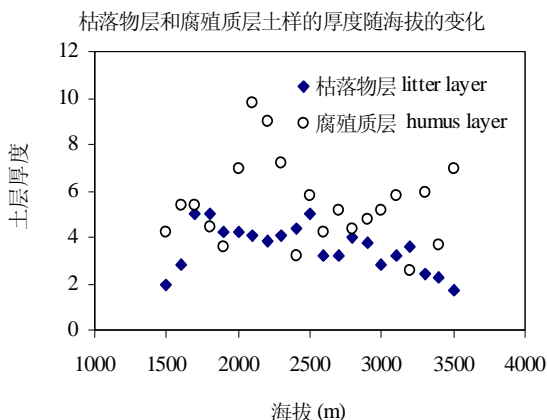


图6 不同土壤层厚度沿海拔梯度的变化
Fig. 6 Depth of different soil sampling layers along altitudinal gradient

还认为热带、北极和高山生境的种子库数量小, 受干扰的土壤中种子库数量大。而在本研究中土壤种子库的密度变化表现是多方面的, 即从低海拔到中等海拔间变化不是很大, 从中等海拔到高海拔间变化也不是很大, 但这两个海拔段之间的差别较大。Thompson^[3]曾认为在不同的植被地带、不同的植物群落, 其种子库的组成特性、生态功能各有不同; 同一群落内部的不同物种, 其种子库特性也可能有重大差异。本研究结果支持这一观点。

参考文献 (References)

- [1] Vander Valkl. The role of seed banks in the vegetation dynamics of prairie glacial mashers. *Ecology*, 1978, 59: 322-325.
- [2] Bigwood D W, Inouye D W. Spatial pattern analysis of seed banks: animal proved method and optimized sampling. *Ecology*, 1988, 69 (2): 497-507.
- [3] Keeley J E. *Population Biology of Plants*. London and New York: Academic Press, 1977. 33-51
- [4] Roberts H A. Seed banks in soils. In: Coaker T H, *Advances in Applied Biology*. London: Academic Press, 1981. 1-55.
- [5] Major J, Pyott W T. Buried viable seeds in two California bunch grassites and their bearing on the definition of aflora. *Vegetation*, 1966, 13: 253-282.
- [6] Leck M A, Parker V T, Simpson R L (eds). *Ecology of Soil Seed Banks*. San Diego: Academic Press, 1989.
- [7] Grime J P. Seed banks in ecological perspective. In: Parker V T, Leck M A, Simpson R L (eds.), *Ecology of Soil Seed Banks*. London: Academic Press, 1989. xv-xxii.
- [8] Xiong Liming. A preliminary study on the soil seed banks of different successional stages of subtropical evergreen broad-leaved forest. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1992, 16(3): 249-257. [熊利民. 亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤种子库的初步研究. *植物生态学与地植物学学报*, 1992, 16(3): 249-257.]
- [9] Wang Gang, Liang Xuegong. The dynamics of seed bank on Shapotou artificially stabilized dunes. *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. *植物学报*, 1995, 37(3): 231-237.]
- [10] Yang Yunfei, Zhu Ling. Comparative analysis of seed banks in saline-alkali communities in the Song-Nen Plain of China. *Acta Phytocologica Sinica*. 1995, 19(2): 144-148. [杨允菲, 祝玲. 松嫩平原盐碱植物群落种子库的比较分析. *植物生态学报*, 1995, 19(2): 144-148.]
- [11] An Shuqing, Lin Xiangyang, Hong Bigong. A preliminary study on the soil seed banks of the dominant vegetation forms on Baohua Mountain. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(1): 41-50. [安树青, 林向阳, 洪必恭. 宝华山主要植被类型土壤种子库初探. *植物生态学报*, 1996, 20(1): 41-50.]
- [12] Xu Huacheng, Ban Yong. The distribution of seeds in the soil and the sustainability of the seed bank of *Larix Gmelini* in northern Daxinganling Mountains. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(1): 28-34. [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.]
- [13] Cao Min, Tang Yong, Zhang Jianhou et al. Storage and dominantants in soil seed banks under the tropical forests of Xishuangbanna. *Acta Botanica Yunnanica*, 1997, 19(2): 177-183. [曹敏, 唐勇, 张建侯 等. 西双版纳热带森林的土壤种子库储量及优势成分. *云南植物研究*, 1997, 19(2): 177-183.]
- [14] Guo Jinping, Xue Junjie. Study on soil seedbank of *Larix Principis-rupechtii* under canopy in Pangquangou National Natural Reserve, Shanxi, China. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1998, 16(2): 131-136. [郭晋平, 薛俊杰. 庞泉沟自然保护区华北落叶松林土壤种子库的研究. *武汉植物学研究*, 1998, 16(2): 131-136.]
- [15] Molau U, Larsson E L. Seed rain and seed bank along an alpine altitudinal gradient in Swedish Lapland. *Canadian Journal of Botany*, 2000, 78: 728-747.
- [16] Peng Jun, Li Xuguang, Dong Ming et al. Soil seed banks of subtropical evergreen broad-leaved forest on Simian Mountain, Chongqing. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(2): 209-214. [彭军, 李旭光, 董鸣 等. 重庆四面山亚热带常绿阔叶林种子库研究. *植物生态学报*, 2000, 24(2): 209-214.]
- [17] Sun Shucun. Seed demography of *Quercus Liaotungensis* in Dongling Mountain region. *Acta Phytocological Sinica*, 2000, 24(2): 215-221. [孙书存. 东灵山地区辽东栎种子库统计. *植物生态学报*, 2000, 24(2): 215-221.]
- [18] Zhou Xianye. Soil seed banks in a series of successional secondary forest communities in Heishiding Nature Reserve, Guangdong Province. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(2): 222-230. [周先叶. 广东黑石顶自然保护区森林次生演替不同阶段土壤种子库的研究. *植物生态学报*, 2000, 24(2): 222-230.]
- [19] Ma Wanli, Jing Tao, Joni Kujansuu et al. The dynamics of seed rain and seed bank of *Juglans* and *shurica* population in the Changbai Mountain. *Journal of Beijing Forestry University*, 2001, 23(3): 70-72. [马万里, 荆淘, Joni Kujansuu 等. 长白山地区胡桃楸种群的种子雨和种子库动态. *北京林业大学学报*, 2001, 23(3): 70-72.]
- [20] Zhang Ling, Fang Jingyun. Composition and dominant species of soil seed bank along an altitudinal gradient in Mt. Taibai, Qingling Mountains. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 123-130. [张玲, 方精云. 太白山南坡土壤种子库的物种组成与优势成分的垂直分布格局. *生物多样性*, 2004, 12(1): 123-130.]
- [21] Zhang Ling, Fang Jingyun. Reserves and species diversity of soil seed banks in four types of forest on Mt. Taibai,

- Qinling Mountains. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 131-136. [张玲, 方精云. 秦岭太白山不同类型森林的土壤种子库研究. *生物多样性*, 2004, 12(1): 131-136.]
- [22] Fang Jingyun. Exploring altitudinal patterns of plant diversity of China's mountains. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 1-4. [方精云. 探索中国山地植物多样性的分布规律. *生物多样性*, 2004, 12(1): 1-4.]
- [23] Tang Zhiyao, Fang Jingyun. A review on the elevational patterns of plant species diversity. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 20-28. [唐志尧, 方精云. 植物物种多样性的垂直分布格局. *生物多样性*, 2004, 12(1): 20-28.]
- [24] Zhu Zhicheng. A preliminary study on the *Quercus Liaotungensis* forests in the Qinling mountain and the Loess Plateau of northern part of Shaanxi province. *Acta Phytocologica et Geobotanica*, 1982, 6 (2): 95-103. [朱志诚. 关于秦岭及陕北黄土高原区辽东栎林的初步研究. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1982, 6(2): 95-103.]
- [25] Ying Junsheng. Observations on the flora and vegetation of Taibai Shan. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 1990, 28(4): 261-293. [应俊生. 秦岭太白山地区的植物区系和植被. *植物分类学报*, 1990, 28(4): 261-293.]
- [26] Fu Jiarui. *Seed Physiology*. Beijing: Science Press, 1985.
- [27] Peng Shaolin. The ecological dominance of subtropical forest communities of Guangdong. *Acta Ecologica Sinica*, 1987, 7(1): 36-42. [彭少麟. 广东亚热带森林群落的生态优势度. *生态学报*, 1987, 7(1): 36-42.]
- [28] Magurran A E. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton: Princeton University Press, 1988.
- [29] Zhu Tingcheng, Zhong Zhangcheng. *Plant Ecology*. Beijing: Higher Education Press, 1988. 194-224.]
- [30] Liu Canran, Ma Keping. Measurement of biotic community diversity: methods for estimating the number of species in a community. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(6): 601-610. [刘灿然, 马克平. 生物群落多样性的测度方法——V. 生物群落物种数目的估计方法. *生态学报*, 1997, 17(6): 601-610.]
- [31] Thompson K. Small-scale heterogeneity in the seed bank of an acidic grassland. *Journal of Ecology*, 1986, 74: 733-738.

Changes in Soil Seed Banks and Biodiversity along an Altitude Gradient in Taibai Mt.

ZHANG Ling, FANG Jingyun

(Department of Ecology, and Key Laboratory for Earth Surface Processes of the Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Soil seed bank is the pool for species composition of a plant community. It plays a critical role in succession of the community and maintenance of the community structures and functions. In this paper, we studied the distribution of soil seed banks along an altitudinal gradient (1500-3500 m asl) on the southern slope of the Taibai Mountain. The main results are summarized as follows: (1) Reserves of the soil seed bank increased with an increase of elevation, reached its maximum at an altitude of about 2600 m, and then decreased with increasing altitude. Above the altitude of 2000 m, the distribution of seed reserves in the soil profile can be generally characterized by the fact that most of soil seeds occurred in litter-fall layer, and smallest reserves were in the subsurface soil layer. Below the altitude of 2000 m, most of soil seeds occurred in humus layer. (2) A total of 172 plant species from the soil seed banks were accounted in 21 plots. The number of species was reduced along an altitudinal gradient. The community characteristic of soil seed banks varied obviously in two altitudinal ranges, 1500-2500 m and 2500-3500 m. (3) The reserves and density of seed banks showed a similar pattern along the altitudinal gradient. It was better to use reserves to indicate the size of soil seed banks. In this study, the soil samples were divided into three layers: litter-fall layer, humus layer and subsurface soil layer.

Key words: Taibai Mountain; soil seed bank; reserve; biodiversity; altitudinal gradient