

天然固定沙地不同微生境下土壤种子库差异

崔艳^{1,2}, 王新平^{1,*}, 潘颜霞¹, 王正宁¹, 戚鹏程³

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 沙漠头沙漠试验研究站, 兰州 730000; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;
3. 兰州大学 西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000)

摘要: 研究了腾格里沙漠东南缘天然固定沙地不同微生境下土壤种子库的种类组成和种子密度。结果表明: (1) 灌丛下土壤种子库的物种丰富度大于灌丛边缘和灌丛间裸地。 (2) 不同微生境中土壤种子密度因物种而异。就距灌丛中心的距离来说, 雾冰藜、刺蓬、地锦、虎尾草、虱子草和冷蒿灌丛下土壤中种子多于裸地, 无芒隐子草和狗尾草种子裸地多于灌丛下, 小画眉草在距灌丛各距离间土壤种子密度差异不显著。 (3) 就灌丛的不同方向来说, 雾冰藜和刺蓬土壤中种子在东南方向最多, 地锦和无芒隐子草土壤中种子密度在西南和西北均大于东南, 狗尾草的土壤种子密度东北大于西北, 虱子草的土壤种子密度在西南方向最大, 冷蒿的土壤种子密度在西南方向最小, 小画眉草和虎尾草在各方向间种子密度差异不显著。 (4) 不同微生境中物种的结籽量对土壤种子分布格局的影响力十分有限。种子离开母株后所经历的传播、消耗等过程在很大程度上打乱了植物结籽量的空间样式。

关键词: 土壤种子库; 微生境; 空间分布格局; 天然固定沙地

A comparative study of soil seed banks over different microhabitats in naturally stabilized sandy land

CUI Yan^{1,2}, WANG Xinping^{1,*}, PAN Yanxia¹, WANG Zhengning¹, QI Pengcheng³

1 Shapotou Desert Experimental Research Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

3 MOE Key Laboratory of Western China's Environmental Systems, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: Assessing the differences in seed composition of distinct microhabitats can clarify the relationship between soil seed banks' patterns and processes. Knowledge on different seed types' specific location may explain the spatial pattern of plant recruitment at the microhabitat scale. In this regard, the soil seed bank composition and its density at the southeast edge of the Tengger Desert in Northern China were studied over 12 microhabitats around the *Caragana korshinskii* shrub. Specifically, we selected 40 individual adult *Caragana korshinskii* plants in the region and established four compass orientations (at 90° intervals, i. e. northeast [NE], southeast [SE], southwest [SW], and northwest [NW]) centered on each chosen plant. In each of the four orientations, a 3m sample line was established from the center of the shrub to the interspace between shrubs. Along each line, three sampling locations were positioned at distances of 0.5m (under the canopy), 1m (the canopy edge), and 3m (the interspace) from the shrub center. A number of conclusions can be drawn from this study. (1) Species' richness under the canopy was superior compared to that of species situated at the canopy's edge and the interspace. (2) Soil seed density over different microhabitats varied with species. For the distance gradients from the shrub, *Bassia dasyphylla*, *Salsola ruthenica*, *Euphorbia humifusa*, *Chloris virgata*, *Tragus berteronianus*, and *Artemisia frigida* possessed more seeds under the canopy than in the interspace; *Setaria viridis* and *Cleistogenes songorica* yielded more seeds in the interspace than under the canopy, while *Eragrostis minor* displayed no significant differences in

基金项目: 中国科学院“西部之光”人才培养计划“联合学者”资助项目; 国家自然科学基金资助项目 (40871051)

收稿日期: 2009-02-08; **修订日期:** 2009-06-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xpwang@lzb.ac.cn

distances. (3) For different orientations, *Bassia dasyphylla* and *Salsola ruthenica* contained more seeds in SE, *Euphorbia humifusa* and *Cleistogenes songorica* contained more seeds in SW and NW than in SE, *Setaria viridis* had more seeds in NE than in NW, *Tragus berteronianus* had more seeds in SW, *Artemisia frigida* had the least number of seeds in SW with *Eragrostis minor*, and *Chloris virgata* had no significant differences in distinct orientations. (4) Seed production in different microhabitats wielded little influence on the spatial distribution patterns of soil seeds. The dispersal and consumption after seed dispersal from the maternal parent significantly disturbed the original patterns of seed production.

Key Words: soil seed banks; microhabitats; spatial distribution patterns; naturally stabilized sandy land

近年来,不同微生境下土壤种子库的差异受到生态学家们的关注^[1-7]。生态系统内不同部位的环境条件存在着或大或小的差异(如微地形差异、岩石与土壤相间分布、植被缀块状分布等),这些不同部位的土壤种子库特征也可能会彼此不同,进而导致各物种的幼苗和成株呈现特殊的分布样式。荒漠植物群落中,灌木的盖度一般较低,灌木株间(或丛间)往往相距甚远,即所谓缀块状分布;这种缀块状植被是荒漠中环境因子空间分异的结果,也是荒漠生态环境发生进一步空间异质化的原因。灌丛下植物种类、结籽量与灌丛间往往有很大的差异,并且这些微生境下种子被捕获、埋藏的机率、种子的消耗量等也有明显差异,从而会导致灌丛下土壤种子库的种类组成、各物种的土壤种子密度不同于灌丛间,这又会反过来影响将来的地上植被的种类和数量。柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)是蝶形花科落叶灌木,是中国北方荒漠植被中的重要成分,在许多区域为建群种。并且,柠条是人为营建固沙植被的重要植物,在许多人工固沙区其重要作用已充分展现——除了自身防风阻沙外,更重要的是它能深刻影响草本层的生态过程,在荒漠化和荒漠化逆转进程中占主导地位^[8]。所以,柠条对群落内其它植物的各方面影响,包括对其它植物土壤种子分布的影响,是兼具理论与实践意义的问题。本研究中,作者选择腾格里沙漠东南缘的天然固定沙地为研究区,调查了柠条灌丛所导致的各微生境(包括灌丛不同距离和不同方向)中土壤种子库的种类组成和种子密度,以回答:(1)不同微生境下土壤种子库的种类组成、种子密度有何差异?(2)土壤种子的空间分布格局是由什么因素决定的?结籽量的空间格局对土壤种子的空间格局是否有决定性作用?该研究将丰富荒漠土壤种子库理论,并有助于理解草原化荒漠中柠条的生态作用,为研究区内的植被保护和管理提供依据。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概述

研究样地(800m×400m)位于宁夏中卫市西南25km处,地理坐标104°45'E,37°27'N,属草原化荒漠地带^[9]。该地带处于腾格里沙漠流沙区外围,是阻止流沙南下的前沿屏障;又是包兰铁路沙坡头段人工固沙区生态建设的参照对象。区内海拔1350m,地形较为平坦。年均气温10℃,年均降雨量191mm,生长季(5—10月份)降水占全年降水的60%以上。区内多强风,年平均风速2.8m/s,年平均起沙风时数多达900h,从10月底至翌年5月间主要为西北风。土壤为风沙土。植被为柠条群落,柠条植株为基部分枝,呈丛状,基部有风沙积埋。冠幅直径约1.5m至3m,相邻灌丛间距数米至数十米以上。灌丛下生物结皮发育不良,多枯枝落叶,小型哺乳动物活动频繁。其它植物有半灌木油蒿(*Artemisia ordosica*),多年生草本冷蒿(*A. frigida*)、地锦(*Euphorbia humifusa*)和无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*),1年生草本刺蓬(*Salsola ruthenica*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)、小画眉草(*Eragrostis minor*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、虱子草(*Tragus berteronianus*)等。研究区内共有4种蚂蚁,其中针毛收获蚁(*Messor aciculatus*)大量地收集植物种子。取食种子的鸟类有麻雀(*Passer domesticus*)、凤头百灵(*Galerida cristata*)等^[9]。

1.2 研究方法

(1)土样采集 2007年3月底,在样地内随机选择40个大小基本一致的柠条灌丛(平均高度175cm,平均冠幅直径198cm;下简称灌丛)。为避免地形对研究结果的影响,所选柠条灌丛均处于地势平缓处。以罗盘测定方向,从柠条基部中心向西南、东南、西北、东北各设一条长3m的样线。在每条样线上,各设3个采土

点:灌丛下(距灌丛中心 0.5m)、灌丛边缘(距灌丛中心 1m)、灌丛间(距灌丛中心 3m),如图 1。在每个采土点上,用环刀取深度为 5cm,面积为 115.45cm^2 的土壤样品。共采土样 480 份。

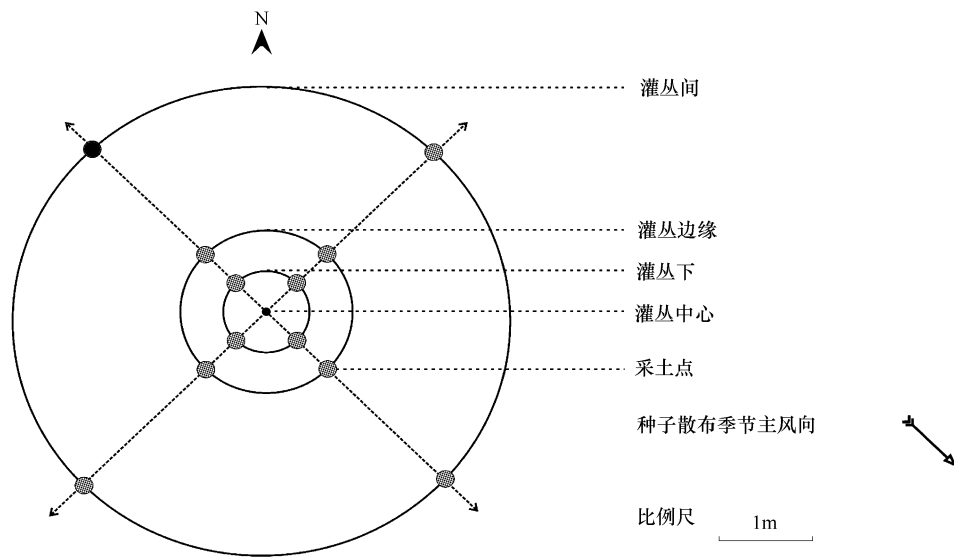


图 1 土样采集示意图

Fig. 1 Sketch for soil sampling

(2) 土壤种子库的测定 将土壤样品带回沙坡头沙漠试验研究站,过滤除去杂物后,将其均匀平摊在铺有无种子沙土的盆内(每 1 个采土点上所获得的土壤样品对应 1 盆,共栽 480 盆)。后继的实验过程参照文献^[10-11]。萌发试验于 2007 年 4 月 14 日至 8 月 30 日进行。

为便于分析和讨论,将上述 480 盆的数据按两种方式合并统计:①按与柠条灌丛中心之间的距离关系分为灌丛下、灌丛边缘、灌丛间 3 类,每类 40 个统计样本(即每个统计样本对应一个柠条灌丛),每个统计样本由 4 个采土点的数据合成,如“灌丛下样本 5”是由 5 号柠条灌丛的“灌丛下-西南”、“灌丛下-东南”、“灌丛下-西北”、“灌丛下-东北”4 个采土点的数据合并而成;②按与柠条灌丛之间的方向关系分为灌丛西南、东南、西北、东北 4 类,每类 40 个统计样本,每个统计样本由 2 个采土点的数据合成,如“西南样本 5”是由 5 号柠条灌丛的“灌丛下-西南”、“灌丛边缘-西南”合并而成。

(3) 地上植被调查:2006 年 10 月调查 40 个样方,其中 10 个在灌丛下的东南方向,10 个在灌丛下的西北方向,20 个在灌丛间。样方大小为 $1\text{m} \times 0.5\text{m}$,以保证灌丛下的样方不超出柠条灌丛的冠幅。记录每个样方内植株的盖度、物种数、各物种株数。在各物种的种子成熟季节随机选取雾冰藜、刺蓬、地锦、小画眉草、狗尾草、虎尾草、虱子草、冷蒿的成熟个体各 10 株,不足 10 株按实际采的株数计算。小心剪取其地上部分,放在信封内带回试验室,计数其单株结籽量,结合调查得到的植株密度,计算各物种在不同微生境下的单位面积结籽量。无芒隐子草未采植株算其结籽量。方法参照文献^[12]。

(4) 蚂蚁收集种子行为观察:前人研究表明,研究区内大量收集种子的昆虫主要为针毛收获蚁^[13]。2008 年 10 月在样地中观察该蚁对种子的搬运行为、测量该蚁搬运种子的距离。观察时间为 09:00—17:00,晴天、多云天、阴天各进行 1d。

2 结果与分析

2.1 各微生境下土壤种子库中的种类特征

本研究区土壤种子库共有 33 个物种,隶属于禾本科(11 种)、菊科(4 种)、藜科(5 种)等 11 科;其中灌木 2 种、多年生草本 12 种、1 年生草本 19 种;按禾草、非禾草分,前者 12 种,后者 19 种。

为回答不同微生境下物种丰富度大小问题,采用配对 t 检验对灌丛下、灌丛边缘、灌丛间的两两之间进行

物种丰富度的差异显著性检验;用同样方法对 4 个方向两两之间进行检验。结果见表 1。可看出,灌丛下物种丰富度显著大于灌丛边缘和灌丛间;灌丛间的物种丰富度变化较大。4 个方向两两之间物种丰富度无显著差异;东南和东北方向灌丛下的物种丰富度变化较大。

表 1 各微生境下土壤种子库的物种丰富度

Table 1 Species richness in different microhabitats

项目 Item	各距离 Distances			各方向 Orientations			
	灌丛下 Under the canopy	灌丛边缘 The canopy edge	灌丛间 The interspace	西南 SW	东南 SE	西北 NW	东北 NE
物种丰富度 Species richness	8.35A	7.43B	6.78B	6.53a	6.30a	6.18a	6.60a
标准差 S. E.	2.21	1.77	2.69	1.62	1.98	1.66	1.97

表中相同字母表示两两之间无显著差异,不同字母表示存在显著差异。显著性水平 $P < 0.05$

以往的研究^[1-7]着重比较不同微生境下土壤种子“密度”的差异,而缺少从“类群”的角度进行比较。计算了灌丛下、灌丛边缘、灌丛间的禾草类物种数与非禾草类物种数之比(下简称 RGF,即 Ratio of grasses to forbs)、1 年生草本与多年生草本物种数之比(下简称 RAP,即 Ratio of annuals to perennials);同样计算了 4 个方向微生境的这两个数值(表 2)。发现灌丛下与灌丛间的 RGF 有显著差异,灌丛下与灌丛间的 RAP 亦有显著差异。西南、东南、西北和东北方向 RGF 无差异,东南方向与西南方向和西北方向的 RAP 差异显著(表 2)。

表 2 各微生境下土壤种子库的类群结构

Table 2 RGF and RAP in different microhabitats

项目 Item	各距离 Distances			各方向 Orientations			
	灌丛下 Under the canopy	灌丛边缘 The canopy edge	灌丛间 The interspace	西南 SW	东南 SE	西北 NW	东北 NE
禾草类与非禾草类种数比 RGF	0.56A	0.58AB	0.66B	0.59a	0.66a	0.60a	0.67a
1 年生草本与多年生草本种数比 RAP	1.54A	1.52AB	1.34B	1.38a	1.66b	1.19a	1.42ab

表中相同字母表示两两之间无显著差异,不同字母表示存在显著差异。显著性水平 $P < 0.05$

2.2 各微生境下土壤种子密度

2.2.1 灌丛各距离上土壤种子密度

灌丛下、灌丛边缘、灌丛间微生境主要物种的土壤种子密度如图 2 所示。除小画眉草以外,其余 8 种在此 3 类微生境下的种子密度均表现出明显差异。雾冰藜的土壤种子密度表现为灌丛下和灌丛边缘均显著大于灌丛间。刺蓬土壤种子密度表现为灌丛下显著大于灌丛边缘和灌丛间,灌丛边缘显著大于灌丛间。地锦的土壤种子密度表现为灌丛下显著大于灌丛边缘与灌丛间。狗尾草的土壤种子密度表现为灌丛下与灌丛边缘皆显著小于灌丛间。虎尾草的土壤种子密度表现为灌丛下和灌丛边缘均显著大于灌丛间。虱子草的土壤种子密度表现为灌丛下显著大于灌丛间。无芒隐子草表现为灌丛下显著小于灌丛间。冷蒿的土壤种子密度表现为灌丛下显著大于灌丛边缘和灌丛间。

总土壤种子密度从灌丛下(5995 ± 416)粒/ m^2 、灌丛边缘(4926 ± 397)粒/ m^2 至灌丛间(4710 ± 366)粒/ m^2 逐渐减少,灌丛下种子密度与灌丛间种子密度差异极显著($F = 0.222$, $P = 0.000$)(图 2)。

2.2.2 灌丛各方向上土壤种子密度

如图 3 所示,小画眉草、虎尾草各方向间土壤种子密度无显著性差异,其余 7 种表现出方向间差异。雾冰藜的土壤种子密度东南显著大于西北。刺蓬土壤中种子密度东南显著大于西南、西北和东北。地锦和无芒隐子草的土壤种子密度均表现为西南和西北显著大于东南。狗尾草的土壤种子密度东北显著大于西北。虱子草土壤种子密度表现为西南方向显著大于西北。冷蒿的土壤种子密度西北和东北均显著大于西南。

总土壤种子密度在各方向上无显著差异:西南为(5292 ± 349.4)粒/ m^2 ,东南为(5916 ± 461.8)粒/ m^2 ,西北为(5889 ± 476.8)粒/ m^2 ,东北为(5539 ± 491.3)粒/ m^2 (图 3)。

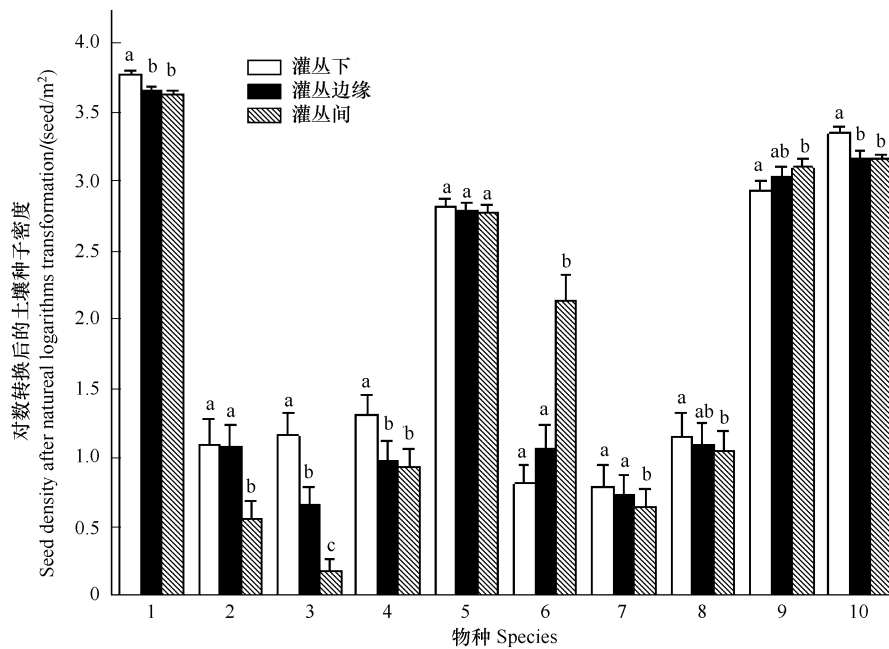


图2 与灌丛中心不同距离的土壤种子密度

Fig. 2 Seed density at distance gradient

1 全部物种, 2 雾冰藜 *Bassia dasyphylla*, 3 刺蓬 *Salsola ruthenica*, 4 地锦 *Euphorbia humifusa*, 5 小画眉草 *Eragrostis minor*, 6 狗尾草 *Setaria viridis*, 7 虎尾草 *Chloris virgata*, 8 虱子草 *Tragus berteronianus*, 9 无芒隐子草 *Cleistogenes songorica*, 10 冷蒿 *Artemisia frigida*

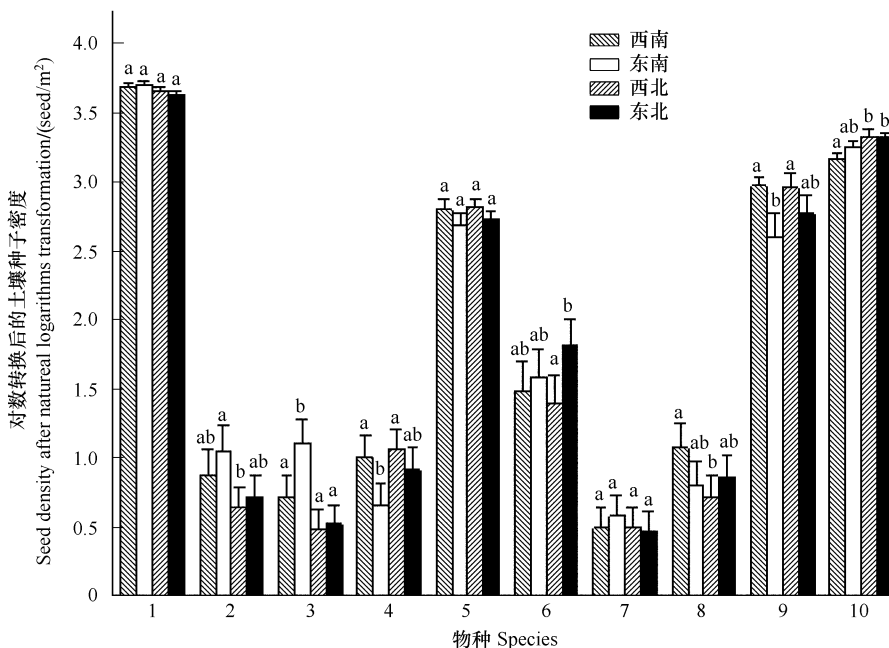


图3 灌丛不同方向的土壤种子密度

Fig. 3 Seed density at different orientations

1 全部物种, 2 雾冰藜, 3 刺蓬, 4 地锦, 5 小画眉草, 6 狗尾草, 7 虎尾草, 8 虱子草, 9 无芒隐子草, 10 冷蒿

2.3 各微生境结籽量

各微生境下主要物种结籽量如图4、图5所示。由图4可以看出, 刺蓬、地锦、小画眉草、虎尾草、虱子草、冷蒿的结籽量灌丛下与灌丛间无显著差异, 雾冰藜和狗尾草的结籽量均表现为灌丛下显著大于灌丛间。在不

同方向上,刺蓬、地锦、小画眉草、狗尾草、虎尾草、冷蒿的结籽量东南与西北无显著差异,雾冰藜和虱子草的结籽量均表现出东南小于西北(图5)。

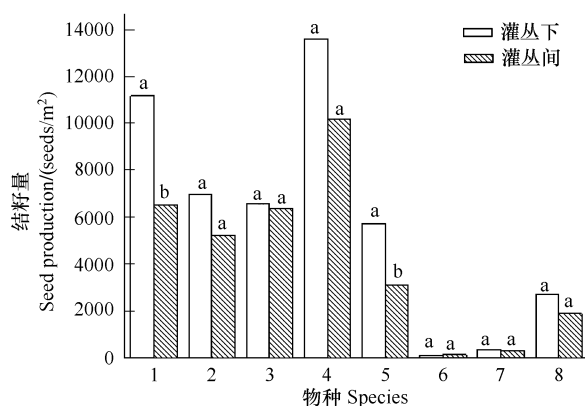


图4 与灌丛中心不同距离的结籽量

Fig. 4 Seed production at distance gradient

1 雾冰藜, 2 刺蓬, 3 地锦, 4 小画眉草, 5 狗尾草, 6 虎尾草, 7 虱子草, 8 冷蒿

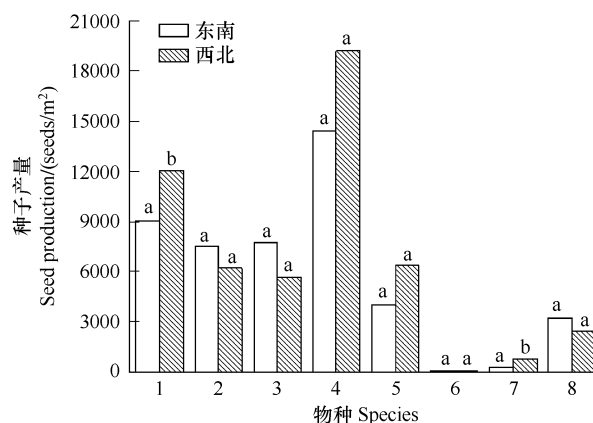


图5 灌丛不同方向的结籽量

Fig. 5 Seed production at different orientations

1 雾冰藜, 2 刺蓬, 3 地锦, 4 小画眉草, 5 狗尾草, 6 虎尾草, 7 虱子草, 8 冷蒿

3 讨论

3.1 土壤种子密度与结籽量的关系

结籽量(即种子产量)的空间格局是形成土壤种子空间格局的基础。结籽量的水平格局在多大程度上决定着土壤种子的水平分布格局?换言之,如果某微生境下某物种的结籽量很高,是否一定意味着该微生境下该物种的土壤种子密度较高?对比图2与图4,图3与图5可以看出,对于多数物种来说,不同微生境下土壤种子密度的大小关系与相应结籽量的大小关系是不一致的;换言之,土壤种子密度的空间样式与结籽量的空间样式是不一样的。具体表现如下:刺蓬的结籽量表现为灌丛下与灌丛间无显著差异,而其土壤种子密度则表现为灌丛下显著大于灌丛间(灌丛下是灌丛间的36倍);地锦的结籽量表现为灌丛下与灌丛间无显著差异,而其土壤种子密度则表现为灌丛下显著大于灌丛间(灌丛下是灌丛间的2倍);狗尾草的结籽量表现为灌丛下显著大于灌丛间(灌丛下是灌丛间的2倍),而其土壤种子库表现为灌丛下显著小于灌丛间(前者仅为是后者的1/20);虎尾草的结籽量表现为灌丛下与灌丛间无显著差异,而其土壤种子密度则表现为灌丛下显著大于灌丛间(灌丛下是灌丛间的3倍);虱子草的结籽量表现为灌丛下与灌丛间无显著差异,而其土壤种子密度则表现为灌丛下显著大于灌丛间(灌丛下是灌丛间的2倍)。雾冰藜的结籽量表现为东南显著小于西北(东南约为西北的3/4),而其土壤种子库密度则表现为东南显著大于西北(东南是西北的4倍);刺蓬的结籽量表现为东南和西北无显著差异,而土壤种子库则是东南显著大于西北(东南是西北的2倍)。小画眉草土壤种子密度的空间样式与结籽量的空间样式没有差别(二者皆表现为诸微生境下无差异)。

可见,对于大多数物种来说,种子离开母株后发生了重新分布,以致于土壤种子的空间分布样式并不完全取决于扩散前种子的空间分布样式。

3.2 不同微生境下风传播与蚁类消耗对种子空间样式的影响

如上面所分析,土壤种子的水平分布样式与结籽量(扩散前的种子量)的样式有很大差异。种子离开母株后的若干过程(扩散、埋藏、保存、消耗)深刻地影响种子的空间分布——不同微生境对自产种子的滞留能力、对外来种子的捕获能力、埋藏种子的效率、种子消耗量等是不同的,从而扰乱了扩散前种子水平分布格局。以下我们讨论不同微生境中风传播、蚁类消耗对土壤种子库的影响。

(1) 不同微生境中的风传播

在多风的荒漠地区,风是最为有效且广泛的种子传播方式。某些物种,即便是非典型的风播物种,也会受到风的影响,因为起沙风可以将土地表面和浅层的种子吹起,以跳动、悬移等方式发生位移^[14]。据凌裕泉等研究^[15],沙漠地区灌丛不同方向、距离上的风速存在较大的差异:当风经过柠条灌丛时,由于灌丛对气流的影响,会在迎风方向冠幅下和背风方向冠幅下,各形成一个低风速的区域;在离开灌丛一定距离后,风速才恢复正常,如图 6 所示。当风速降低时,气流裹挟种子的能力会随风速降低而下降,从而在风速低的部位有较多的种子积聚。另外还需考虑,风速降低时种子沉降的可能性与传播体的自重是有密切关系的。本研究主要物种的传播体的百粒重如表 3 所示。小画眉草是诸物种中传播体最轻的物种,而其结籽量的空间样式与土壤种子的样式没有差别;这似乎表明,因为小画眉草种子太轻(表 3),柠条灌丛对气流的减速不能引起气流所裹挟的小画眉草种子的大量沉降。

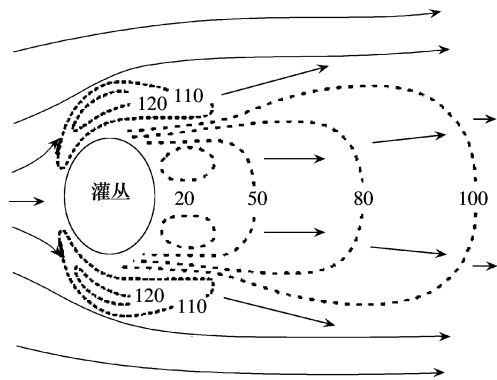


图 6 灌丛周围风速(%)和流线俯视示意图
Fig. 6 Wind velocity percentage and flow lines around a single bush

仿凌裕泉等,2003;虚线示风速等值线,实线示气流

地锦、虎尾草的地上结籽量表现为灌丛下与灌丛间无显著差异,然而土壤种子密度却表现为灌丛下大于灌丛间,这可能就是气流经过灌丛时被减速而使气流中的传播体沉降在灌丛下所导致。刺蓬的种子很重而不易被风吹起,但是该植物可以形成风滚球而随风滚动,灌丛有很大的机率阻挡、勾挂风滚球,而使其种子散落在灌丛下,这是刺蓬土壤种子密度表现为灌丛下大于灌丛间的原因。

至于灌丛对风的减速作用对种子在灌丛不同方向上的分布样式的影响,则较难确定。研究区内种子传播季节的风向是多变的(图 7),西北风、东北风、西风、东南风都会在这个季节发生。另外,种子既会在背风面沉积,也会在迎风面沉积。这样以来,各种植物的种子在灌丛不同方向上的分布样式就很不一致,其详细机制有待进一步研究。

(2)不同微生境中的蚁类消耗

以往研究表明,种子散布后的水平分布样式被后继发生的动物消耗所打乱,导致土壤种子的水平分布不再体现种子雨原来样式。例如蒙特荒漠中禾草类物种种

表 3 研究区主要物种的传播体重量

Table 3 Diaspore weight of main species in study area		
物种 Species	百粒重/mg 100 diaspore weight	量测对象 Diaspore type
小画眉草 <i>Eragrostis minor</i>	8.44	果实 Fruits
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	17.29	果实 Fruits
地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	31.53	种子 Seeds
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	45.76	果实 Fruits
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	54.02	果实 Fruits
雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	82.44	果实 Fruits
虱子草 <i>Tragus berteronianus</i>	85.34	小穗 Spikelets
刺蓬 <i>Salsola ruthenica</i>	282	果实 Fruits

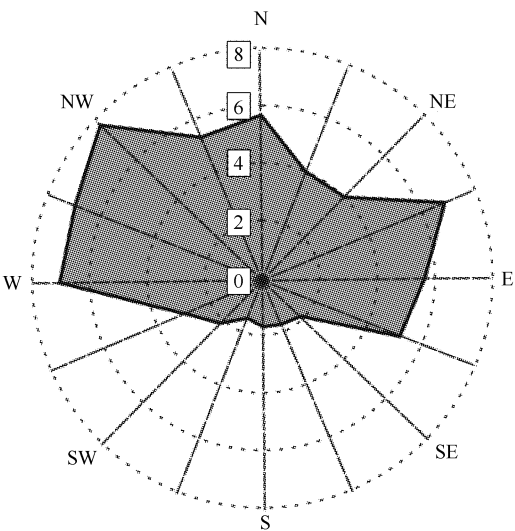


图 7 研究区 10 月—翌年 5 月风向频率(%)图
Fig. 7 Frequencies of wind directions from Oct to May in the study area

虚线示风向频率等值线

子雨灌丛间裸地是小乔木下的 5 倍,而次年的土壤种子密度灌丛间裸地却仅是小乔木下的三分之一^[7]。Pirk 等的调查表明在林地内开阔处的草本植物种子中,有 90% 以上被蚁类所收集^[7]。

贺达汉等于 1996—2002 年对此研究区内针毛收获蚁的觅食行为进行了系统调查^[16],结果表明该蚁贮藏狗尾草种子的数量占该物种年结籽量的 79.56%;大多数被贮藏的狗尾草种子丧失了活力。虽然不同年份结籽量有很大的变异,但至少可以定性地认为,该蚁的觅食行为对地面的狗尾草种子数量有明显影响。该蚁类的社群倾向于分布在种源植株密集的区域^[17],并且该蚁主要收集距巢口较近的种子(实地观察中发现,被收集种子与巢口之间平均距离为 1.2m),所以推知灌丛下种子被收集的机率很可能会大于灌丛间。如前所述,狗尾草土壤种子空间样式与结籽量的空间样式相反(结籽量表现为灌丛下大于灌丛间,而土壤种子密度却表现为灌丛间大于灌丛下),针毛收获蚁的觅食行为是这一现象的可能原因。对该蚁类社群分布特征的更为细致的研究可给予该问题更确定的回答。

实地观察发现,针毛收获蚁对于所要收集的种子种类有很强的选择性。小画眉草的种子细小且光滑,刺蓬、虱子草的种子过大过重,该蚁不收集这两类种子。雾冰藜、地锦、虎尾草,针毛收获蚁虽然有所收集,但与它们的结籽量相比,被收集量只是很小一部分^[16],所以不是这些物种的土壤种子呈现特定空间样式的原因。

4 结论

(1)距灌丛中心不同距离的土壤种子库的物种丰富度存在差异,灌丛下最高。灌丛不同方向上土壤种子库的物种丰富度无明显差异。不同微生境中土壤种子库的类群结构不同,土壤中种子密度以草本为主,灌木稀少。

(2)土壤种子密度在距灌丛中心不同距离上和灌丛不同方向间具有不同程度的差异。雾冰藜、刺蓬、地锦、虎尾草、虱子草和冷蒿灌丛下土壤中种子多于裸地,狗尾草和无芒隐子草种子裸地多于灌丛下,小画眉草在各距离间土壤种子密度差异不显著。雾冰藜和刺蓬土壤中种子在东南方向最多,地锦和无芒隐子草土壤中种子在西南和西北均大于东南,狗尾草的土壤种子密度东北大于西北,虱子草的土壤种子密度在西南方向最多,冷蒿的土壤种子密度在西南方向最少,小画眉草和虎尾草在各方向间种子密度差异不显著。

(3)对于有些物种,扩散前种子水平分布格局不能决定土壤种子的水平分布格局,有的物种在灌丛下结籽量是灌丛间的若干倍,而其灌丛下土壤种子密度却只有灌丛间的几十分之一。种子离开母株后所发生的传播、消耗过程在很大程度上扰乱扩散前的种子空间分布格局。换言之,结籽量仅是土壤种子库的“雏形”,最终的土壤种子的空间分布样式是多种外因铸造的结果,未必体现当初结籽量的空间样式。

在将来工作中,需要对不同微生境下种子雨、种子埋藏效率、鼠类和鸟类消耗进行研究,进一步理清土壤种子库分布格局的形成机制;不同微生境下土壤种子库持久性、大种子和小种子的组成比例等也值得进行深入研究。

References:

- [1] Reichman O J. Spatial and temporal variation of seed distributions in Sonoran Desert soils. *Journal of Biogeography*, 1984, 11(1): 1-11.
- [2] Kemp P R. Ecology of soil seed banks//Leck M. A., Parker V. T., Simpson R. L. eds. *Seeds banks and vegetation processes in deserts*. San Diego: Academic Press, 1989.
- [3] Chambers J C, MacMahon J A. A day in the life of a seed: movements and fates of seeds and their implications for natural and managed systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1994, 25(1): 263-292.
- [4] Guo Q F, Rundel P W, Goodall D W. Horizontal and vertical distribution of desert seed banks: Patterns, causes, and implications. *Journal of Arid Environments*, 1998, 38(3): 465-478.
- [5] López R P. Soil seed banks in the semi-arid Prepuna of Bolivia. *Plant Ecology*, 2003, 168(1): 85-92.
- [6] Yu S L, Marcelo S, Jiang G M, Pua K. Heterogeneity in soil seed banks in a Mediterranean coastal sand dune. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45(5): 536-543.
- [7] Marone L, Cueto V R, Milesi F A, Lopez de Casenave J. Soil seed bank composition over desert microhabitats: patterns and plausible mechanisms. *Canadian Journal of Botany*, 2004, 82(12): 1809-1816.

- [8] Li X R, Zhang J G, Liu L C, Chen H S, Shi Q H. Plant diversity in the process of succession of artificial vegetation types and environment in an arid desert region of China. , Acta Phytocologica Sinica, 2000, 24 (3): 257-261.
- [9] Shapotou Desert Experimental Research Station. Sand-fixed principles and techniques of Baotou-Lanzhou railway in Shapotou Region. Yinchuan: Ningxia People's Press, 1991.
- [10] Zhao L Y, Li Z H, Li F R, Zhao H L. Soil seed bank of plant communities along restoring succession gradients in Horqin Sandy Land. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25 (12): 3204-3211.
- [11] Zhan X M, Li L H, Li X, Cheng W X. Effects of grazing on the soil seed bank of a *stipa krylovii* steppe community. Acta Phytocologica Sinica, 2005, 29 (5): 747-752.
- [12] Liu Z M, Li R P, Li X H, Luo Y M, Wang H M, Jiang D M, Nan Y H. A comparative study of seed weight of 69 plant species in Horqin Sandyland, China. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28 (2): 225-230.
- [13] Chang Y D, He D H. Density and distributional patterns of seed harvester ant *Messor aciculatus* and the seasonal moving behavior of castes in natural nest. Entomological Knowledge, 2002, 39 (1): 23-27.
- [14] Willson M, Traveset A. The ecology of seed dispersal//Fenner M. ed. Seeds: The ecology of regeneration in plant communities (2nd. Edition). Wallingford: CAB International. 2000.
- [15] Ling Y Q, Qu J J, Jin J. Influence of sparse natural vegetation on sand-transporting quantity. Journal of Desert Research, 2003, 23 (1): 12-17.
- [16] He D H, Xin M, Chang Y D, Li Q X. Studies on the foraging function of *Messor aciculatus* (F. Smith) on plant seeds in desert steppe ecosystem of Ningxia, China. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23 (6): 1063-1070.
- [17] Chang Y D, He D H. Nesting behavioral of seed harvester ant *Messor aciculatus* in the desert ecosystem of northwest China. Entomological Knowledge, 2002, 39 (4): 281-284.

参考文献:

- [8] 李新荣,张景光,刘立超,陈怀顺,石庆辉.我国干旱沙漠地区人工植被与环境演变过程中植物多样性的研究.植物生态学报,2000,24(3):257-261.
- [9] 沙坡头沙漠试验研究站.包兰铁路沙坡头段固沙原理与措施.银川:宁夏人民出版社,1991.
- [10] 赵丽娅,李兆华,李锋瑞,赵哈林.科尔沁沙地植被恢复演替进程中群落土壤种子库研究.生态学报,2005,25(12):3204-3211.
- [11] 詹学明,李凌浩,李鑫,程维信.放牧和围封条件下克氏针茅草原土壤种子库的比较.植物生态学报,2005,29(5):747-752.
- [12] 刘志民,李荣平,李雪华,骆永明,王红梅,蒋德明,南寅镐.科尔沁沙地 69 种植物种子重量比较研究.植物生态学报,2004,28(2):225-230.
- [13] 长有德,贺达汉.针毛收获蚁社群密度与分布及社群各品级在自然穴巢中的季节迁移行为.昆虫知识,2002,39(1):23-27.
- [15] 凌裕泉,屈建军,金炯.稀疏天然植被对输沙量的影响.中国沙漠,2003,23(1):12-17.
- [16] 贺达汉,辛明,长有德,李秋霞.宁夏荒漠草原针毛收获蚁对植物种子的觅食作用.生态学报,2003,23(6):1063-1070.
- [17] 长有德,贺达汉.西北荒漠草原针毛收获蚁的筑巢行为.昆虫知识,2002,39(4):281-284.