

松嫩平原盐碱草地土壤种子库小尺度格局研究

王雷, 黄茹, 李中跃, 闫国永, 王洪峰* (东北林业大学林学院, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要 用样线法、调查法、幼苗萌发法研究松嫩平原盐碱草地种子库在小尺度空间范围的水平分布格局。结果表明:①土壤种子库的密度为(1 179.27±917.78)粒/m²,其中有757株植物幼苗,单子叶42.93%,双子叶57.07%,隶属15个科,23个属,37个种。②土壤种子库 Shannon-Wiener 指数 H、Simpson 指数、Margalet 丰富度指数 R、Pielou 均匀度指数的范围分别为:1.42~2.03、0.70~0.78、1.50~3.33、0.77~0.89。选取出现频数较高的8个物种进行空间格局分析,离散系数的分析表明,只有苣荬菜在样方18显示出聚集分布,其他情况均为随机分布。Lloyd 平均拥挤指数分析显示,繁缕、红足蒿、全叶马兰、寸草在该地区为聚集分布,而苣荬菜、碱蓬、稗草、羊草为随机分布。此外,在试验的取样间距(1 m)前提下,8个物种在18个样方的空间相关性差别较大,8个物种在多数样方中显示空间负相关,表现正相关性的样方较少。

关键词 松嫩平原;盐碱草地;小尺度;种子库;Moran's I 指数;空间格局

中图分类号 S181.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2014)05-01508-05

Study on Small-scale Heterogeneity of Soil Seed Bank in Saline-alkali Grasslands of the Songnen Plain

WANG Lei, WANG Hong-feng et al (School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040)

Abstract Soil seed banks play an important role in vegetation restoration. The small-scale heterogeneity of soil seed bank density was analyzed using the method of line transect, survey, seedling germination in saline-alkali grasslands of the Songnen Plain, China. Results revealed: (1) the density of soil seed bank was (1 179.27±917.78) (seeds/m²), among the soil seed bank there existed 757 seeds including 37 species, 23 genera 15 families, with 57.07% Dicotyledon and 42.93% Monocotyledon. (2) The range of Shannon-Wiener diversity index, Simpson index, Margalet richness index, Pielou's evenness index in the soil seed bank was 1.42-2.03, 0.70-0.78, 1.50-3.33, 0.77-0.89, respectively. The species with high frequency in the soil seed bank were selected to carry on the analysis of the spatial pattern using variance/mean ratio, Lloyd's index of mean crowding and Moran's I statistic of spatial autocorrelation. The result of dispersion coefficient indicated that only *Sonchus brachyotus* was aggregated in quadrats 18 and other species was random in rest of circumstances. The Lloyd's index of mean crowding showed that *Stellaria media*, *Artemisia rubripes*, *Kalimeris integrifolia* and *Carex duriuscula* were aggregated in this area, while *Sonchus brachyotus*, *Suaeda glauca*, *Echinochloa crusgalli*, *Leymus chinensis* were randomly distributed. Moreover, on the premise of the experimental patch size(1 m), the spatial correlation of 8 species in the 18 quadrats differentiated greatly, the number of quadrats in which 8 species were negatively autocorrelated was large, and the number of quadrats in which 8 species were significantly autocorrelated was small.

Key words Songnen Plain; Saline-alkali grasslands; Small-scale; Seed bank; Moran's I index; Spatial pattern

土壤种子库(Soil seed bank)是指在某一特定时间内,存在于土壤表面及其以下土层中具有活力种子的总称^[1]。它作为一种潜在的植物群落,不仅反映了植物群落的进化记忆,而且影响了植被的现在和将来,同时在植被生物多样性的保护和恢复方面发挥着重要的作用^[2-3]。

目前,有关报道已揭示松嫩平原盐碱草地种子库的种属成分、物种多样性、生长季通量、幼苗存活与死亡变化、人为干扰对土壤种子库密度和多样性的影响等规律^[4-6]。此外,种子库小尺度分布格局的研究已在草地、淡水湿地和农田中开展^[7-10],但是松嫩平原盐碱草地种子库的小尺度研究尚未开展。为此,笔者以松嫩平原具有微地形地貌的盐碱草地为研究对象,采用2个格局指数(离散系数和Lloyd平均拥挤指数)和Moran's I空间自相关系数分析了松嫩平原盐碱草地种子库中优势种在小尺度的空间格局,旨在揭示种子库在小尺度空间范围的分布规律。

1 研究地与研究方法

1.1 样地概况 研究地位于松嫩平原中部、黑龙江省西南部的肇东市,地理坐标为125°20'~126°20' E,45°20'~46°25' N^[11]。该地区气候为温带半干旱季风气候,年均降水量约为

467.06 mm,且降水多集中在6~9月份,年蒸发量约为1 600.2 mm,年平均气温4.9℃,最暖月出现在7月,平均气温为23.2℃,最冷月出现在1月,平均气温-16.4℃,该地点土壤类型为草甸土和盐碱化草甸土,且有典型的盐碱草地植被类型,其草地类型为草甸草原,其中羊草(*Leymus chinensis*)群落分布最为广泛,形成优势群落^[12-13]。在草甸土壤上分布着杂类草群落和拂子茅(*Calamagrostis epigeos*)群落,在盐碱化土壤上分布着碱茅(*Puccinellia tenuiflora*)群落、虎尾草(*Chloris virgata*)群落、碱蓬(*Suaeda glauca*)群落,在重度盐碱化土壤上出现碱斑裸地^[14]。

1.2 种子库取样 2012年4月20和21日,在试验地选取4样地,用样线法每隔1 m确定取样点。由于松嫩平原盐碱草地的土层较浅,因此在取样时只取大约5 cm的深度,而5 cm以下的土壤板结比较严重、透气性差,种子很难在此存活,没有必要取样^[6,15]。取样的基本信息见表1。

用种子萌发法计算土壤种子库的种子数量,取回土样后即2012年4月23日开始种子萌发试验。21 d后,每7 d记录一次萌发的植物种类及数量,连续28 d不再有新的种子萌发即停止试验。

1.3 数据处理

1.3.1 土壤种子库植物种类、大小、多样性。将取样面积内的种子数量、幼苗的株数换算成1 m²的种子数量,即为种子库密度^[16-17]。此外,将Shannon-Wiener多样性指数、Margalet丰富度指数、Simpson多样性指数和Pielou均匀度指数作

基金项目 国家“十一五”林业科技支撑项目(2006BAD03A16)。
作者简介 王雷(1981-),男,黑龙江哈尔滨人,讲师,在读博士,从事森林植物保护研究。*通讯作者,工程师,从事植物分类研究。

收稿日期 2014-01-16

为土壤种子库的多样性指标^[18]。

表 1 土壤种子库取样的基本信息

地点	样方号	样方大小	植被类型	地点	样方号	样方大小	植被类型
I	I-1	4 m×16 m	羊草黄蒿群落	III	III-10	8 m×8 m	羊草黄蒿群落
II	II-2	4 m×16 m	星星草群落	III-11	4 m×16 m		
	II-3	4 m×16 m		III-12	4 m×8 m		
	II-4	4 m×16 m		III-13	8 m×5 m		
	II-5	4 m×16 m		III-14	3 m×8 m		
	II-6	4 m×16 m		III-15	8 m×6 m		
	II-7	4 m×16 m		IV	IV-16	4 m×8 m	羊草群落
	III	III-8	8 m×8 m	羊草黄蒿群落	IV-17	4 m×8 m	
	III-9	6 m×8 m		IV-18	4 m×8 m		

1.3.2 种子库空间格局分析。采用 3 个指标来描述土壤种子库在相应样方空间分布格局^[19]：离散系数、Lloyd 平均拥挤指数 (Mean crowding, m^*)、Moran's I 指数^[20-22]。

用 Microsoft office 2007 excel、SPSS18.0、Arcgis10.0 对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 土壤种子库植物种类组成 针对土壤种子库,经过 30 d 的萌发试验,36 个育苗盘共记录 757 株幼苗,这些植物以一年生植物为主,其中单子叶、双子叶所占比例分别为 42.93%、57.07%,隶属 15 个科,23 个属,37 个种,其中菊科 (Asteraceae) (274 株)、莎草科 (Cyperaceae) (185 株)、禾本科 (Poaceae) (140 株) 所占的比例比较大,分别为 36.20%、24.44%、18.49%,占植物总株数接近 80%,寸草 (*Carex duriuscula*) (164 株)、红足蒿 (*Artemisia rubripes*) (129 株)、苣荬菜 (*Sonchus brachyotus*) (88 株)、羊草 (85 株)、碱蓬 (84 株) 数量较多,占总的幼苗比例分别为 21.66%、17.04%、11.62%、11.23%、11.10%,占植物总株数的 71.55%。

2.2 土壤种子库植物的数量特征 地点 I、II、III、IV 所取土样萌发幼苗数分别为:150、326、191、90。各地点种子库密度的详细情况见表 2。如果把 4 个地点看作一个整体,则种子库的密度为 $(1\ 179.27 \pm 917.78)$ 粒/ m^2 。

表 2 各样地土壤种子库的密度 (平均值 ± 标准差) 粒/ m^2

地点	单子叶植物	双子叶植物	单子叶 + 双子叶植物
I	438.44 ± 225.23	2 301.83 ± 662.72	2 740.27 ± 573.80
II	636.35 ± 300.05	356.24 ± 189.41	992.59 ± 326.52
III	194.10 ± 227.88	375.87 ± 302.37	569.98 ± 437.98
IV	438.44 ± 483.34	657.67 ± 239.59	1 096.11 ± 719.70

表 5 8 个物种在 18 个样方中的离散系数分析

物种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
繁缕	4.18	4.15	8.00	5.61	\	5.92	\	\	\	8.00	\	\	6.32	4.90	5.12	5.66	\	\
苣荬菜	4.45	\	\	5.67	4.19	4.54	8.00	8.00	\	3.41	2.57	3.67	6.32	\	\	3.94	\	1.41
碱蓬	5.61	\	\	6.57	5.91	5.92	5.61	6.29	6.93	2.25	2.83	\	\	\	4.85	2.33	2.69	\
红足蒿	1.90	3.90	4.22	3.31	4.15	4.13	\	4.83	\	4.92	3.65	2.87	4.13	\	3.91	\	\	\
稗草	3.46	\	6.57	8.00	8.00	3.90	5.61	5.61	\	4.83	8.00	2.69	6.32	\	5.44	\	\	\
羊草	3.46	5.61	3.06	4.02	4.83	2.80	3.07	8.00	6.93	\	3.46	3.94	4.41	\	6.93	3.43	\	5.66
全叶马兰	4.54	\	4.15	8.00	8.00	4.54	8.00	\	6.93	8.00	5.61	3.94	3.79	\	6.93	5.66	3.30	3.16
寸草	3.02	2.14	2.08	2.12	3.34	2.12	1.90	5.61	6.93	\	8.00	2.32	6.32	4.90	\	2.69	5.66	3.67

注：“\”表示此物种在此样方中不存在。下同。

由表 3 可知,地点 I、III、IV 的土壤种子库双子叶植物的密度均大于单子叶植物的密度,地点 II 的土壤种子库单子叶植物的密度均大于双子叶植物的密度。

表 3 土壤种子库单、双子叶密度所占比例比较 %

地点	单子叶植物	双子叶植物
I	16.00	84.00
II	64.11	35.89
III	34.05	65.95
IV	40.00	60.00

2.3 土壤种子库多样性分析 由表 4 可知,对于土壤种子库,4 个地点 Shannon - Wiener 指数 H、Simpson 指数、Margalet 丰富度指数 R 的变化趋势基本相同,这与 4 个地点土壤种子库的植物种类的数量变化趋势相同,即 $I > II > III > IV$,亦即地点 I 最大,地点 IV 最小。4 个地点 Pielou 均匀度指数均值从大到小为: $III (0.89) > IV (0.82) > I (0.79) > II (0.77)$,地点 III 最大,地点 II 最小。Pielou 均匀度指数的变化与上述 3 个指数不同,可能是由于种子在小尺度上分布不均所造成的。

表 4 4 个地点土壤种子库多样性指标分析

地点	Shannon - Wiener	Simpson	Margalet	Pielou
I	2.03 ± 0.34	0.78 ± 0.10	3.33 ± 0.46	0.79 ± 0.10
II	1.73 ± 0.38	0.743 ± 0.11	2.72 ± 1.79	0.77 ± 0.07
III	1.54 ± 0.40	0.738 ± 0.11	1.87 ± 0.39	0.89 ± 0.06
IV	1.42 ± 0.31	0.70 ± 0.09	1.50 ± 0.54	0.82 ± 0.06

2.4 土壤种子库的空间格局 根据物种在样方中出现频数,从 37 个物种中选择出现频数大于等于 10 的 8 个物种 (括号内的数字表示物种出现样方的个数):繁缕 (10)、苣荬菜 (12)、碱蓬 (12)、红足蒿 (12)、稗草 (12)、羊草 (15)、全叶马兰 (15)、寸草 (16),选取上述物种进行接下来的空间格局分析。

2.4.1 离散系数。由表 5 可知,8 个物种在 18 个样方的离散系数均大于均匀分布的预期值 1,最大的离散系数为 8.00,最小的离散系数为 1.41。8 个物种离散系数极差由大到小依次为:苣荬菜 (6.59) > 寸草 (6.10) > 稗草 (5.31) > 羊草 (5.20) > 全叶马兰 (4.84) > 碱蓬 (4.67) > 繁缕 (3.85) > 红足蒿 (3.02)。

用 t 检验进行差异显著性检验,结果见表 6。分析表明,只有苣荬菜在样方 18 的分布格局达到偏离均匀分布的极显著水平 ($t = 1.61 < t_{0.01,31}$),即苣荬菜在样方 18 为聚集的分布格局,其他分布均未达到偏离均匀分布的显著水平,换而言

表6 8个物种在18个样方中偏离均匀分布的*t*检验

物种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
繁缕	17.69	17.52	38.97	25.68	\	27.42	\	\	\	38.97	\	\	23.21	12.93	19.76	18.04	\	\
苣荬菜	19.20	\	\	26.00	17.76	19.74	38.97	38.97	\	13.42	8.75	10.36	23.21	\	\	11.37	\	1.61
碱蓬	25.68	\	\	31.03	27.36	27.42	25.68	29.48	28.43	6.98	10.19	\	\	\	18.45	5.13	6.54	\
红足蒿	5.03	16.17	17.92	12.84	17.52	17.42	\	21.35	\	21.82	14.73	7.23	13.63	\	13.97	\	\	\
稗草	13.71	\	31.03	38.97	38.97	16.17	25.68	25.68	\	21.35	38.97	6.54	23.21	\	21.30	\	\	\
羊草	13.71	25.68	11.49	16.80	21.35	10.00	11.52	38.97	28.43	\	13.71	11.37	14.88	\	28.43	9.42	\	18.04
全叶马兰	19.74	\	17.52	38.97	38.97	19.74	38.97	\	28.43	38.97	25.68	11.37	12.16	\	28.43	18.04	8.89	8.36
寸草	11.27	6.33	6.02	6.21	13.04	6.26	5.00	25.68	28.43	\	38.97	5.10	23.21	12.93	\	6.54	18.04	10.36

之,其他物种在试验的取样条件下是随机分布。

2.4.2 8个物种在18个样方中的平均拥挤指数。由表7可知,8个物种在18个样方分布的Lloyd平均拥挤指数(mean crowding, m^*)的范围为0~5.09,其中,最大值为5.09,最小值为0。其中,繁缕的Lloyd平均拥挤指数 m^* 的变化范围为0~0.89,苣荬菜的Lloyd平均拥挤指数 m^* 的变化范围为0~3.00,碱蓬的Lloyd平均拥挤指数 m^* 的变化范围为0~5.09,红足蒿的Lloyd平均拥挤指数 m^* 的变化范围为0~3.13,稗草的Lloyd平均拥挤指数 m^* 的变化范围为0~2.40,羊草的Lloyd平均拥挤指数 m^* 的变化范围为0~4.00,全叶马兰的Lloyd平均拥挤指数 m^* 的变化范围为0~2.00,寸草的Lloyd

平均拥挤指数 m^* 的变化范围为0~2.00。8个物种Lloyd平均拥挤指数 m^* 最大值由大到小的顺序与对应物种极差大到小的顺序相同,即碱蓬(5.09) > 羊草(4.00) > 红足蒿(3.13) > 苣荬菜(3.00) > 稗草(2.40) > 全叶马兰(2.00) = 寸草(2.00) > 繁缕(0.89)。

接下来对平均拥挤指数作深入分析^[23]。由经验可知平均拥挤指数 m^* 和平均密度 m 为线性关系,故选择两者线性回归得到的斜率作为分析依据,当线性回归的斜率为1时,所有种群为随机分布;当斜率大于1时,种群为聚集分布;当斜率小于1时,种群为均匀分布。考虑到研究样方的数量比较多,直接用 m^*/m 的值来进行分析,结果见表8。

表7 8个物种在18个样方中的平均拥挤指数分析

物种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
繁缕	0.89	0.40	0	0	\	0.67	\	\	\	0.00	\	\	0.00	0.00	0.67	0.00	\	\
苣荬菜	2.20	\	\	2.57	3.00	0	0	0	\	1.33	1.11	1.20	0.00	\	\	0.00	\	0.29
碱蓬	0	\	\	2.40	5.09	0.67	0	1.50	2.00	0.50	0.67	\	\	\	0.00	2.90	0.00	\
红足蒿	3.13	0	2.18	0.29	0.40	0.67	\	0.50	\	1.71	1.20	0.40	1.20	\	0.00	\	\	\
稗草	0	\	2.40	0	0	0	0	0	\	0.50	0.00	0.00	0.00	\	1.50	\	\	\
羊草	0	0	0.60	2.17	0.50	1.44	0.44	0	0	\	0.00	0.00	0.00	\	4.00	1.71	\	0.00
全叶马兰	0	\	0.40	0	0	1.00	0	\	0	0.00	2.00	1.00	0.50	\	0.00	0.00	1.00	0.00
寸草	0.25	0.63	1.47	0.27	0.50	0.70	0.85	0	0	\	0.00	1.71	0.00	0.00	\	2.00	0.00	1.20

表8 8个物种在18个样方中 m^*/m 的比值

物种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
繁缕	6.32	5.12	0.00	0.00	\	14.22	\	\	\	0.00	\	\	0.00	0.00	10.67	0.00	\	\
苣荬菜	14.08	\	\	23.51	13.71	0.00	0.00	0.00	\	7.11	3.95	7.68	0.00	\	\	0.00	\	0.65
碱蓬	0.00	\	\	30.72	29.62	14.22	0.00	24.00	32.00	2.00	3.56	\	\	\	0.00	4.64	0.00	\
红足蒿	3.23	0.00	12.69	2.61	5.12	7.11	\	8.00	\	15.67	7.68	2.56	9.60	\	0.00	\	\	\
稗草	0.00	\	30.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	\	8.00	0.00	0.00	0.00	\	18.00	\	\	\
全叶马兰	0.00	\	5.12	0.00	0.00	10.67	0.00	\	0.00	0.00	21.33	8.00	5.00	\	0.00	0.00	6.40	0.00
羊草	0.00	0.00	3.84	11.56	8.00	5.14	3.16	0.00	0.00	\	0.00	0.00	0.00	\	38.40	7.84	\	0.00
寸草	2.00	2.13	3.13	1.14	4.00	2.24	2.08	0.00	0.00	\	0.00	3.92	0.00	0.00	\	5.33	0.00	7.68

由表8可知,繁缕、苣荬菜、碱蓬、红足蒿、稗草、羊草、全叶马兰、寸草的 m^*/m 比值大于1的样方个数依次为:6、6、4、2、9、9、8、6, m^*/m 比值小于1的样方个数依次为:4、6、8、10、3、6、7、10。

由表9可知, m 与 m^* 的拟合相关系数 R^2 达到50%以上的物种有:繁缕、红足蒿、全叶马兰、寸草,且上述4个物种 p 值小于0.05,即上述4个物种平均拥挤指数 m^* 与平均密度 m 有真实的线性回归关系,它们的拟合曲线的斜率显著偏离均匀分布,因此,平均拥挤指数显示这4个物种在种子库中属

于聚集分布。而其他4个物种,在当前的取样条件下平均拥挤指数 m^* 与平均密度 m 无显著的线性回归关系,即为随机分布。

2.4.3 Moran's I空间自相关指数。由表10可知,在试验的取样间距(1 m)前提下,8个物种在18个样方的空间相关性差异较大,8个物种在多数样方中显示空间负相关。繁缕、苣荬菜、碱蓬、红足蒿、稗草、羊草、全叶马兰、寸草显示出负相关的样方个数分别为8、8、10、8、9、11、12、14,显示正相关的样方数分别为2、4、2、4、3、4、3、2,相关性达到显著水平的个

数依次为 3、1、0、0、0、1、1,相关性未达到显著水平的个数依次为 7、11、12、12、12、15、14、15。具体地讲,繁缕在样方 2 的空间自相关 Moran's I 值为 0.13,达到显著差异($p = 0.049 < 0.05$),在样方 6 的空间自相关 Moran's I 值为 0.21,达到差异极显著的水平($p = 0.000\ 04 < 0.01$),在样方 13 的空间自相关 Moran's I 值为 -0.004975 ,达到差异显著的水平($p = 0.038\ 9 < 0.05$)。苣荬菜在样方 5 的空间自相关 Moran's I 值为 0.22,达到差异极显著的水平($p = 0.000\ 632 < 0.01$)。全叶马兰在样方 13 的空间自相关 Moran's I 值为 0.16,达到差异显著的水平($p = 0.037\ 033 < 0.05$)。寸草在样方 4 的空间自相关 Moran's I 值为 0.20,达到差异显著

的水平($p = 0.017\ 672 < 0.05$)。

表 9 8 个物种平均拥挤指数 m^* 与平均密度 m 回归拟合结果

物种	m 与 m^* 的 拟合方程	相关系数 $R^2 // \%$	回归拟合 的显著性
繁缕	$m^* = -0.120 + 7.83 m$	70.3	0.001
苣荬菜	$m^* = 0.484 + 3.13 m$	13.0	0.226
碱蓬	$m^* = 0.679 + 3.95 m$	17.6	0.154
红足蒿	$m^* = 0.378 + 3.05 m$	59.8	0.002
稗草	$m^* = -0.088 + 8.67 m$	16.3	0.171
羊草	$m^* = -0.087 + 7.86 m$	28.2	0.042
全叶马兰	$m^* = -0.169 + 9.13 m$	50.4	0.003
寸草	$m^* = -0.065 + 3.42 m$	71.8	0.000

表 10 8 个物种在 18 个样方中空间自相关指数分析

物种	1		2		3		4		5		6	
	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P
繁缕	-0.08	0.38	0.13	0.05	-0.02	0.30	-0.03	0.89	\	\	0.21	0.00
苣荬菜	-0.02	0.90	\	\	\	\	-0.02	0.90	0.22	0.00	-0.05	0.69
碱蓬	-0.04	0.68	\	\	\	\	-0.02	0.87	-0.03	0.73	-0.03	0.82
红足蒿	0.05	0.42	0.09	0.22	-0.07	0.42	-0.01	0.93	-0.07	0.50	-0.07	0.49
稗草	-0.10	0.36	\	\	-0.02	0.99	-0.02	0.30	-0.02	0.30	0.07	0.33
羊草	-0.09	0.42	-0.03	0.79	-0.05	0.70	-0.02	0.97	-0.05	0.65	0.04	0.47
全叶马兰	-0.03	0.87	\	\	0.04	0.49	-0.01	0.53	-0.02	0.30	-0.01	0.87
寸草	-0.06	0.59	-0.03	0.86	-0.07	0.53	0.20	0.02	-0.06	0.62	-0.03	0.88
物种	7		8		9		10		11		12	
	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P
繁缕	\	\	\	\	\	\	-0.02	0.41	\	\	\	\
苣荬菜	-0.01	0.53	-0.02	0.41	\	\	0.08	0.20	0.04	0.51	-0.09	0.44
碱蓬	-0.01	0.89	-0.03	0.74	-0.03	0.36	0.11	0.15	-0.04	0.73	\	\
红足蒿	\	\	-0.05	0.62	\	\	0.02	0.45	0.05	0.39	-0.15	0.27
稗草	-0.04	0.68	-0.03	0.81	\	\	0.06	0.25	-0.02	0.30	0.08	0.37
羊草	0.10	0.19	-0.02	0.41	-0.02	0.52	\	\	0.07	0.31	-0.06	0.81
全叶马兰	-0.01	0.53	\	\	-0.02	0.52	-0.02	0.41	-0.01	0.94	-0.04	0.97
寸草	0.07	0.34	-0.03	0.81	-0.02	0.52	\	\	-0.01	0.53	-0.09	0.64
物种	13		14		15		16		17		18	
	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P
繁缕	0	0.04	-0.04	0.90	-0.04	0.80	-0.05	0.26	\	\	\	\
苣荬菜	-0.02	0.59	\	\	\	\	-0.06	0.81	\	\	0.07	0.45
碱蓬	\	\	\	\	-0.03	0.88	0.15	0.12	-0.14	0.37	\	\
红足蒿	-0.06	0.60	\	\	-0.04	0.86	\	\	\	\	\	\
稗草	-0.03	0.22	\	\	-0.03	0.92	\	\	\	\	\	\
羊草	-0.04	0.86	\	\	-0.03	0.36	0.01	0.70	\	\	-0.01	0.06
全叶马兰	0.16	0.04	\	\	-0.03	0.36	-0.03	0.71	0.03	0.54	-0.15	0.3
寸草	-0.04	0.32	-0.01	0.09	\	\	-0.12	0.43	-0.01	0.06	-0.08	0.51

注:P 表示 $I = E(I)$ 时的概率。

3 讨论

由研究得知松嫩平原盐碱草地土壤种子库密度大小为 $(1\ 179.27 \pm 917.78)$ 粒/ m^2 , 这比燕雪飞等^[6]、王正文等^[15] 在松嫩平原盐碱草地的研究结果偏低,植物种类的数量均比他们研究的高,但种子库的物种组成类似,均主要以一年生植物为主。

两个格局指数(离散系数和 Lloyd 平均拥挤指数)产生的结果不同。但苣荬菜在除了样方 18 的其他样方内为随机分布,碱蓬、羊草、稗草在该地区为随机分布。而离散系数的分析结果表明苣荬菜在样方 18 为聚集分布, Lloyd 平均拥挤指

数的分析结果表明苣荬菜在样方 18 为随机分布。此外,离散系数的分析结果表明:繁缕、红足蒿、全叶马兰、寸草在该地区为随机分布,而 Lloyd 平均拥挤指数的分析结果表明:繁缕、红足蒿、全叶马兰、寸草在该地区为聚集分布。由两个格局指数的分析结果可以初步断定:碱蓬、羊草、稗草在该地区小尺度格局下为随机分布,苣荬菜在该地区小尺度格局下主要以随机的分布形式。这可能是因为碱蓬、羊草、稗草 3 个物种适应能力比较强,种子比较小,成熟后,随风散落,形成了随机的分布形式。该地区盐碱化呈斑块状,土壤异质性比较强,苣荬菜的种子落在盐碱化严重的土壤上便失去生活

力,这样导致苜蓿菜在大部分地区形成随机分布。而繁缕、红足蒿、全叶马兰、寸草4个物种在该区小尺度格局下的分布形式尚未确定。这与刘贵华等在淡水湿地小尺度格局下种子库的研究结果不同,刘贵华等的研究认为两个格局指数得到的结果相似,这可能与取样地的气候、物种等因素有关^[10]。此外,Moran's I的分析表明,繁缕在样方2、6、13的空间自相关达到显著水平,苜蓿菜在样方5的空间自相关达到显著水平,全叶马兰在样方13的空间自相关达到显著水平,寸草在样方4的空间自相关达到显著水平,显示这些植物在对应的样方内呈聚集的分布格局,其他无显著的空间自相关性对应为随机分布的格局。这体现小尺度格局下松嫩盐碱草地种子库的复杂性,这与该地区土壤理化性质等复杂性相一致。

参考文献

- [1] 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.
- [2] BAKKER J P. Nature management by grazing and cutting[C]//On the ecological significance of grazing and cutting regimes applied to restore former species-rich grassland communities in the Netherlands. Kluwer, Dordrecht, 1989.
- [3] HARPER J L. *Population Biology of Plants* [M]. London: Academic Press, 1977: 256-263.
- [4] 杨允菲, 祝玲. 松嫩平原盐碱植物群落种子库的比较分析[J]. *植物生态学报*, 1995, 19(2): 144-148.
- [5] 杨允菲, 祝玲, 张宏一. 松嫩平原两种碱蓬群落土壤种子库通量及幼苗死亡的分析[J]. *生态学报*, 1995, 15(1): 66-71.
- [6] 燕雪飞, 杨允菲. 松嫩平原不同扰动生境土壤种子库的比较[J]. *草原与草坪*, 2003(4): 22-26.
- [7] THOMPSON K. Small-scale heterogeneity in the seed bank of an acidic grassland[J]. *Journal of Ecology*, 1986, 74: 733-738.
- [8] DESSAINT F, CHADOEUP R, BARALLIS G. Spatial pattern analysis of weed seeds in the cultivated soil seed bank[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1991, 28: 721-730.
- [9] SHAUKAT S S, SIDDIQUI I A. Spatial pattern analysis of seeds of an arable soil seed bank and its relationship with above-ground vegetation in an arid region[J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, 57: 311-327.
- [10] 刘贵华, 刘幼平, 李伟. 淡水湿地种子库的小尺度空间格局[J]. *生态学报*, 2006, 26(8): 2739-2743.
- [11] 马义, 李景信. 肇东县主要草场类型的利用与探讨[J]. *自然资源研究*, 1986(3): 29-33.
- [12] 郑慧莹, 李建东. 松嫩平原盐生植物与盐碱化草地的恢复[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 132-178.
- [13] 郑慧莹, 李建东. 松嫩平原的草地植被及其利用保护[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 10-92.
- [14] 刘峰. 松嫩草原盐碱地土壤理化性质的季节变化研究[J]. *国土与自然资源研究*, 2010(5): 55-56.
- [15] 王正文, 祝廷成. 松嫩草地水淹干扰后的土壤种子库特征及其与植被关系[J]. *生态学报*, 2002, 22(9): 1392-1398.
- [16] 赵丽娅, 李兆华, 赵锦慧, 等. 科尔沁沙质草地放牧和围封条件下的土壤种子库[J]. *植物生态学报*, 2006, 30(4): 617-623.
- [17] 马妙君, 周显辉, 吕正文, 等. 青藏高原东缘封育和退化高寒草甸种子库差异[J]. *生态学报*, 2009, 29(7): 3658-3666.
- [18] 吴涛, 王雪芹, 盖世广, 等. 春夏季放牧对古尔班通古特沙漠南部土壤种子库和地上植被的影响[J]. *中国沙漠*, 2009, 29(3): 499-507.
- [19] MUELLER-DOMBOIS D, ELLENBERG H. *Aims and Methods of Vegetation Ecology* [M]. New York: Wiley Press, 1974: 547.
- [20] 张炜银, 李鸣光, 梁士楚, 等. 外来杂草薇甘菊种群分布格局研究[J]. *广西植物*, 2003, 23(4): 303-306.
- [21] 常新华, 赵秀海, 曾凡勇, 等. 长白山针阔混交林主要树种空间分布及其环境解释[J]. *北京林业大学学报*, 2009, 31(1): 7-12.
- [22] LLOYD M L. Mean crowding[J]. *Journal of Animal Ecology*, 1967, 36: 1-30.
- [23] IWAO S. The m^*-m method for analyzing the distribution patterns of single and mixed species populations[C]//PATIL G P, ROSENZWEIG M L. *Contemporary Quantitative Ecology and Related Ecometrics*. Fairland, MD: International Cooperative Publishing House, 1979: 215-228.

(上接第1375页)

速10.6~11.3 m/s,各层月平均最大风速变化基本一致,7月最大,12月次之,11月最小;年平均极大风速15.4~15.7 m/s,与最大风速变化趋势相一致,各层逐月平均极大风速变化趋势基本一致,7月最大,11月最小。

(2)三峡气候梯度塔各层全年及各个季节ESE为主导风向,ENE、ESE、NNE、SSE和WNW风向出现的频率也较高。全年及各个季节正北、正南、正东、正西风向出现概率很小,尤其是正南风全年中几乎都没有出现。

(3)三峡气候梯度塔各层年平均气温在17.4~16.1℃,且随高度升高而降低,8.5 m层气温最高,100 m层气温最低;就逐月变化而言,梯度塔各层气温逐月变化呈单峰值,1月气温最低,7月最高;就季节而言,夏季最高、冬季最低。

(4)三峡气候梯度塔各层年平均相对湿度在62.3%~73.4%,8.5~50 m随高度升高而降低,50~100 m则随高度升高而上升。就逐月变化而言,梯度塔各层相对湿度11月最大,12月最低;季节变化为秋季最高,冬季最低,春、夏季居中。

(5)三峡气候梯度塔8.5 m高度气压逐月变化曲线来看,气压曲线逐月变化呈“U”型变化,1月气压最高,7月气压达最低值;就季节变化而言,冬季气压最高,夏季最小,春、秋季居中。

参考文献

- [1] 胡东生, 张华京, 徐冰, 等. 长江中游荆江流域环境演变及两湖平原盆地形成过程[J]. *中国工程科学*, 2010, 2(2): 36.
- [2] 赵文兰, 叶愈源. 近500年长江中游气候变化的初步研究[J]. *水文*, 1996(5): 19-23.
- [3] 水利部长江水利委员会. 长江流域水旱灾害[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002: 3-4.
- [4] 周月华, 高贤来. 1470~2000年湖北省旱涝变化分析[J]. *气象*, 2003, 29(12): 18-21.
- [5] 傅抱璞. 山地气候[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [6] 潘守文. 小气候考察的理论基础及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 1987.
- [7] 于强, 彭乃志, 傅抱璞. 三峡气候的基本特征和成因的初步研究[J]. *湖泊科学*, 1996, 8(4): 305-311.
- [8] 郭渠, 龙中亚, 程炳岩, 等. 我国三峡库区近49年暴雨气候特征分析[J]. *水文*, 2011, 31(6): 86-91.
- [9] 卢晨晨, 陆维松, 陶丽, 等. 三峡库区对局地暴雨和江面大风影响的理论模型[J]. *大气科学学报*, 2011, 34(5): 555-566.