

草地沙化过程地上植被与土壤种子库变化特征

赵丽娅,李锋瑞*,王先之

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,甘肃 兰州 730000)

摘要:研究了草地沙漠化过程地上植被与土壤种子库的变化特征,获如下结论:(1)草地沙漠化过程地上植被与土壤种子库物种多样性的衰减模式不同,土壤种子库植物种数从潜在沙漠化阶段(固定沙地)到中度沙漠化阶段(半流动沙地)变化很小,而从中度沙漠化到严重沙漠化阶段(流动沙地)衰减速度明显加快;地上植被种数随着沙漠化程度增加而下降,其中从中度沙漠化到严重沙漠化发展阶段衰减幅度最大。(2)地上植被与土壤种子库密度随着沙漠化程度增加而下降,但下降速率因沙漠化发展阶段不同而异,从固定到半固定沙地是地上植被与土壤种子库密度下降最快的时期。(3)地上植被与土壤种子库共有种数随着沙漠化程度的增加而减少,从而导致了地上与土壤种子库群落组成的相异性增大。(4)4 种退化沙地土壤种子库组成的相似性要高于地上植被,表明在沙漠化过程中土壤种子库群落组成的稳定性要高于地上植被。(5)地上植被密度与土壤种子库密度存在显著相关性,其关系可用二次曲线来描述。

关键词:退化沙地;土壤种子库;地上植被;组成相似性;空间关系

Characteristics of soil seed bank and standing vegetation change in sandy grasslands along a desertification gradient

ZHAO Li-Ya, LI Feng-Rui, WANG Xian-Zhi (Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1745~1756.

Abstract: In sandy grasslands of the Horqin desert in Inner Mongolia of China, vegetation degradation usually occurs under improper management regimes in fragile environmental conditions. Over the last several decades, most sandy grasslands in this region have become shifting, semi-shifting and semi-fixed sandy lands corresponding to severe, moderate and light desertification. However, little is known about the effects of degradation level on the structure and performance of soil seed banks and standing vegetation and the interactions between above-ground and below-ground communities in a semi-arid desert environment. A field experiment was established in a sandy grassland steppe to test the effects of

基金项目:中国科学院“百人计划”资助项目;中国科学院寒区旱区环境与工程研究所知识创新工程资助项目(210097);国家“973”资助项目(G2000048704)

收稿日期:2003-01-23;修订日期:2003-04-03

作者简介:赵丽娅(1975~),女,山西五台县人,博士生,主要从事植被生态学研究。

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: lfengrui@vip.163.com

Foundation item: the Hundred Talents Program of the Chinese Academy of Sciences (CAS), the Innovation Project (210097) from the Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, and the National 973 Project (G2000048704)

Received date: 2003-01-23; Accepted date: 2003-04-03

Biography: ZHAO Li-Ya, Ph. D. candidate, research field: vegetation ecology.

degradation level on the structure and performance of the seed bank and the established vegetation and their spatial interactions at the level of individual plant species.

In early April 2002, four types of degraded sandy grassland (i. e. shifting, semi-shifting, semi-fixed and fixed) were selected as the experimental sites. On the sites representing the four sandy lands, four parallel 100m line transects (10 m apart) were established along the sand dune (across windward slope, dune crest and leeward slope). For each transect, 10 sampling points were set up at 10m intervals, in which a soil sample of 20 × 20 cm and 5 cm deep was collected from each sampling point. Soil samples were transported to the laboratory in open plastic bags. The soil samples were germinated in round pots (diameter 30 cm in diameter, 15 cm high). The pots were first filled with seed-free fine sand of approximately 7cm deep, and then the soil samples were spread evenly to form an about 3cm thick layer covered with about 1cm thick layer of seed-free fine sand. All pots were placed in an unheated greenhouse, and the seeds allowed germinating over a 10-week period. Pots were hand watered daily with a very fine nozzle early in the morning. Emergent seedlings were identified to species and then carefully removed from the pots. A few unidentifiable seedlings after 10 weeks remained in a longer period in the pots until they were identified. The density of soil seed bank was expressed as the number of germinating seeds from the soil samples of the 0~5cm layer per square meter (viable seeds m⁻²). The subsequent vegetation (only herbaceous community) was surveyed in late-August using a total of forty 1m² quadrats that were placed in close vicinity to the sampling points of the soil seed bank at each site. In each quadrat, the density and above-ground biomass of established plants were measured for individual species present in a quadrat. The frequency of species occurrence in the soil seed bank and the established vegetation were determined in terms of the 40 sampling points or the 40 quadrats.

Several important conclusions can be drawn from this study. (1) There were marked differences in the patterns of species diversity change along the desertification gradient between seed bank and standing vegetation. Species diversity in the seed bank showed a slight decrease at the stage from the least degraded fixed sandy land to the moderately degraded semi-shifting sandy land but a significant decrease at the stage from the semi-shifting sandy land to the severely degraded shifting sandy land. However, species diversity in the standing vegetation followed a tendency for decreasing with desertification level, with the greatest decrease at the stage from the semi-shifting sandy land to the shifting sandy land. (2) Both densities of the seed bank and the standing vegetation decreased with increasing level of desertification but there were differences in the relative rates of decrease among different stages of desertification. The greatest reduction in the densities of the seed bank and standing vegetation was found at the stage between the fixed and the semi-fixed sandy lands. (3) The number of co-occurring species both in the seed bank and the standing vegetation decreased with increasing level of desertification, thus leading to a decrease in compositional similarity between the seed bank and the standing vegetation. (4) For each of the four sandy land types, there was a greater Sorensen's similarity coefficient in the seed bank composition than in the standing vegetation composition, suggesting that the species composition of the seed bank was less variable as compared with that of the standing vegetation. (5) Regressions showed a significant positive relationship between seed bank density and standing vegetation density when the data for individual species were analysed. The variation of standing vegetation density with increasing density of the seed bank can be described by a quadratic curve.

Key words: degraded sandy land; soil seed bank; standing vegetation; compositional similarity; spatial relationship

土壤种子库是指一定面积土体中有生活力或发芽能力种子的总和^[1]。土壤种子库与地上植被有着密切的关系。一方面,地上植被种子雨是土壤种子库的直接来源,地上植物的种子产量直接影响着土壤种子库数量的动态;另一方面,土壤种子库的种子通过参与群落的自然更新又影响着地上植物群落结构与组成及物种多样性的维持^[2, 3]。对土壤种子库的研究,最早的工作首推 1859 年 Darwin 对池塘泥土中种子数量的统计^[4],但对土壤种子库较为系统的研究则始于 20 世纪 70 年代。20 世纪 70 年代以来,国内外许多植物生态学家开展了大量有关土壤种子库方面的试验研究^[5, 6~29]。这些研究工作及已取得的成果为今后进一步开展这方面的研究提供了有益的借鉴和宝贵的经验。然而,以往的研究主要集中在种子雨对土壤种子库的贡献以及土壤种子库的组成与数量变化特征的研究,且大部分研究所涉及的对象是森林植被类型,而以草本植物群落为对象的研究工作所占比例较低,特别是以干旱荒漠化地区天然草地植被为对象的研究则更少^[19, 26]。另外,以往对土壤种子库的研究与对地上植被的研究往往是独立进行的,而把土壤种子库与地上植被有机结合起来进行耦合研究的工作很少^[29, 30~33]。

本文以科尔沁沙地这一典型的半干旱沙漠化地区为研究区域,选择处于不同沙漠化发展阶段的一系列退化沙质草地如固定沙地(潜在沙漠化)、半固定沙地(轻度沙漠化)、半流动沙地(中度沙漠化)和流动沙地(严重沙漠化)作为研究对象,把地上植被与土壤种子库联系起来进行综合研究,以期更全面、更系统地理解草地沙漠化过程地上植被与土壤种子库的受损过程及其变化模式,为退化植被的修复和重建提供科学依据。

1 实验材料与方法

1.1 自然概况

研究区位于科尔沁沙地中南部的奈曼旗境内(42°55′N, 120°41′E, 平均海拔 360 m)。该区属温带半干旱大陆性季风气候,年平均太阳总辐射 5200 MJ/m², 年平均日照时数 2946 h, 年平均气温 6.3℃, 年平均降水量 362 mm, 75% 的降水出现在 6、7、8、9 几个月份,春季(3~5 月份)降水量仅占全年降水量的 12% 左右。年平均风速 3.5 m/s, 春季和冬季以西北风为主,夏季和秋季以东南风和南风为主。地带性土壤为栗钙土,因长期的风蚀作用已退化为风沙土。区内地貌以固定沙丘、半固定沙丘、半流动沙丘、流动沙丘和丘间低地(甸子地)相间分布为特征。

试验区为典型草原带,原生植被为榆树疏林草原,但由于长期过牧等人为了活动的强烈干扰,绝大部分沙质草地已演变为流动、半流动、半固定沙丘和固定沙丘^[26]。流动沙丘主要建群种是沙米(*Agriophyllum squarrosum* (L.) Moq.)。半流动和半固定沙丘主要植物种是差巴嘎蒿(*Artemisia halodendrom* Turcz. ex Bess.)、狗尾草(*Setaria viridis* (L.) Beauv.)、黄蒿(*Artemisia scoparia* Waldst. et Kit.)和猪毛菜(*Salsola collina* Pall.)等。固定沙丘主要植物种是白草(*Pennisetum centrasiaticum* Tzvel.)、芦苇(*Phragmites communis* (Trin.) Fund.)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica* (Lam.) Schindl.)和小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla* Lam.)等。

1.2 土壤种子库和地上植被调查方法

2002 年 3 月底,在研究区选择固定、半固定、半流动和流动沙地作为观测样地。在 4 种样地的典型代表性地段等距离(10m)设置 4 条长 100m 的样带,在每条样带上等距离(10m)设置 10 个固定样点,每个样地 40 个样点,4 种样地共计 160 个样点,用以土壤种子库和地上植被的测定。

1.2.1 土壤种子库的测定 4 月上旬,用专门设计制作的土壤种子采样器在每个样点采取深度为 5cm、面积为 20cm×20cm 的原状土体,装入塑料袋,带回试验室,过筛除去杂物后,将土样均匀平摊在发芽盆内(盆底部钻有输水孔),厚度 3~4 cm,然后置于玻璃温室中进行种子发芽和幼苗种属诊断实验。种子发芽实验期间,每天定时(18:00)喷洒适量的水分,使盆内土壤保持湿润状态。种子萌发出苗后,仔细观察和诊断幼苗种属,一旦能够判别出一个幼苗的种属,则记其数(视其为有生命力的种子)并把它从盆中轻轻拔掉。直到识别出所有幼苗种属。土壤种子库密度用单位面积(1m²)土壤中有生命力的种子数量(即有效种子数量)来表示。

1.2.2 地上植被的测定 在每个土壤种子库取样点的旁边,设置面积 1m²的样方,于 8 月下旬测定每个样方中的植被盖度、种类组成及每种植物的个体数量(表示地上植被密度)。

各样地每种植物的出现频率根据 40 个样点的调查数据计算。

1.3 数据处理

采取单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较 4 种退化沙地土壤种子库的总密度(所有出现植物种子库密度之和)及每种植物种子库密度的差异;采用同样方法比较 4 种退化沙地上植被总密度(所有出现植物的密度之和)及每种植物密度的差异。进行方差分析前,对土壤种子库密度和地上植被密度数据进行对数转换。采用线性和非线性回归分析确定土壤种子库密度(有效种子数/m²)与地上植被密度(植株数/m²)的关系。

采用 Sorensen 的相似性系数(similarity coefficient, SC) ① 同一类型退化沙地土壤种子库与地上植被组成上的相似性;② 4 种类型退化沙地土壤种子库组成上的相似性;③ 4 种类型退化沙地地上植被组成上的相似性^[31],计算公式如下:

$$SC = 2w/(a + b)$$

式中,SC 是相似性系数;w 为土壤种子库和地上植被共有的植物种数;a 和 b 分别为土壤种子库和地上植被的植物种数。

2 结果与讨论

2.1 土壤种子库物种多样性与密度变化特征

从潜在沙漠化阶段(固定沙地)到中度沙漠化阶段(半流动沙地),土壤种子库植物种数均为 24,而从中度沙漠化阶段到严重沙漠化阶段(流动沙地),土壤种子库植物种数从 24 降至 17,下降了 41%,该结果表明,从固定到半流动沙地土壤种子库的物种丰富度损失很小,但从半流动到流动沙地土壤种子库物种丰富度的衰减幅度最大。固定沙地与半固定和半流动沙地相比在土壤种子库群落组成上的差异并不大(表 1)。半固定和半流动沙地在土壤种子库组成上完全相同。4 种类型退化沙地土壤种子库群落组成均以 1,2 年生草本植物为主,所占比例分别为 83%(固定沙地)、79%(半固定沙地)、79%(半流动沙地)和 88%(流动沙地)。

方差分析表明,4 种退化沙地在土壤种子库密度上存在显著差异($F=9.0, n=160, P<0.001$)。从固定到半固定沙地,土壤种子库总密度(有效种子数/m²)从 19022±4054(平均数±标准误)降至 3408±1027,下降了 4.6 倍;从半固定到半流动沙地,土壤种子库总密度从 3408±1027 降至 2938±671,下降了 16%;从半流动到流动沙地,土壤种子库总密度从 2938±671 降至 2609±1243,下降了 13%(图 1)。这一结果表明土壤种子库密度随着沙漠化程度的增加而降低,但在不同沙漠化发展阶段其下降速率不同,从潜在沙漠化到轻度沙漠化阶段土壤种子库密度的衰减幅度最大。

沙漠化过程中不同植物种土壤种子库密度的变化特征明显不同。以禾本科植物为例(图 2),6 种 1 年生禾草和 1 种多年生禾草中,画眉草(*Eragrostis pilosa*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、虎尾草(*Chloris virgata*)和狗尾草(*Setaria viridis*)的土壤种子库密度基本上随草地沙漠化程度的增加而下降,但毛马唐(*Digitaria cilliaris*)和三芒草(*Aristida adscensionis*)的土壤种子库密度则无显著变异。野黍只出现在半流动和半固定沙地,且半固定沙地的种子库密度明显大于半流动沙地。

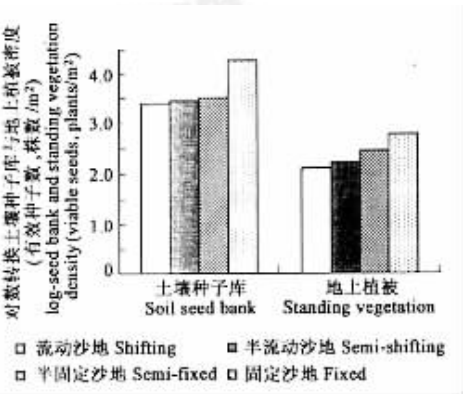


图 1 不同类型退化沙地土壤种子库和地上植被密度的变化
Fig. 1 Variation in density of the soil seed bank and the standing vegetation along the desertification gradient

另另数据

表1 沙漠化过程中土壤种子库密度(平均值±标准误;有效种子数/m²)的变化特征Table 1 Changes in density (Mean±SE; viable seeds/m²) of the soil seed bank in sandy lands at different levels of desertification

植物名称 Species	科 Family	流动沙丘 Shifting sand dune	半流动沙丘 Semi-shifting sand dune	半固定沙丘 Semi-fixed sand dune	固定沙丘 Fixed sand dune	F	P
植物种数 Total number of species		17	24	24	24		
种子库总密度 Total density of seed bank		2609±1243b	2938±571b	3408±1027b	19022±4054a	9.1	<0.001
1年生草本 Annual herbs							
野黍 <i>Eriochloa villosa</i>	禾本科 ^①	—	2.3±1.3a(9.4)	10.8±10.8a(3.3)	—	5.9	0.001
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	禾本科	4.2±2.1b(13.3)	23.4±9.7b(31.3)	5.0±1.9b(20.0)	6504.2±1915.3a(96.7)	7.2	<0.001
三芒草 <i>Aristida adscensionis</i>	禾本科	44.2±26.2a(33.3)	73.4±15.6b(63.8)	120.8±32.5b(80.0)	85.0±21.7b(73.3)	0.3	NS
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	禾本科	50.0±12.6b(63.3)	82.2±18.2b(71.9)	380.0±199.4b(50.0)	5801.7±483.2a(100.0)	25.8	<0.001
毛马唐 <i>Digitaria ciliaris</i>	禾本科	87.5±44.7a(43.3)	51.6±28.4a(50.0)	72.5±36.6a(40.0)	55.0±17.5a(43.3)	0.9	NS
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	禾本科	240.0±62.5c(86.7)	256.3±56.0c(81.3)	322.5±58.0b(100.0)	1794.2±438.9a(100.0)	7.2	<0.001
地肤 <i>Kochia scoparia</i>	藜科 ^②	—	7.8±3.1a(21.9)	0.8±0.8b(3.3)	14.2±4.9a(26.7)	37.2	<0.001
灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	藜科	—	1.6±1.1b(6.3)	0.8±0.8b(3.3)	60.0±54.9a(23.3)	21.4	<0.001
五星蒿 <i>Basia dasyphylla</i>	藜科	38.3±18.4a(36.7)	19.5±5.3a(34.4)	71.7±59.7a(30.0)	16.7±6.5a(26.7)	0.9	NS
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	藜科	178.3±54.1b(60.0)	278.1±67.0b(84.4)	235.8±52.9b(80.0)	907.5±272.6a(96.7)	6.9	<0.001
沙米 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	藜科	249.2±45.0c(86.7)	25.0±12.3b(31.3)	2.5±1.4a(10.0)	1.7±1.7a(3.3)	16.6	<0.001
大果虫实 <i>Corispermum macrocarpum</i>	藜科	803.3±179.1b(90.0)	1514.1±272.6b(90.6)	1477.5±291.9b(90.0)	665.0±315.6a(76.7)	0.5	NS
细叶苦苣菜 <i>Ixetis denticulata</i>	菊科 ^③	—	2.3±2.3a(3.1)	0.8±0.8a(3.3)	0.8±0.8a(3.3)	1.4	NS
黄蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	菊科	3.3±2.3a(6.7)	2.3±1.3a(9.4)	63.3±62.5a(6.7)	346.7±80.7b(86.7)	8.0	<0.001
鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i>	豆科 ^④	—	—	—	1.7±1.2(6.7)	—	—
太阳花 <i>Erodium stephanianum</i>	牻牛儿苗科 ^⑤	—	—	—	0.8±0.5(3.3)	—	—
菟丝子 <i>Cuscuta chinensis</i>	旋花科 ^⑥	16.7±10.3b(16.7)	0.8±0.8a(3.1)	8.3±6.0ab(10.0)	0.8±0.8a(3.3)	8.5	<0.001
蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i>	蒺藜科 ^⑦	5.8±3.5a(13.3)	2.3±1.3a(9.4)	2.5±1.8a(6.7)	4.2±1.7a(16.7)	2.1	NS
反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	苋科 ^⑧	31.7±15.0a(46.7)	83.6±28.4b(65.6)	38.3±13.1ab(63.3)	68.3±12.3b(76.7)	2.3	<0.05
马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	马齿苋科 ^⑨	77.5±15.3bc(76.7)	66.4±10.1c(90.6)	50.8±13.8b(63.3)	434.2±44.8a(100.0)	11.9	<0.001
地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	大戟科 ^⑩	8.3±2.8b(26.7)	56.3±23.5b(31.3)	256.7±53.6a(80.0)	110.0±29.3a(76.7)	20.1	<0.001
多年生草本 Perennial herbs							
雌隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	禾本科	4.2±2.1b(13.3)	15.6±5.9b(25.0)	15.8±5.3b(30.0)	315.8±54.0a(90.6)	4.3	0.004
扁蓄 <i>Melissitus ruthenicus</i>	豆科	—	2.3±1.3a(9.4)	2.5±1.4a(10.0)	—	10.4	<0.001
苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	豆科	—	1.6±1.6b(3.1)	2.5±1.8ab(6.7)	5.8±2.3a(20.0)	14.8	<0.001
灌木 Semi-shrubs							
差巴嘎蒿 <i>Artemisia halodendrom</i>	菊科	765.7±747.7c(36.7)	350.8±89.6b(87.5)	205.8±67.3b(83.3)	5.0±3.0a(10.0)	5.9	0.001
达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>	豆科	—	18.0±13.4b(15.6)	59.2±52.4b(23.3)	1822.5±309.6a(100.0)	14.1	<0.001

*“—”,表示样地中无该种植物;不同字母者表示差异显著($P<0.05$);NS,差异不显著 not significant;方差分析采用对数转换数据 log-transformed data,但表中所示数值是未转换的数据 untransformed data are shown in table 1;括号里的数值是该种的出现频率(%) values in parentheses are the frequency of occurrence for plant species;①Gramineae,②Chenopodiaceae,③Compositae,④Leguminosae,⑤Geraniaceae,⑥Convolvulaceae,⑦Zygophyllaceae,⑧Amaranthaceae,⑨Portulacaceae,⑩Euphorbiaceae

同一类型退化沙地各植物的土壤种子库密度差异相当大。固定沙地最丰富的植物是虎尾草、画眉草、狗尾草、达乌里胡枝子 (*Lespedeza davurica*) 和猪毛菜 (*Salsola collina*), 其种子库密度分别为 6504 ± 1915 、 5802 ± 483 、 1794 ± 438 、 1823 ± 309 和 908 ± 272 , 约占土壤种子库密度的 89%。半固定沙地最丰富的植物是大果虫实 (*Corispermum macrocarpum*)、画眉草、狗尾草、地锦 (*Euphorbia humifusa*)、猪毛菜和差巴嘎蒿 (*Artemisia halodendrom*), 其种子库密度分别为 1477 ± 291 、 380 ± 199 、 323 ± 58 、 257 ± 53 、 236 ± 53 和 206 ± 67 , 约占总种子库密度的 85%。半流动沙地最丰富的植物是大果虫实、差巴嘎蒿、猪毛菜和画眉草, 其种子库密度分别为 1514 ± 272 、 351 ± 89 、 278 ± 67 和 256 ± 56 , 约占总种子库密度的 82%。流动沙地上大果虫实、差巴嘎蒿、沙米 (*Agriophyllum squarrosum*)、狗尾草和猪毛菜的种子库密度最大, 分别为 803 ± 179 、 767 ± 747 、 249 ± 45 、 240 ± 62 和 178 ± 54 , 约占总种子库密度的 86%。此外, 狗尾草和猪毛菜在 4 种退化沙地土壤种子库中均可见到, 且均为优势种, 说明这 2 种植物的生态位很广, 生态适应能力很强。相反, 沙米的土壤种子库密度在流动沙地最大, 半流动、半固定和固定沙地都很小, 说明沙米主要分布在流动沙地上, 是典型的沙地先锋植物。差巴嘎蒿土壤种子库密度流动沙地最大, 半流动沙地次之, 再次是半固定沙地, 固定沙地的种子库密度很低, 说明差巴嘎蒿主要分布在流动、半流动和半固定沙地, 同样是重要的沙地先锋植物和固沙植物^[34]。

2.2 地上植被物种多样性与密度变化特征

从固定到半固定沙地, 地上植被植物种数从 23 降至 20, 下降了 15%。从半固定到半流动沙地, 植物种数从 20 降至 18, 下降了 11%。从半流动到流动沙地, 植物种数从 18 降至 12, 下降了 50%(表 2)。这表明地上植被的物种数随着草地沙漠化程度的增加而下降, 但从中度沙漠化到严重沙漠化阶段地上植被种数的衰减速度最快。

方差分析显示, 4 种类型退化沙地在地上植被密度上存在显著的差异 ($F=4.3$, $n=160$, $P=0.007$)。从固定到半固定沙地, 地上植被总密度 (株数/ m^2) 从 646 ± 178 降至 304 ± 87 , 下降了 113%; 从半固定到半流动沙地, 地上植被总密度从 304 ± 87 降至 176 ± 42 , 下降了 73%; 从半流动到流动沙地, 地上植被总密度从 176 ± 42 降至 133 ± 57 , 下降了 32%。这表明地上植被密度随着草地沙漠化程度的增加而下降, 但不同沙漠化发展阶段的衰减速率不同, 从固定到半固定沙地地上植被密度的衰减幅度最大。

草地沙漠化过程中地上植被不同植物种的密度变化模式不同。以禾本科植物为例 (图 3), 在 6 种 1 年生禾草中, 三芒草和狗尾草在 4 种退化沙地上均存在, 其中三芒草和狗尾草在固定沙地密度最大, 毛马

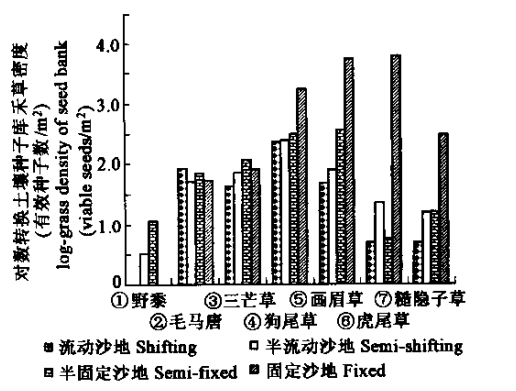


图 2 不同类型退化沙地禾本科植物土壤种子库密度的变化
Fig. 2 Changes in density of grasses of the soil seed banks in sandy grasslands at different levels of desertification

① *Eriochloa villosa*, ② *Digitaria ciliaris*, ③ *Aristida adscensionis*, ④ *Setaria viridis*, ⑤ *Eragrostis pilosa*, ⑥ *Chloris virgata*, ⑦ *Cleistogenes squarrosa*

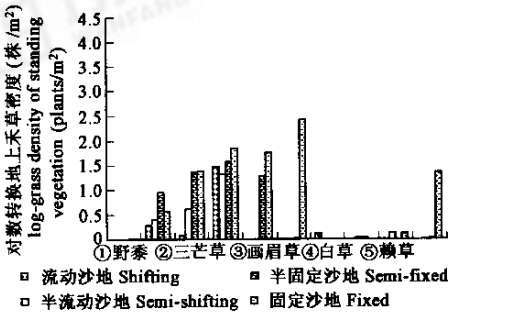


图 3 不同类型退化沙地地上植被禾本科植物的密度变化
Fig. 3 Changes in density of grasses in the standing vegetation in sandy grasslands at different levels of desertification

① *Eriochloa villosa*, ② *Aristida adscensionis*, ③ *Eragrostis pilosa*, ④ *Pennisetum centrasiaticum*, ⑤ *Leymus secalinus*

表2 沙漠化过程中地上植被密度(平均±标准误;株数/m²)的变化特征Table 2 Changes in density(Mean±SE;plants/m²) of the standing vegetation in sandy lands at different levels of desertification

植物名称 Species	科* Family	流动沙丘 Shifting sand dune	半流动沙丘 Semi-shifting sand dune	半固定沙丘 Semi-fixed sand dune	固定沙丘 Fixed sand dune	F	P
植物种数 Total number of species		14	18	20	23		
地上植被总密度 Total density of standing vegetation		154±57b	176±42b	304±87b	626±178a	4.3	0.007
1年生草本 Annual herbs							
野黍 <i>Eriochloa villosa</i>	禾本科	—	—	—	0.03±0.03(3.3)	—	—
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	禾本科	—	—	0.03±0.02b(3.3)	268.6±56.5a(80.0)	127.8	<0.001
三芒草 <i>Aristida adscensionis</i>	禾本科	0.2±0.1b(20.0)	3.1±1.7b(34.4)	21.8±8.6a(90.0)	22.9±9.4a(36.7)	10.5	<0.001
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	禾本科	—	—	17.9±13.8b(30.0)	55.6±22.7a(73.3)	29.5	<0.001
毛马唐 <i>Digitaria ciliaris</i>	禾本科	1.4±0.4a(40.0)	1.5±0.3a(40.6)	7.9±1.6b(83.3)	2.7±1.2a(40.0)	4.3	0.007
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	禾本科	24.9±5.7b(93.3)	19.7±4.7b(90.6)	36.5±8.1ab(100.0)	68.1±19.5a(100.0)	4.5	0.006
地肤 <i>Kochia scoparia</i>	藜科	—	—	—	0.6±0.4(6.7)	—	—
灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	藜科	0.1±0.1a(10.0)	—	—	0.1±0.1a(3.3)	4.9	0.003
五星蒿 <i>Bassia dasyphylla</i>	藜科	0.3±0.2b(30.0)	0.5±0.2b(25.0)	1.8±0.5a(46.7)	1.6±0.3a(40.0)	6.5	<0.001
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	藜科	34.6±13.1c(80.0)	40.8±9.1b(90.6)	58.4±17.8b(93.3)	119.4±18.4a(100.0)	4.3	0.007
沙米 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	藜科	1.2±0.9b(40.0)	0.3±0.1a(12.5)	—	—	20.1	<0.001
大果虫实 <i>Corispermum macrocarpum</i>	藜科	83.1±29.5b(80.0)	92.7±19.3b(90.6)	114.4±23.4b(100.0)	31.4±15.2a(63.3)	5.7	0.001
细叶苦蕒菜 <i>Ixetis denticulata</i>	菊科	3.1±2.1a(20.0)	0.6±0.3a(15.6)	3.7±1.9a(26.7)	—	14.9	<0.001
黄蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	菊科	—	—	—	0.2±0.1(10.0)	—	—
砂蓝刺头 <i>Echinops gmelini</i>	菊科	—	—	0.1±0.05(6.7)	—	—	—
太阳花 <i>Erodium stephanianum</i>	牻牛儿苗科	—	—	—	0.8±0.6(6.7)	—	—
马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	马齿苋科	—	—	—	1.5±1.3(10.0)	—	—
地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	大戟科	0.3±0.1c(26.7)	2.2±0.7c(43.8)	32.9±8.3b(93.3)	14.7±6.2a(43.3)	8.9	<0.001
多年生草本 Perennial herbs							
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	禾本科	—	—	0.1±0.05b(6.7)	21.7±5.4a(80.0)	132.5	<0.001
赖草 <i>Leymus secalinus</i>	禾本科	—	0.4±0.3a(6.3)	—	0.3±0.3a(6.7)	3.2	<0.05
芦苇 <i>Phragmites communis</i>	禾本科	1.4±0.4a(36.7)	0.1±0.1b(3.1)	0.1±0.1b(6.7)	—	7.7	<0.001
白草 <i>Pennisetum centrasiaticum</i>	禾本科	0.3±0.2(6.7)	—	—	—	—	—
扁蓿豆 <i>Melilotus ruthenicus</i>	豆科	—	0.1±0.1b(3.1)	0.1±0.05b(6.7)	1.1±0.8a(20.0)	11.1	<0.001
白山蒿 <i>Olgaea leucophylla</i>	菊科	—	—	0.03±0.03(3.3)	—	—	—
乳浆大戟 <i>Duphorbia esula</i>	大戟科	—	1.1±0.9(3.3)	—	—	—	—
地梢瓜 <i>Cynanchum thesioides</i>	萝藦科①	0.1±0.1b(6.7)	2.1±0.8a(37.5)	0.2±0.1b(13.3)	0.1±0.1b(6.7)	32.5	<0.001
防风草 <i>Saposhnikovia divaricata</i>	伞形科②	—	—	—	0.03±0.03(3.3)	—	—
柳穿鱼 <i>Linaria vulgaris</i>	玄参科③	—	0.1±0.1b(6.3)	2.3±1.1a(16.7)	—	17.8	<0.001
灌木 Semi-shrubs and shrubs							
差巴嘎蒿 <i>Artemisia halodendron</i>	菊科	2.8±1.2b(50.0)	9.9±2.3c(84.4)	2.8±0.6b(70.0)	0.4±0.3a(6.7)	10.9	<0.001
达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>	豆科	—	1.5±1.0b(15.6)	1.5±1.1b(70.0)	0.4±0.3a(6.7)	10.9	<0.001
小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i>	豆科	—	0.03±0.03(3.1)	—	—	—	—
山竹岩黄耆 <i>Hedysarum fruticosum</i>	豆科	—	—	0.1±0.05b(6.7)	5.4±2.0a(80.0)	40.1	<0.001

* 同表1 The same as table 1;①Asclepiadaceae,②Umbelliferae,③Scrophulariaceae

唐在半固定沙地密度最大。虎尾草和画眉草只出现在固定和半固定沙地,野黍出现在固定沙地。在 4 种多年生禾草中,白草(*Pennisetum centrasiatricum*)只出现在流动沙地,糙隐子草出现在固定和半固定沙地,赖草(*Leymus secalinus*)出现在固定和半流动沙地,芦苇(*Phragmites communis*)出现在半固定和半流动沙地,但它们的密度都很低。

同一类型沙地上地上植被不同植物种的密度差异亦很大。在固定沙地,最丰富的植物是虎尾草、猪毛菜、狗尾草、画眉草和大果虫实,其密度分别为 268.6 ± 66.6 、 119.4 ± 18.4 、 68.1 ± 19.5 、 55.6 ± 22.7 和 31.4 ± 15.2 ,约占地上植被总密度的 85%。在半固定沙地,最丰富的植物是大果虫实、猪毛菜、狗尾草、地锦和三芒草,其密度分别为 114.4 ± 23.4 、 59.4 ± 17.8 、 36.5 ± 8.1 、 32.9 ± 8.3 和 21.8 ± 8.6 ,约占地上植被总密度的 87%。在半流动沙地,最丰富的植物是大果虫实、猪毛菜和狗尾草,其密度分别为 92.7 ± 19.3 、 40.8 ± 9.1 和 19.7 ± 4.7 ,约占地上植被总密度的 87%。在流动沙地,最丰富的植物与半流动沙地基本相同,亦是大果虫实、狗尾草和猪毛菜,其密度分别为 83.1 ± 29.5 、 28.9 ± 12.8 和 12.1 ± 9.6 ,约占地上植被总密度的 93%。狗尾草、大果虫实和猪毛菜在 4 种沙地上均可见到,且都是优势种。相反,画眉草和虎尾草只出现在固定和半固定沙地,并且是固定沙地的优势种,说明这 2 种植物在流动和半流动沙地生境下很难自然更新和存活。

2.3 地上植被与土壤种子库群落组成上的相似性

把表 1 和表 2 中数据进行对比分析可见,随着草地沙漠化程度增加地上植被与土壤种子库的共有种数逐渐减少。在固定沙地,地上植被与土壤种子库的共有种数是 17 个,占土壤种子库种数的 71%,占地上植被种数的 74%。在半固定沙地,共有种数是 14 个,占土壤种子库种数的 58%,占地上植被种数的 70%。在半流动沙地,共有种数是 11 个,占土壤种子库种数的 46%,占地上植被种数的 61%。在流动沙地,共有种数是 9 个,占土壤种子库种数的 53%,占地上植被种数的 75%。由于地上植被与土壤种子库共有种数随着沙漠化程度的增加而减少,从而地上与土壤种子库群落组成的相异性随着沙漠化程度的增加而增大。从计算的 4 种类型退化沙地地上与土壤种子库群落组成的相似性系数可见,固定沙地地上与土壤种子库群落组成的相似性系数最大(0.723),其次是半固定沙地(0.636),再次是流动沙地(0.621)和半流动沙地(0.524)。综合 4 种样地计算出的地上与土壤种子库组成的相似性系数为 0.63,表明地上与土壤种子库群落组成上的相似性程度比较高。这一结果与 Roach^[35]、Ingersoll 和 Wilson^[36]及 Arroyo 等^[31]在高山冻原和亚高山地区对森林植被的研究结果不同,他们均发现地上植被与土壤种子库在组成上的相似性很低。

表 3 4 种类型退化沙地地上植被组成及土壤种子库组成的相似性比较

Table 3 Comparison of Sorensen's similarity coefficient in species composition of the standing vegetation and the soil seed bank among sandy grasslands at different levels of desertification

项目 Item	固定沙丘	半固定沙丘	半流动沙丘	流动沙丘
	Fixed sand dune	Semi-fixed sand dune	Semi-shifting sand dune	Shifting sand dune
地上植被 Standing vegetation				
固定沙丘 Fixed sand dune	—			
半固定沙丘 Semi-fixed sand dune	0.698	—		
半流动沙丘 Semi-shifting sand dune	0.585	0.737	—	
流动沙丘 Shifting sand dune	0.514	0.563	0.667	—
土壤种子库 Soil seed bank				
固定沙丘 Fixed sand dune	—			
半固定沙丘 Semi-fixed sand dune	0.917	—		
半流动沙丘 Semi-shifting sand dune	0.917	1.000	—	
流动沙丘 Shifting sand dune	0.829	0.829	0.829	—

表 3 比 方 数 据 4 种类型退化沙地在地上植被组成上的相似性及在土壤种子库组成上的相似性。从表 3 可以看出:第一,4 种类型退化沙地在土壤种子库组成上的相似性要高于地上植被组成上的相似性,说明在

草地沙漠化过程中土壤种子库群落组成的变化要小于地上植被;第二,4 种类型退化沙地中,半流动与半固定沙地在地上植被组成上的相似程度最高(相似性系数为 0.737),流动与固定沙地在地上植被组成上的相似程度最低(相似性系数为 0.514)。这表明 2 种沙地地上植被退化水平的差异越大,则它们在地上植被组成上的相异性越大。

2.4 地上植被与土壤种子库密度的关系

回归分析显示,地上植被密度与土壤种子库密度间存在显著的正相关,其间关系可用二次曲线来描述(图 4)。结果与 O'Connor 和 Pickett 1992 年在非洲热带稀树草原的研究结果相一致^[37],但与 Harper 1977 年、Thompson 和 Grime 1979 年及 Coffin 和 Lauenroth 1989 年的研究结果不同^[6, 11, 38]。O'Connor 和 Pickett 发现,地上植被密度与土壤种子库密度存在显著的相关性,而 Harper、Thompson 和 Grime 及 Coffin 和 Lauenroth 报道地上植被密度与土壤种子库密度之间无显著的相关性。

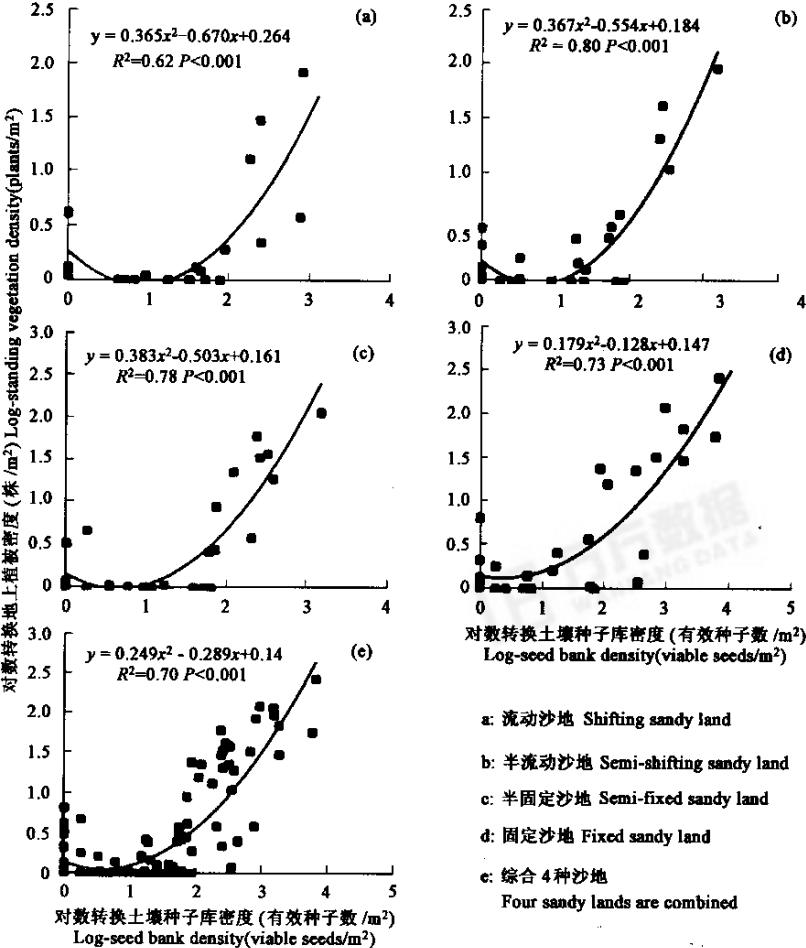


图 4 地上植被密度与土壤种子库密度的关系

Fig. 4 Relationship between standing vegetation density and soil seed bank density

3 结论 万方数据

3.1 草地沙漠化过程中地上植被与土壤种子库物种多样性的衰减模式存在明显差异,土壤种子库植物种

数从潜在沙漠化阶段(固定沙地)到中度沙漠化阶段(半流动沙地)变化很小,而从中度沙漠化到严重沙漠化阶段(流动沙地)衰减速度最快;地上植被植物种数随着沙漠化程度的增加而下降,其中从中度沙漠化到严重沙漠化阶段是地上植被种数衰减最快的时期。

3.2 尽管地上植被与土壤种子库密度随着沙漠化程度的增加而下降,但不同沙漠化发展阶段其下降速率明显不同,从固定到半固定沙地,地上植被密度和土壤种子库密度的下降幅度最大。

3.3 随着草地沙漠化程度的增加,地上植被与土壤种子库的共有种数逐渐减少,地上与土壤种子库群落组成上的相异性逐渐增大。

3.4 4 种类型退化沙地在土壤种子库组成上的相似性要高于地上植被组成上的相似性,这表明草地沙漠化过程中土壤种子库群落组成的稳定性要大于地上植被。

3.5 地上植被密度与土壤种子库密度之间存在显著的正相关,其间关系可用二次曲线来描述。

References:

[1] Roberts H A. Seed Banks in Soil. *Advances in Applied Biology*, 1981, **6**: 1~55.

[2] Yang Y J, Sun X Y and Wang B P. Forest soil seed bank and natural regeneration. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, **12** (2): 304~308.

[3] Zhao P and Peng S L. Species and species diversity in relation to restoration and persistence of degraded ecosystem functions. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, **12** (1): 132~136.

[4] Darwin C R. The origin of the species by means of natural selection. *The new American Library*, New York, 1859.

[5] Smoliak S, Stringer P W. Viable seed populations in prairie topsoils. *Canadian Journal of Plant Science*, 1969, (49): 75~82.

[6] Thompson K, Grime J P. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. *Journal of Ecology*, 1979, (67): 893~921.

[7] Hill M O, Steven P A. The density of viable seed of forest plantation in uplands Britain, *Journal of Ecology*, 1981, **69**: 693~709.

[8] RabinowitzD. Buried viable seeds in a north American tall-grass prairie: the resemblance of their abundance and composition to dispersing seeds. *Oikos*, 1981, (36): 191~195.

[9] Howe C D, Chancellor R J. Factors affecting the viable seed content of soil beneath lowland pastures. *Journal of Applied Ecology*, 1983, (20): 915~922.

[10] Johnson R G, Anderson R C. The seed bank of a tall-grass prairie in Illinois. *American Midland Naturalist*, 1986, (115): 1223~1300.

[11] Coffin D P, Lauenroth W K. Spatial and temporal variation in the seed bank of a semiarid grassland. *American Journal of Botany*, 1989, **67**: 53~58.

[12] Russi L, Cocks P S and Roberts E H. Seed bank dynamics in a Mediterranean grassland. *Journal of Applied Ecology*, 1992, (29): 763~761.

[13] Williams-Linera G. Soil seed banks in four lower Montana forests of Mexico. *J. Trop. Ecol.*, 1993, **9**: 321~337.

[14] Ghermandi L. Seasonal patterns in the seed bank of a grassland in north-western Patagonia. *Journal of Arid Environments*, 1997, (35): 215~224.

[15] Kalamees R, Zobel M. Soil seed bank composition in different successional stages of a species rich wooded meadow in Laelatu, western Estonia. *Acta Oecologica*, 1998, **19** (2): 175~180.

[16] Yang Y F and Zhu T C. Change in seed rain of *Stipa grandis* community in the Songnen Plain of China. *Acta Phytocologica Et Geobotanica Sinca*, 1991, **15** (1): 46~55.

[17] Yang Y F, Zhang Z and Wu Q S. Study on the seed banks under different land utilization systems in a tropical area. *Acta Pedologica Sinica*, 1999, **36** (3): 327~333.

- [18] Yang Y F, Zhu L. Analysis on the mechanism of seed dispersal of *Puccinellia ghinamensis* on alkalized meadow in the Songnen Plain of China. *Acta Botanica Sinica*, 1995, **37** (3): 222~230.
- [19] Wang G, Liang X G. The dynamics of seed banks on artificially stabilized dunes in Sapotou. *Acta Botanica Sinica*, 1995, **37** (3): 231~237.
- [20] Xu H C, Ban Y. The distribution of seeds in the soil and the sustainability of the seed bank of *Larix Gmelini* in Northern Daxinganling Mountains. *Acta Phytocologia Sinica*, 1996, **20** (1): 28~34.
- [21] Zhang Z Q. Soil seed bank. *Chinese Journal of Ecology*, 1996, **15** (6): 36~42.
- [22] Deng Z F, Zhou X m and Wang Q J. Studies of seed bank of *Kobresia huilis* meadow in the Qing Zang Plateau. *Chinese Journal of Ecology*, 1997, **16** (5): 19~23.
- [23] Guo J P, Xue Q J, Li S G, *et al.* Soil seed bank of *Larix Principis-Rupprechtii* under canopy in the Pangquangou National Natural Reserve, Shanxi, China. *Journal of Wunan Botanical Research*, 1998, **16** (2): 131~136.
- [24] Zhong T K, Bao Q H, Sun W, *et al.* The influence of mowing on the seed amount and composition in soil seed bank of typical Steppe I. The source of seed rain and its falling. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol*, 1999, **30** (6): 734~738.
- [25] Zhou Y X, Li M G and Wang B X. Soil seed banks in a series of successional secondary forest communities in the Heishiding Nature Reserve, Guangdong province. *Acta Phytocologia Sinica*, 2000, **24** (2): 222~230.
- [26] Zhao M L, Xu Z X. Study on seed bank of desert grassland in Inner Mongolia. *Grassland of China*, 2000, (2): 46~48.
- [27] Bao Q H, Zhong T K, Sun W, *et al.* The influence of mowing on the amount and composition of soil seed bank in a typical steppe II The amount of viable seed and its vertical distribution. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol*, 2000, **31** (1): 93~97.
- [28] Liu J M, Zhong Z C. Nature of seed rain, the seed bank and regeneration of a *Castanopsis Fergesii* community on the Fanjing Mountain. *Acta Phytocologia Sinica*, 2000, **24** (4): 402~407.
- [29] Zhang G F. Characteristics of soil seed bank and seedling bank of shrubland in Tiantong Range, Zhejiang province. *Acta Botanica Yunnanica*, 2001, **23** (2): 209~215.
- [30] Rice K J. Impacts of seed banks on grassland community structure and population dynamics. In: Leck M. A., Parker Y T, Simpson R L eds. *Ecology of Seed Bank*, Academic Press, New York, 1979.
- [31] Arroyo M T K, Lohengrin A, Castor C C. Persistent soil seed bank and standing vegetation at a high alpine site in the central Chilean Andes. *Oecologia*, 1999, **119**: 126~132.
- [32] Tang Y, Cao M, Zhang J H, *et al.* Relationship between soil seed bank and aboveground vegetation in tropical forest of Xishuangbanna. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, **10** (3): 279~282.
- [33] Lortie C J, Turkington R. The effect of initial seed density on the structure of a desert annual plant community. *Journal of Ecology*, 2002, **90**: 435~445.
- [34] Chao L M, Biao S J, Zhi R N, *et al.* The distribution patterns of *Artemisia halodendrom* in different sandland types. *Journal of Desert Research*, 1999, **19** (Supp. 1): 45~49.
- [35] Roach D A. Buried seed and standing vegetation in two adjacent tundra habitats, northern Alaska. *Oecologia*, 1983, **60**: 359~364.
- [36] Ingersoll C, Wilson M. Buried propagule bank of a high subalpine site: microsite variation and comparisons with aboveground vegetation. *Can. J. Bot.*, 1993, **71**: 712~717.
- [37] O'Connor T G, Pickett G A. The influence of grazing on seed production and seed bank of some African savanna grasslands. *Journal of Applied Ecology*, 1992, (29): 247~260.
- [38] Harper J L. *Population Biology of Plants*. New York: Academic Press, 1977. 57~39.

参考文献

- [2] 杨跃进, 万力数据, 保平. 森林土壤种子库与天然更新. 应用生态学报, 2001, **12** (2): 304~308.
- [3] 赵平, 彭少麟. 种、种的多样性及退化生态系统功能的恢复和维持研究. 应用生态学报, 2001, **12** (1): 132~136.

[16] 杨允菲, 祝廷成. 松嫩平原大针茅群落种子雨动态的研究. 植物生态学与地植物学报, 1991, **15** (1): 46~55.

[17] 杨小波, 陈明智, 吴庆书. 热带地区不同土地利用系统土壤种子库的研究. 土壤学报, 1999, **36** (3): 327~333.

[18] 杨允菲, 祝玲. 松嫩平原碱化草甸碱茅种子散布机制的分析. 植物生态学报, 1995, **37** (3): 222~230.

[19] 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.

[20] 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.

[21] 张志权. 土壤种子库. 生态学杂志, 1996, **15** (6): 36~42.

[22] 邓自发, 周兴民, 王启基. 青藏高原矮嵩草甸种子库的初步研究. 生态学杂志, 1997, **16** (5): 19~23.

[23] 郭晋平, 薛俊杰, 李世广, 等. 庞泉沟自然保护区华北落叶松土壤种子库的研究. 武汉植物学研究, 1998, **16** (2): 131~136.

[24] 仲延凯, 包青海, 孙维, 等. 割草干扰对典型草原土壤种子库种子数量与组成的影响 I 种子雨的来源及其降落. 内蒙古大学学报 (自然科学版), 1999, **30** (6): 734~738.

[25] 周先叶, 李鸣光, 王伯荪. 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.

[26] 赵明莉, 许志信. 内蒙古乌兰察布西部温性荒漠草地土壤种子库初探. 中国草地, 2000, (2): 46~48.

[27] 包青海, 仲延凯, 孙维, 等. 割草干扰对典型草原土壤种子库种子数量与组成的影响 II 具有生命力的种子数量及其垂直分布. 内蒙古大学学报 (自然科学版), 2000, **31** (1): 93~97.

[28] 刘济明, 钟章成. 梵净山栲树群落的种子雨、种子库及更新. 植物生态学报, 2000, **24** (4): 402~407.

[29] 张光富. 浙江天童灌丛植被的土壤种子库与幼苗库特征. 云南植物研究, 2001, **23** (2): 209~215.

[32] 唐勇, 曹敏. 西双版纳热带森林土壤种子库与地上植被的关系. 应用生态学报, 1999, **10** (3): 279~282.

[34] 潮洛蒙, 朴顺姬, 智瑞年, 等. 不同类型沙地差巴嘎蒿种群分布格局的研究. 中国沙漠, 1999, **19** (增刊 1): 45~49.

