

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0633

李娜娜, 刘福元, 鲁为华, 陈乙实, 孙海荣, 靳省飞, 张凡凡. 绢蒿荒漠主要植物幼苗发生的数量动态及其影响因素. 草业科学, 2019, 36(9): 2212-2222.

LI N N, LIU F Y, LU W H, CHEN Y S, SUN H R, JIN S F, ZHANG F F. Quantitative dynamics and influencing factors of the seedling occurrence of the most common plants in *Seriphidium* desert grassland. Pratacultural Science, 2019, 36(9): 2212-2222.

绢蒿荒漠主要植物幼苗发生的数量 动态及其影响因素

李娜娜^{1,2}, 刘福元¹, 鲁为华^{1,2}, 陈乙实²,
孙海荣², 靳省飞², 张凡凡²

(1. 省部共建绵羊遗传改良与健康养殖国家重点实验室/新疆农垦科学院, 新疆 石河子 832000;

2. 石河子大学动物科技学院, 新疆 石河子 832003)

摘要: 为了明确绢蒿 (*Seriphidium*) 荒漠主要植物幼苗发生类型和数量动态, 研究了绢蒿荒漠不同坡向的 50 个样方内土壤理化性质以及年内月平均降水、温度对主要植物幼苗数量发生类型和数量动态的影响。结果表明, 凋落物与幼苗总数呈显著负相关关系 ($P < 0.05$), 土壤有机质、粪便量、土壤紧实度与幼苗总数呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$), 而土壤 pH 与幼苗总数的相关性不显著 ($P > 0.05$)。依据土壤环境因子可将植物幼苗的发生类型划分为 3 种, 其中 2 种为凋落物、粪便量、土壤有机质共同敏感型, 1 种为土壤紧实度和 pH 敏感型; 坡向和时间对植物幼苗的分布有显著影响, 各个坡向的主要植物幼苗数量会随着时间的变化产生显著的动态变化。4 种主要植物幼苗由于春季温度适宜、降水量丰沛, 呈现爆发性出苗, 随着时间的推移, 温度不断升高, 幼苗数量逐渐减少。绢蒿、角果毛茛 (*Ceratocephalus orthoceras*)、庭荠 (*Alyssum desertorum*) 幼苗随秋季水热条件的改善会出现二次生长和秋季萌发, 再次形成秋末冬初的第 2 个数量峰值。进一步对月平均降水、温度与各月份幼苗数量进行相关分析和回归分析, 结果表明, 降水和温度是影响幼苗数量动态变化的主要因素。

关键词: 绢蒿荒漠; 土壤因子; 环境因子; 坡向; 幼苗分布; 数量动态; 秋季萌发

中图分类号: Q944-33

文献标志码: A

文章编号: 1001-0629(2019)09-2212-11

Quantitative dynamics and influencing factors of the seedling occurrence of the most common plants in *Seriphidium* desert grassland

LI Nana^{1,2}, LIU Fuyuan¹, LU Weihua^{1,2}, CHEN Yishi², SUN Hairong², JIN Shengfei², ZHANG Fanfan²

(1. State Key Laboratory of Sheep Genetic Improvement and Healthy Production, Xinjiang Academy of
Agricultural and Reclamation Sciences, Shihezi 832000, Xinjiang, China;

2. College of Animal Science and Technology, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang, China)

Abstract: This study aims to understand the occurrence types and quantitative dynamics of dominant plant seedlings in *Seriphidium* desert grassland. We studied the effects of the key factors (soil, aspect, and climate) on seedling number and distribution in 50 sample sites of *Seriphidium* desert grassland. The results showed that the weight of plant litter was significantly negatively correlated with the total number of seedlings ($P < 0.05$), while soil organic matter, faeces, and soil

收稿日期: 2018-11-19 接受日期: 2019-03-13

基金项目: 省部共建绵羊遗传改良与健康养殖国家重点实验室优秀中青年人才培养引导计划专项 (SKLSGIHP2016A03); 国家自然科学基金 (31560659、31860667)

第一作者: 李娜娜 (1994-), 女, 陕西绥德人, 在读硕士生, 主要从事草地资源与生态研究。E-mail: 1731393270@qq.com

通信作者: 鲁为华 (1976-), 男, 新疆奇台人, 教授, 博士, 主要从事饲草高效生产的教学和科研工作。E-mail: winnerlwh@sina.com

compaction were significantly positively correlated with the total number of seedlings ($P < 0.01$). The correlation between soil pH and the total number of seedlings was not found to be significant ($P > 0.05$). We divided the seedlings into three types depending on soil environmental factors. Two of the seedling types are sensitive to the amount of plant litter, faecal matter, and organic matter in the soil, while the other type is sensitive to soil compactness and pH level. In addition, the slope aspect and the time of year were found to significantly influence the seedling quantity, and the number of seedlings in different slope directions was also found to change dramatically with the season. The seedlings showed explosive growth in spring, owing to the suitable temperatures and abundant precipitation, but their numbers gradually decreased as spring became summer and temperatures increased. However, the seedlings of *Seriphidium transiliense*, *Ceratocephalus orthoceras*, and *Alyssum desertorum* had a second growth and germination stage in autumn owing to improving meteorological conditions, and a second growth peak in late autumn and early winter. In addition, we conducted regression analysis on average climate conditions and the number of seedlings. The results showed that average monthly precipitation levels and temperature are the main factors influencing seedling dynamics.

Keywords: *Seriphidium* desert grassland; soil factor; climate factor; aspect; seedling distribution; quantitative dynamics; autumn germination

Corresponding author: LU Weihua E-mail: winnerlwh@sina.com

绢蒿 (*Seriphidium*) 荒漠广泛分布在新疆的南北疆, 其中北疆地区分布面积占总面积 (114.25 hm^2) 的 80% 以上, 是当地牧民主要的春秋放牧场^[1]。绢蒿荒漠主要以各类绢蒿为建群种; 以禾本科和莎草科为优势种; 以藜科、十字花科、百合科和牻牛儿苗科等多年生、一年生及短命和类短命植物为伴生种, 物种多样性较为丰富。但由于绢蒿荒漠生境的复杂多变, 使荒漠植物幼苗在空间分布以及数量上形成不同的特征^[2-3]。而幼苗阶段作为植物生命周期中最脆弱、最敏感的阶段之一, 生境的多变必定会对植物幼苗的分布和数量造成一定的影响^[4]。对绢蒿荒漠来讲, 其环境的多变主要表现在土壤和气候上。土壤制约荒漠植物的生命过程, 土壤因子分布变化是影响荒漠植物分布和群落数量特征的重要驱动力, 已有研究表明, 在干旱和半干旱生态系统中, 土壤的性质、地形、水分对植物种类的空间分布尤为明显, 地形的不同在一定程度上控制了太阳辐射和降水的空间再分配, 往往形成局部小气候环境, 从而影响土壤水分和养分的分布, 使荒漠植物呈斑块分布^[5-7]。并且, 由于放牧家畜粪便的沉积和放牧压力的相互作用, 加速了草地上粪便和枯落物的累积, 导致土壤有机质的储存, 从而能够直接增加土壤中营养元素的含量, 加快了生态系统的营养循环率, 使得植物幼苗的数量及分布发生了改变^[8]。从气候角度来讲, 温度和降水量是荒漠生态系统中极为

敏感的主要因素, 降水量直接影响了土壤水分的储存量, 过高的温度增大了荒漠区的蒸发量而间接导致了土壤水分的降低, 荒漠区较少降水量与炎热气候的共同作用, 使得土壤干旱愈来愈严重, 从而导致荒漠植物多样性及生产力发生巨大的改变。由此可见, 土壤因子 (pH、有机质、粪便、凋落物、水分)、地形、气候及自然因素的耦合作用均是影响荒漠植物分布及幼苗数量的重要因素^[9]。然而, 绢蒿荒漠拥有特殊的地理位置和复杂多变的环境, 其特点是干旱少雨、温度、湿度和降水的时间变异大, 土壤盐碱化严重以及人为的干扰, 这些特点共同决定了荒漠草地植物的分布格局和数量特征^[10-11], 绢蒿荒漠植物也在长期的进化历程中形成了与极端环境相适应的生长对策^[12]。迄今为止, 关于绢蒿荒漠土壤环境、坡向及气候环境对植物幼苗的发生类型和数量动态变化的研究比较缺乏, 明确绢蒿荒漠植物幼苗分布、数量特征和环境因子之间的关系, 对遏制荒漠化、促进植被恢复, 维护荒漠稳定具有现实意义。

为此, 以新疆绢蒿荒漠为研究区, 通过测定其土壤环境因子、水热条件以及年内幼苗发生类型及数量动态等参量, 利用 DCCA 排序进行环境要素和幼苗发生数量特征的分析, 并对不同时间幼苗数量动态变化规律与水热条件进行回归和相关分析, 探究土壤因素、坡向、时间及气候因素对幼苗发生类型和数量动态变化的影响, 以期回答

以下问题：1) 绢蒿荒漠的幼苗发生类型可分为几种？影响荒漠植物幼苗发生类型的土壤环境因素有哪些？2) 坡向和时间及其交互作用对幼苗的分布和数量产生怎样的影响？3) 主要植物幼苗数量动态变化特征与当地水热气候条件的关系如何？

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于天山北坡中段低山带山前丘陵及平原荒漠区(84°58′–86°24′ E, 43°26′–45°20′ N)，是北疆的绢蒿荒漠集中分布区，属于温带荒漠干旱气候。地势相对平坦，无特别大的起伏或断层，海拔 900–1 300 m。年平均温度 5~7 °C，月平均最高温度集中在 7 月，为 26.6 °C，最低温度集中在 1 月，为 -18.5 °C。年降水集中在 6 月–8 月，年平均降水量在 150~210 mm，蒸发量是降水量的 4~5 倍或以上。土壤为淡栗钙土。植被组成以伊犁绢蒿 (*Seriphidium transiliense*) 为建群种，另广泛伴生有藜科、十字花科、百合科、禾本科和牻牛儿苗科等多年生、一年生及短命和类短命植物，植被结构组成复杂，且存在季节动态变化。在生产利用上为春秋放牧场，春季放牧时间为 4 月–6 月，秋季放牧时间为 9 月–11 月。

1.2 数据获取

于 2016 年 5 月 7 号，在典型的绢蒿荒漠草地分布区，使用 GPS 定位，选取具有代表性的样地，分别于阳坡、阴坡、半阳坡、半阴坡、平地取样，每个方位平行取 10 个 1 m × 1 m 的样方框，对各样方内的植物种类及其幼苗进行详细计数，共计获得 50 个样方数据，形成样方 × 物种的二维数据表。

在进行样方调查时，用土壤紧实度仪对每个样方进行土壤紧实度测定，并采集每个样方内 10 cm 深土壤，用于土壤有机质、pH 测定。收集地表枯落物、家畜粪便装袋，带回实验室风干称重。通过上述工作获得每一样方包括土壤紧实度、土壤有机质和 pH、枯落物量、家畜粪便量 5 个环境指标，形成样方 × 环境要素的二维数据表。

为阐明主要植物幼苗数量随时间推移而产生的数量动态变化与当地气候条件之间的关系。于 2016 年 4 月–11 月，分别按阳坡、阴坡、半阳坡、半阴

坡、平地 5 个方位布置固定监测样方，每个方位布置 3 个重复固定样方，每月中旬进行主要植物幼苗的数量统计，得到不同时间点的幼苗数量数据。同时从中国气象数据共享网上下载 2016 年 1 月–12 月本地的降水、平均气温、相对湿度等气象数据。

1.3 数据分析及统计

使用 Excel 2007 软件进行所有数据的初步整理，不同区域幼苗数量比较的方差分析，不同时间幼苗数量动态变化规律与气候因素关系的回归和相关分析利用 DPS7.5 完成。利用 Canoco4.5 软件的 DCCA 模块进行环境要素和幼苗发生数量特征的排序分析，以阐明幼苗发生类型和环境要素之间的关系。

2 结果与分析

2.1 荒漠植物幼苗发生类型形成的环境解释

环境因子基本统计量以及与幼苗数量的相关性如表 1 和表 2 所列。50 个样方的环境因子基本统计参数结果表明，各环境因子的变异较大，其中粪便量的变异系数达到 1.216 5，凋落物重量变异系数为 0.797 4，土壤有机质变异为 0.440 0(表 1)。

从环境因子和各类主要植物幼苗总数量的相关分析可知，凋落物重量与幼苗数量呈显著负相关关系 ($P < 0.05$)。粪便量、土壤有机质及土壤紧实度与幼苗总数存在极显著正相关关系 ($P < 0.01$)，土壤 pH 值和幼苗数量之间相关性不显著 ($P > 0.05$)(表 2)。

由于大部分环境因子和幼苗总数量存在相关性，进一步对 50 个调查幼苗的样方采取 DCCA 进行分类排序，结果如图 1 所示。DCCA 排序轴第一轴基本反映了枯落物、土壤 pH、土壤有机质和粪便量的变化，排序轴自左向右，土壤 pH 逐渐减小，而枯落物、土壤有机质和粪便量逐渐增大；第二轴基本反映了土壤紧实度的数量变化趋势，排序轴自上而下，土壤紧实度逐渐增加。

从 50 个样方在二维排序图上的分布来看，各样方在排序图上有规律地分布。可根据样方在 DCCA 排序图上的位置及其与各环境轴之间的位置关系将其划分为可划分为 3 种类型，坐标轴右下方的 11、12、13、14、16、19、20、41~50 等 17 个样方幼苗总数量和粪便重量密切相关，这些样方的

表 1 不同区域 50 个样方各环境因子基本统计参数
Table 1 Fundamental statistical parameters of environmental factors

指标 Parameter	均值 Average	平均偏差 Average deviation	极差 Range	方差 Variance	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
凋落物重量 Litter weight	8.653 2 g	5.799 4	24.400 0	47.609 2	6.899 9	0.797 4
粪便量 Faecal quantity	4.339 8 g	4.056 1	18.380 0	27.870 1	5.279 2	1.216 5
土壤有机质 Soil organic matter	27.941 0 g·kg ⁻¹	11.474 0	34.590 0	151.139 4	12.293 9	0.440 0
土壤pH Soil pH	7.507 8	0.291 4	1.440 0	0.128 9	0.359 0	0.047 8
土壤紧实度 Soil compactness	189.692 0 Pa	12.952 0	43.800 0	199.935 0	14.139 8	0.074 5

表 2 主要植物幼苗总数量与各环境因子之间的相关性分析
Table 2 Correlation analysis of seedling numbers and associated environmental factors

指标 Parameter	凋落物重量 Litter weight	粪便量 Faecal quantity	土壤有机质 Soil organic matter	土壤pH Soil pH	土壤紧实度 Soil compactness	幼苗数量 Seedling number
凋落物重量 Litter weight	1.00					
粪便量 Faecal quantity	−0.25	1.00				
土壤有机质 Soil organic matter	0.26	0.79**	1.00			
土壤pH Soil pH	−0.37**	−0.39**	−0.58**	1.00		
土壤紧实度 Soil compactness	−0.66**	0.49**	0.12	0.45**	1.00	
幼苗数量Seedling number	−0.35*	0.92**	0.65**	−0.19	0.62**	1.00

**, 极显著相关($P < 0.01$); *, 显著相关($P < 0.05$)。
**, Extremely significant correlation at the 0.01 level; *, Significant correlationat the 0.05 level.

幼苗数量主要采集于阴坡和平地，主要是由羊茅 (*Festuca ovina*)、蚤缀 (*Arenaria serpyllifolia*)、角果毛茛 (*Ceratocephalus orthoceras*)、绢蒿、串珠老鹳草 (*Geranium transversale*)、顶冰花 (*Gagea lutea*) 幼苗组成，可以认为这些物种为粪便主导影响的幼苗发生类型；而15、17、31~38等11个样方内幼苗主要和枯落物重量及土壤有机质密切相关，这些样方的幼苗数量主要采集于半阴坡和阴坡，主要由绢蒿、羊茅和庭荠 (*Alyssum desertorum*) 幼苗组成；其余1~10、21~30、39、40等22个样方位置在二维排序图的左上部，这些样方的幼苗数量主要采集于阳坡和半阳坡，主要由绢蒿、庭荠和针茅 (*Stipa capillata*) 组成，角果藜和叉毛蓬数量较少，这些物种幼苗发生主要受土壤紧实度和 pH 的

影响。
从 DCCA 排序图中可以看出，3 种幼苗发生类型中的两种是和粪便、枯落物以及土壤有机质有关，这两类样方数量占总样方数量的 56%，说明粪便、枯落物可为幼苗的发生提供良好的微环境条件，保证了种子落粒后萌发过程中所需要的水分条件，增加了土壤环境条件的异质性。同时粪便内所携带的经过家畜消化道作用后而排放出的大量种子，也增加了种子的输入数量，从而使幼苗总数量增加。而丰富的土壤有机质则有利于幼苗萌发和后续存活生长。以上环境要素不仅为幼苗输入创造条件，而且也增加了植物群落特征的异质性，这对草地小尺度上丰富格局的形成提供了环境和物质基础。

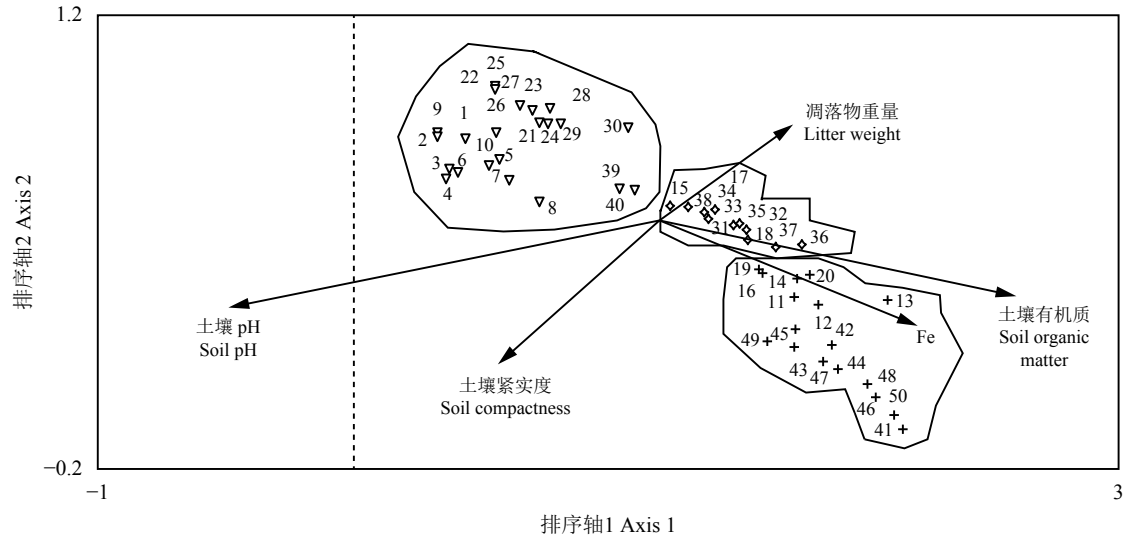


图 1 50 个样方的 DCCA 二维排序图

Figure 1 Two-dimensional DCCA ordination diagram of 50 quadrats

数字代表采样点: 1–10 为阳坡采样点; 11–20 为阴坡采样点; 21–30 为半阳坡采样点; 31–40 为半阴坡采样点; 41–50 为平地采样点。
1–10: sampling points of sunny slope; 11–20: sampling points of shady slope; 21–30: sampling points of semi-sunny slope; 31–40: sampling points of semi-shady slope; 41–50: sampling points of flat ground.

2.2 主要植物幼苗数量动态变化特征及成因分析

2.2.1 主要植物幼苗数量差异及动态变化特征

对绢蒿荒漠区 4 种主要植物在不同时间和坡向的幼苗数量进行二因素方差分析(表 3), 结果表明, 不同坡向上绢蒿幼苗、羊茅幼苗、庭荠幼苗、角果毛茛幼苗的数量差异均达到极显著水平($P<0.01$), 不同时间段, 除了角果毛茛外, 其他 3 种植物幼苗的数量与时间的差异均极显著($P<0.01$)。此外, 时间和坡向的交互作用对 4 种植物幼苗数量均有极显著的影响($P<0.01$)。由此说明, 时间和坡向均是影响这 4 种植物幼苗数量的重要因素。

对不同坡向的 4 种植物幼苗 4 月–11 月的发生数量进行统计并作数量动态变化拟合曲线, 结果表明, 在生长季内, 绢蒿幼苗数量在不同坡向上存在显著差别, 但其数量动态变化模式是一致的, 其变化过程为: 5 月 15 日至 6 月之间, 除了

半阳坡外, 其余坡向绢蒿幼苗数量呈现出峰值, 随后开始下降, 9 月份开始, 不同坡向的幼苗数量逐渐增加, 约在 10 月 15 日再次呈现出高峰, 随后降低, 呈现出明显的双峰变化, 且阳坡和半阳坡有利于绢蒿幼苗的生长(图 2)。阴坡有利于羊茅幼苗的生长, 幼苗在阳坡、半阴坡和平地的数量变化模式一致, 均符合线性模型, 而阴坡和半阳坡数量变化分别符合高斯模型和指数模型。角果毛茛幼苗主要生长在平地区域, 发生数量在生长季呈现“双峰”型。庭荠幼苗发生数量较少, 主要生长在阳坡和半阳坡, 平地次之。其中阳坡数量呈现春季和秋季数量多, 而夏季数量少的趋势, 半阳坡幼苗数量呈现“单峰”状态。

2.2.2 主要植物幼苗数量动态形成原因分析

对试验区 3 月–11 月份月平均温度和月降水量进行分析发现(图 3), 温度随时间的推移表现为先

表 3 4 种主要植物幼苗数量特征二因素方差分析
Table 3 Two-way ANOVA test showing seedling characteristics of the four main plant species

变异来源 Source	绢蒿 <i>Seriphidium transiliense</i>		羊茅 <i>Festuca ovina</i>		庭荠 <i>Alyssum desertorum</i>		角果毛茛 <i>Ceratocephalus orthoceras</i>	
	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
时间 Time	4.515	0.001 8**	4.960	0.001**	18.736	0.001**	1.123	0.377 1
坡向 Slope	4.366	0.007 2**	4.839	0.004 3**	12.447	0.002 7**	4.003	0.010 8**
时间 × 坡向 Time × slope	40.230	0.000 1**	4.865	0.000 1**	6.707	0.000 1**	383.487	0.000 1**

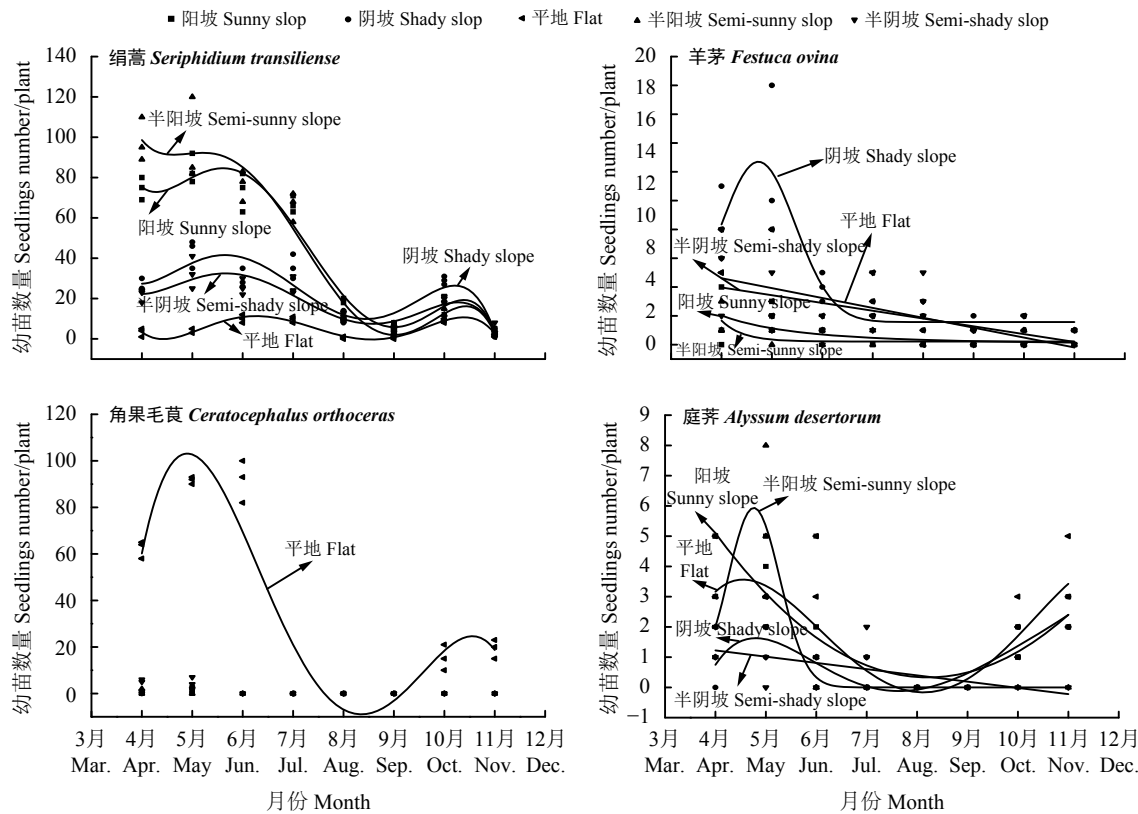


图 2 4 个主要物种的幼苗数量变化

Figure 2 Changes in quantity of the four plant seedlings at different times of year

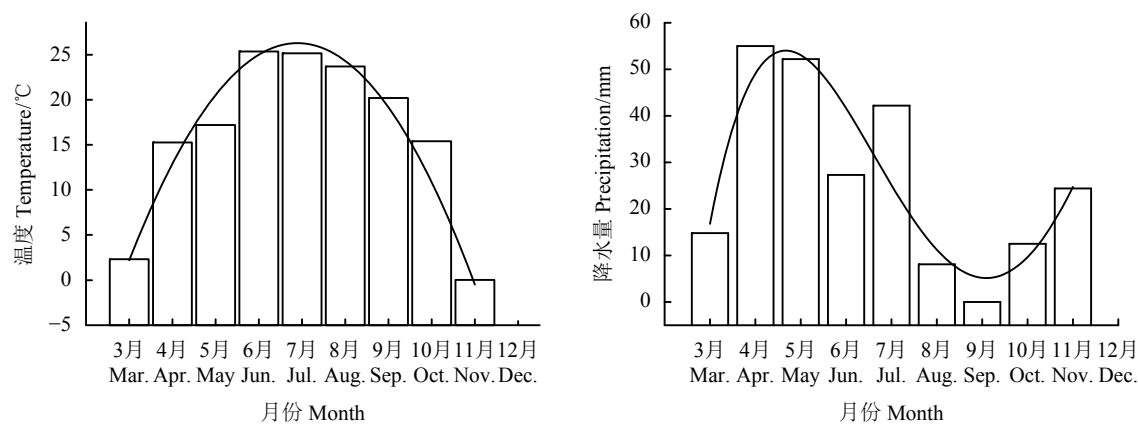


图 3 2016 年 3 月 – 11 月的月平均温度和月平均降水量

Figure 3 The average temperature and precipitation levels during March to November of 2016

增加后降低的趋势，其中 6、7 月份温度达到最高，但降水量随时间的推移表现为先增加后降低再增加的趋势，在 4、5 月份降水量偏多，加之有春季的积雪融水，为各类植物幼苗发生提供了充足的水分条件，从而出现“爆发性出苗”的现象。从 6 月份开始降水逐渐减少，至 9 月份降水量最低，气候极为干旱，从而导致幼苗出现“骤然性死亡”现象，此后，温度降低，降水量又逐渐增加，

温度和水分的改善势必有利于部分幼苗的第 2 次发育和新生幼苗发生。

为了探讨月平均温度和降水量对植物幼苗数量的影响，进行了相关性分析(表 4)，月平均降水量与 4 种幼苗的数量之间存在极显著正相关 ($P < 0.01$)，月平均温度与绢蒿幼苗数量存在极显著正相关 ($P < 0.01$)，与羊茅、角果毛茛和庭荠幼苗数量的相关性不显著 ($P > 0.05$)。由此可见，年内降水

表 4 降水与温度对主要植物幼苗数量动态变化特征的影响相关性分析
Table 4 Correlation analysis of the effects of precipitation and temperature on the quantity of plant seedlings

气候因子 Climate factor	月平均降水量 Average precipitation/mm	月平均温度 Average temperature/°C	回归方程 Regression equation	R^2	P
绢蒿幼苗 <i>Seriphidium transiliense</i>	0.842 1**	0.431 1**	$y=0.851x_1+0.934x_2-12.768$	0.916	< 0.01
羊茅幼苗 <i>Festuca ovina</i>	0.810 0**	0.110 0	$y=0.069x_1+0.026x_2-0.515$	0.670	< 0.01
角果毛茛 <i>Ceratocephalus orthoceras</i>	0.652 1**	0.201 4	$y=0.291x_1+0.211x_2-5.255$	0.467	< 0.01
庭荠 <i>Alyssum desertorum</i>	0.721 3**	-0.371 2	$y=0.04x_1-0.041x_2+0.823$	0.635	< 0.01

y, 幼苗数量; x_1 , 月平均降水量; x_2 , 月平均温度。

y: Number of seedlings; x_1 : Average monthly precipitation; x_2 : Average monthly temperature.

是影响各类植物幼苗数量动态的主要因素，温度作为附加条件对幼苗发生也有一定影响。进一步对幼苗数量降水、温度作回归分析，4种植物幼苗数量和两个气候因子之间的关系均符合线性回归模型。

3 讨论

3.1 土壤环境条件影响绢蒿荒漠植物幼苗发生类型

幼苗是植物生活史中最为关键的阶段，是连接植物代际间的纽带，幼苗数量不仅能反映亲代数量和质量特征，而且更为重要的是可预测未来种群动态和演变趋势^[13]。本研究利用 DCCA 排序分析方法，将绢蒿荒漠 50 个幼苗样方划分为 3 种发生类型，其中两种类型与粪便、枯落物以及土壤有机质密切相关。尽管幼苗发生数量和土壤 pH 相关性未达到显著水平(表 2)，但当考虑发生类型时发现，有 1 种幼苗发生类型与土壤 pH 和紧实度相关。众多研究表明，土壤的理化性质对植物的幼苗发生乃至群落结构类型起着决定性的作用。对植物群落或者幼苗发生类型产生显著影响的生境因子主要有土壤电导率、黏粒含量、有机质含量、凋落物、家畜粪便、土壤含水量和 pH 等^[14]。并且，由于区域内环境条件的异质性会导致幼苗或成年植物群落在空间内产生分异，从而产生幼苗数量和结构方面的不同类型。且不同发生类型的幼苗群落在结构组成和数量特征上存在本质差别。赵鹏对民勤绿洲荒漠过渡带的研究发现，不同类型植被群落空间分布的主导环境因子不尽相

同^[15]，这与本研究结果一致。

绢蒿荒漠土壤有机质含量较低，是幼苗输入并成功定居的限制因子之一，而荒漠区有机质的主要来源是凋落物和粪便的分解，植物幼苗对土壤有机质含量的变化反应非常敏感，从而会产生有机质主导的幼苗发生类型。有机质作为土壤主要的养分，对促进植物幼苗的生长发育起着关键的作用^[9,16]。粪便不仅可以增加土壤有机质、氮、钾、磷等元素和土壤水分，而且粪便内含有经过家畜消化道作用后的大量种子，增加了种子的输入数量，同时也为植物幼苗的生长与存活提供良好的环境^[17]。牛钰杰等^[18]通过放牧作用下高寒草甸群落物种分布与土壤因子关系的研究认为，放牧作用下土壤紧实度是影响群落物种分布格局的最关键因子，对荒漠区植物尤其是草本植物群落的发生和生态功能的发挥十分重要^[18-19]。土壤紧实度的增加会造成立地条件的变化，进而影响到种子的萌发和幼苗的定居。本研究 pH 主导下的幼苗发生类型样方内主要以耐盐碱的物种为主，随着 pH 的增加，耐盐碱物种的幼苗增加而其他物种数量减少。种子萌发环境中的 pH 会对其萌发行为产生显著的影响，这在很多有关种子萌发试验的文献中都有报道^[20-22]，在绢蒿荒漠中，阳坡及半阳坡的土壤 pH 要高于其他区域，在该区域所发生的植被类型则适应于高 pH 土壤环境，而幼苗的发生类型分类也明显的体现出这一点，样方中的绝大多数都分布在阳坡和半阳坡。有学者提出在碱性土壤中植物物种多样性分布与土壤 pH 不存在显著相关性^[23]，这与本研究结果相似，可能是由于植物长期生长在盐碱化的荒漠地区中，已经形成了良好的适应对策。

3.2 地形、水热条件是绢蒿荒漠幼苗数量动态变化的主导因素

植物在长期的进化发展过程中,逐渐形成了独特的繁殖策略,以增强其对异质生境的适应性^[24]。在绢蒿荒漠这样特殊的生境中,地形和气候因子的变化会导致植物幼苗发生动态变化。本研究发现坡向与不同植物幼苗数量均达到极显著水平,绢蒿幼苗在半阳坡生长最多,阳坡次之;羊茅幼苗在阴坡数量最多;角果毛茛整体上主要生长在平地上;庭荠数量虽在绢蒿荒漠区较少,但其主要生长在阳坡、半阳坡区域,充分说明不同的地形影响植物的组成与生长发育。然而地形是固定不变的因素,影响植物生长发育的可能是由于不同坡向的环境(土壤水分、土壤养分、土壤质地、风速、温度等)不同,不同坡向决定了表层土壤接受太阳辐射的量,造成土壤水分蒸发量的差异性,从而导致土壤水热再分配,进而营造出不同的微气候环境,故在不同坡向表现出不同的植物分布的变化规律^[25-28];也可能是因为4种植物对生态位的要求不同,植物面对不同生境所选择不同的生长策略。已有大量研究表明,地形主要是通过影响光照、水分进而影响植物生存条件的选择^[29-30]。

在荒漠区,不同时间段内降水和温度等气候条件波动剧烈,从而造成幼苗数量的显著差异^[31-32]。强烈的同胞竞争和波动剧烈的环境条件是绢蒿荒漠幼苗输入效率低下的主要原因^[33],但这种筛选对于荒漠区植物群落稳定性维持十分重要^[34]。因为荒漠区可利用资源的有限性对植物种群数量的扩展有严格限制。本研究中4种植物幼苗的发生规律总体上呈现春季“爆发性出苗”,夏季“骤然性死亡”的特点,同时在秋季又会以二次发育或者秋萌的形式形成一个幼年个体输入的峰值,这种幼年个体的输入方式是长期适应荒漠气候的结果。已有研究表明,无论是在亚热带地区内还是在暖温带地区内,温度和降水都是影响植物幼苗生长的显著

因子^[35]。De Almeida等^[36]通过光照和温度对刺芒幼苗萌发和生长的研究发现,适宜的温度会加速幼苗的萌发与生长,过高的温度会对幼苗的生长造成不利的影响。Shan等^[37]研究了西北地区降水量及频率对幼苗出苗及生长的影响,研究发现降水量及频率的增加显著地增加了幼苗的出苗率和生长率。光照和温度的变化在一定程度上也决定了土壤的含水量^[38]。绢蒿荒漠区早春气温回升快,积雪融化,降水量较多,土壤水分相对充足;秋季降水量逐渐升高。春秋两季水分和温度条件的适宜使植物幼苗集中发生,同时,在秋季还会因水热条件良好而产生秋萌现象。然而,夏季降水量较少,温度较高,导致幼苗地上部“骤然性死亡”,地上部生长停滞。由此可见,气温和水分对植被生产力的影响有显著的时空异质性,绢蒿荒漠典型的气候波动变化使其幼苗生长规律更为明显^[39-40]。

4 结论

1) 绢蒿荒漠幼苗的3种发生类型中有2种是与家畜粪便量、土壤有机质、凋落物密切相关,1种与土壤紧实度和pH有关,上述这些因素均是影响幼苗发生类型的主要驱动力。2) 不同坡向的主要植物幼苗发生数量存在极显著差异,同一坡向不同时间的幼苗发生数量也存在显著差异,且地形和时间对于幼苗数量的发生有显著的交互作用。各类植物幼苗由于植物本身的生物学特性和环境条件时空异质性,在发生类型和数量上也会存明显的差异。3) 年内生长季的降水量和气温变化决定了植物幼苗数量的动态变化,夏季的高温和低水分条件对各类植物幼苗有强烈的环境筛选作用,各类植物幼苗为了保证存活定居与荒漠区的温度、降水节律保持高度的同步性,幼苗数量动态与温度和降水有显著的相关性。因此,绢蒿荒漠幼苗在长期波动的气候条件下形成了鲜明的环境适应。

参考文献 References:

- [1] 孙会忠, 贺学礼. 中国绢蒿属植物种质资源及其开发利用现状. 西南林学院学报, 2006, 26(3): 67-70.
SUN H Z, HE X L. Germplasm resources and development and utilization status of *Seriphidium* in China. Journal of Southwest

- Forestry College, 2006, 26(3): 67-70.
- [2] 董乙强, 安沙舟, 孙宗玖, 杨合龙, 杨静. 禁牧对中度退化伊犁绢蒿荒漠植被特征的影响. 中国草地学报, 2016, 38(1): 93-99.
DONG Y Q, AN S Z, SUN Z J, YANG H L, YANG J. Effect of grazing exclusion on vegetation characteristics in moderately degraded desert grasslands of *Seriphidium transiliense*. Chinese Journal of Grassland, 2016, 38(1): 93-99.
- [3] 张锦春. 库姆塔格荒漠草地植被生态与环境变化. 兰州: 甘肃农业大学博士学位论文, 2015.
ZHANG J C. Relationships between desert steppe vegetation and environmental changes in Kumtag desert. PhD Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2015.
- [4] TIAN Y, TASHPOLAT T, LI Y. Causes of seedling mortality in desert for the small xeric tree. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2014, 29(6): 555-564.
- [5] JOHNSON B G, VERBURG P S. Plant species effects on soil nutrients and chemistry in arid ecological zones. *Oecologia*, 2016, 182(1): 1-19.
- [6] FAN D Q, ZHANG Y Q, QIN S G, WU B. Relationships between *Artemisia ordosica* communities and environmental factors following sand-dune stabilization in the Mu Us desert, northwest China. *Journal of Forestry Research*, 2017, 28(1): 1-10.
- [7] GONG X, BRUECK H, GIESE K M, ZHANG L, SATTELMACHER B, LIN S. Slope aspect has effects on productivity and species composition of hilly grassland in the Xilin River Basin, Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments*, 2008, 72(4): 483-493.
- [8] 王兴, 宋乃平, 杨新国, 陈林. 荒漠草原植物多样性分布格局对微地形尺度环境变化的响应. 水土保持学报, 2016, 30(4): 274-280.
WANG X, SONG N P, YANG X G, CHEN L. The response of spatial pattern of plant diversity to environmental factors in the scale of micro-landform in desert steppe. *Journal of Soil Water Conservation*, 2016, 30(4): 274-280.
- [9] 霍举颂, 刘卫国, 刘建国, 李宏侠, 徐悦, 玛丽娅·奴尔兰. 影响阜康荒漠-绿洲过渡带荒漠植物数量特征的土壤驱动力分析. 生态学报, 2017, 37(24): 8304-8313.
HUO J S, LIU W G, LIU J G, LI H X, XU Y, Maria·Nurlan. Ecological response and adaptation mechanism of *Phragmites australis* to changes in groundwater level. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(24): 8304-8313.
- [10] 王静. 两种菊科植物幼苗旱生结构、功能发育过程研究. 乌鲁木齐: 新疆大学硕士学位论文, 2002.
WANG J. The studies on the process of the xerophyte structure and function developing in two kinds of sprout of Compositae. Master Thesis. Urumqi: Xinjiang University, 2002.
- [11] 王继和, 廖空太, 俄有浩, 苏志珠, 翟新伟, 刘虎俊, 唐进年, 丁峰, 张锦春, 郑庆钟. 库姆塔格沙漠综合科学考察的初步结果. 甘肃科技, 2005, 21(10): 6-8.
WANG J H, LIAO K T, E Y H, SU Z Z, ZHAI X W, LIU H J, TANG J N, DING F, ZHANG J C, ZHENG Q Z. Preliminary results of hydrological investigation in Kumtagh desert. *Gansu Science and Technology*, 2005, 21(10): 6-8.
- [12] 王东江. 围栏封育当年对退化伊犁绢蒿荒漠草地群落特征的影响. 乌鲁木齐: 新疆农业大学硕士学位论文, 2009.
WANG D J. The impact of community characteristics on the degraded grassland of the *Seriphidium transiliense* in the first year of fencing. Master Thesis. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2009.
- [13] 刘亚琦, 刘加珍, 陈永金, 靖淑慧, 冯若昂, 毛甘霖. 黄河三角洲潮间带怪柳灌丛的格局及结构动态研究. 生态科学, 2017, 36(1): 153-158.
LIU Y Q, LIU J Z, CHEN Y J, JING S H, FENG R A, MAO G L. Research on distribution patterns and population structure of *Tamarix chinensis* in the intertidal zone of coastal wetlands in Yellow River Delta. *Ecological Science*, 2017, 36(1): 153-158.
- [14] 曹文梅, 刘小燕, 王冠丽, 罗艳云, 何韬, 刘廷玺. 科尔沁沙地自然植被与生境因子的 MRT 分类及 DCCA 分析. 生态学报, 2017, 36(2): 318-327.
CAO W M, LIU X Y, WANG G L, LUO Y Y, HE T, LIU T X. Combined analyses of MRT and DCCA on relationships between plant community distribution and ecological factors of Horqin sandy land. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36(2): 318-327.
- [15] 赵鹏. 民勤绿洲荒漠过渡带植被空间分布及其环境解释. 兰州: 甘肃农业大学硕士学位论文, 2014.

- ZHAO P. Spatial distribution of plant communities and environmental interpretation in Minqin oasis-desert ecotone. Master Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2014.
- [16] LI X R, JIA X H, DONG G R. Influence of desertification on vegetation pattern variations in the cold semi-arid grasslands of Qinghai-Tibet Plateau, North-west China. *Journal of Arid Environments*, 2006, 64(3): 505-522.
- [17] WANG S, LU W H, NARKES W, MA C H, ZHANG Q B, WANG C J. Recovery and germination of seeds after passage through the gut of Kazakh sheep on the north slope of the Tianshan Mountains. *Seed Science Research*, 2017, 27(1): 43-49.
- [18] 牛钰杰, 杨思维, 王贵珍, 刘丽, 杜国祯, 花立民. 放牧作用下高寒草甸群落物种分布与土壤因子的关系. *应用生态学报*, 2017, 28(12): 3891-3898.
- NIU Y J, YANG S W, WANG G Z, LIU L, DU G Z, HUANG L M. Relation between species distribution of plant community and soil factors under grazing in alpine meadow. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(12): 3891-3898.
- [19] 白佳君. 放牧对短花针茅荒漠草原土壤水分及植被分布格局的影响. 呼和浩特: 内蒙古农业大学硕士学位论文, 2010.
- BAI J J. The influence of grazing on soil moisture and vegetation distribution on the *Stipa breviflora* desert steppe. Master Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2010.
- [20] SULTANA S, ISLAM A K M N. Seedling growth of *Cassia tora*, *Cassia occidentalis* and *Cassia sophera* in relation to salinity and pH. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2015, 5(7): 601-607.
- [21] ZHANG W Q, CALVO-POLANCO M, CHEN Z C, ZWIAZEK J J. Growth and physiological responses of trembling aspen (*Populus tremuloides*), white spruce (*Picea glauca*) and tamarack (*Larix laricina*) seedlings to root zone pH. *Plant & Soil*, 2013, 373(1-2): 775-786.
- [22] EBRAHIMI E, ESLAMI S V. Effect of environmental factors on seed germination and seedling emergence of invasive *Ceratocarpus arenarius*. *Weed Research*, 2012, 52(1): 50-59.
- [23] SCHUSTER B, DIEKMANN M. Changes in species density along the soil pH gradient: Evidence from German plant communities. *Folia Geobotanica*, 2003, 38(4): 367-379.
- [24] 孟婷婷, 倪健, 王国宏. 植物功能性状与环境及生态系统功能. *植物生态学报*, 2007, 31(1): 150-165.
- MENG T T, NI J, WANG G H. Plant functional traits, environments and ecosystem functioning. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(1): 150-165.
- [25] 唐金, 李霞, 赵钊, 尹业彪. 荒漠植物多样性及优势种群空间格局对环境响应分析: 以古尔班通古特沙漠为例. *新疆农业科学*, 2010, 47(10): 2084-2090.
- TANG J, LI X, ZHAO Z, YIN Y B. Response of plant diversity in desert and dominant population spatial pattern to the environment: A case study of Gurbantunggut desert. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2010, 47(10): 2084-2090.
- [26] 何红艳. 亚高寒草甸植物群落物种: 多度分布模式随坡向和取样面积的变化. 兰州: 兰州大学硕士学位论文, 2015.
- HE H Y. The changes of plant species abundance distribution patterns of community with slope aspects and sampling area in subalpine meadow. Master Thesis. Lanzhou: Lanzhou University. 2015.
- [27] 宫晓. 基于群落系统发育对沿坡向梯度上亚高寒草甸群落构建的分析. 兰州: 兰州大学硕士学位论文, 2016.
- GONG X. The research of community assembly along a slope aspect gradient in an alpine meadow based on community phylogeny. Master Thesis. Lanzhou: Lanzhou University. 2016.
- [28] 牛钰杰, 周建伟, 杨思维, 王贵珍, 刘丽, 花立民. 坡向和海拔对高寒草甸山体土壤水热和植物分布格局的定量分解. *应用生态学报*, 2017, 28(5): 1489-1497.
- NIU Y J, ZHOU J W, YANG S W, WANG G Z, LIU L, HUA L M. Quantitative apportionment of slope aspect and altitude to soil moisture and temperature and plant distribution on alpine meadow. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(5): 1489-1497.
- [29] 区余端, 苏志尧, 李镇魁, 林义辉. 地形因子对粤北山地森林不同生长型地表植物分布格局的影响. *应用生态学报*, 2011, 22(5): 1107-1113.
- QU Y R, SU Z Y, LI Z K, LIN Y H. Effects of topographic factors on the distribution patterns of ground plants with different growth forms in montane forests in North Guangdong. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(5): 1107-1113.

- [30] 赵连春, 赵成章, 王小鹏, 文军. 秦王川湿地怪柳分布与环境因子的关系. 生态学报, 2018, 38(10): 3422-3431.
ZHAO L C, ZHAO C Z, WANG X P, WEN J. Interrelations between environmental factors and distribution of *Tamarix gansuensis* in Qinwangchuan wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(10): 3422-3431.
- [31] INMANNARAHARI F, OSTERTAG R, ASNER G P, CORDELL S, HUBBELL S P, SACK L. Trade-offs in seedling growth and survival within and across tropical forest microhabitats. *Ecology & Evolution*, 2014, 4(19): 3755-3767.
- [32] VORMISTO J, SVENNING J C, HALL P, BALSLEV H. Diversity and dominance in palm (Arecaceae) communities in terra firme forests in the western Amazon basin. *Journal of Ecology*, 2010, 92(4): 577-588.
- [33] 范燕敏, 靳瑰丽, 武红旗, 何龙, 梁娜. 伊犁绢蒿种群扩增与土壤养分的关系. 新疆农业大学学报, 2013(6): 462-466.
FAN Y M, JIN G L, WU H Q, HE L, LIANG N. Relationships between *Seriphidium transiliense* population diffusion and soil nutrition. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2013(6): 462-466.
- [34] 蒋腊梅. 荒漠生态系统植物物种共存机制研究. 乌鲁木齐: 新疆大学硕士学位论文, 2018.
JIANG L M. The study on the coexistence mechanism of plant species in desert ecosystem. Master Thesis. Urumqi: Xinjiang University. 2018.
- [35] 刘晓, 丛静, 卢慧, 蒋军, 李广良, 宿秀江, 王秀磊, 李迪强, 张于光. 典型阔叶林的物种多样性分布和环境解释. 生态科学, 2016, 35(4): 125-133.
LIU X, CONG J, LU H, JIANG J, LI G L, SU X J, WANG X L, LI D Q, ZHANG Y G. Distribution of species diversity and environmental interpretation of typical broadleaved forests. *Ecological Science*, 2016, 35(4): 125-133.
- [36] DE ALMEIDA J P N, LESSA B F D, PINHEIRO C L, GOMES F M, MEDEIROS S, SILVA C. Germination and development of *Amburana cearensis* seedlings as influenced by seed weight, light and temperature. *Acta Scientiarum: Agronomy*, 2017, 39(4): 525-533.
- [37] SHAN L S, ZHAO W Z, LI Y, ZHANG Z, XIE T G. Precipitation amount and frequency affect seedling emergence and growth of *Reaumuria soongarica* in northwestern China. *Journal of Arid Land*, 2018, 10(4): 574-587.
- [38] 刘冠成, 黄雅曦, 王庆贵, 邢亚娟. 环境因子对植物物种多样性的影响研究进展. 中国农学通报, 2018, 34(13): 83-89.
LIU G C, HUANG Y X, WANG Q G, XING Y J. Effects of environmental factors on plant species diversity: Research progress. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(13): 83-89.
- [39] 侯钰荣. 伊犁绢蒿生理生态适应性的研究. 乌鲁木齐: 新疆农业大学博士学位论文, 2010.
HOU Y R. Study on physiological and ecology adaptability of *Seriphidium transiliense*. PhD Thesis. Urumqi: Xinjiang Agricultural University. 2010.
- [40] YUAN W P, LUO Y Q, LI X L, LIU S G, YU G R, ZHOU T, BAHN M, BLACK A. Redefinition and global estimation of basal ecosystem respiration rate. *Global Biogeochemical Cycles*, 2011, 25(4): 1441-1458.

(责任编辑 张瑾)