

文章编号: 1008-2786-(2019)5-662-07

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000457

祁连山祁连圆柏土壤种子库海拔梯度分布格局

田晓萍*, 马 力, 占玉芳

(张掖市林业科学研究院, 甘肃 张掖 734000)

摘 要: 为了明确自然条件下祁连圆柏土壤种子库的组成及其垂直空间分布特征, 选取祁连山中段(海拔 2600 ~ 3400 m)的祁连圆柏(*Sabina przewalskii*)林为研究对象, 采用野外采样、室内试验和数据分析相结合的方法, 探讨自然条件下祁连圆柏土壤种子库的组成和分布特征。结果表明:(1)祁连山祁连圆柏土壤种子库中饱满种子、空壳种子、霉变种子、虫蛀种子占种子库种子总数的比例分别为 50.20%、32.33%、9.89%、2.80%; 但祁连圆柏种仁的饱满种仁率很低, 仅为 8.05%, 种仁干瘪率较高, 达 53.38%; 虫蛀种仁也占较大比例, 为 36.51%, 主要是由于圆柏大瘿小蜂(*Megastigmus sabinae*)在种子内危害所致。(2)随海拔高度的增加, 祁连圆柏土壤种子库种子密度分布趋于“单峰型”, 最大密度(110.1 ± 2.41 粒·m⁻²)出现在海拔 3200 m, 最小密度(55.16 ± 1.66 粒·m⁻²)出现在海拔 2600 m。(3)种子数量垂直分布特征为枯落物层 >0 ~ 5 cm 层 >5 ~ 10 cm 层, 即祁连圆柏土壤种子大量集中在枯落物层而无法与土壤有足够的接触, 表明自然条件下祁连圆柏土壤种子很难萌发。本研究补充和完善了祁连山祁连圆柏繁育研究, 为祁连圆柏天然更新障碍机制研究提供理论依据。

关键词: 祁连圆柏; 土壤种子库; 分布特征; 祁连山

中图分类号: S718.5

文献标志码: A

土壤种子库指一定体积土壤表面和土壤中有活力的、休眠及未休眠种子的总和^[1], 是森林种群定居、生存、繁衍、植物群落天然更新的物质基础^[2]。土壤种子库种子的数量、质量、时空动态格局及萌发过程对森林更新都具有重要影响^[3,4], 土壤种子库能够直接参与植被自然更新^[5]。近年来, 国外学者对土壤种子库的研究集中在土壤种子库种子萌发、幼苗生长^[6,7]及其在植被恢复中的作用等方面^[8-11]。国内相关研究多集中在不同种群、不同群落和不同地形的种子库研究等方面^[12-14]。在山地环境中, 海拔等地形因素通过改变能量平衡从而影响植被分布格局^[15], 而地上植被作为土壤种子库的主要种源, 其格局受地形影响, 也将直接影响土壤种子库^[16]。通过了解不同海拔高度土壤种子库种

子存活情况及种子库数量动态, 将有助于加深对群落发展有重要限制作用的环境因子或过程的认识^[17]。

祁连圆柏(*Sabina przewalskii*)是我国特有常绿针叶树。在祁连山林区, 以它为建群种的天然林主要分布在海拔 2500 ~ 3500 m 的阳坡、半阳坡上, 伴生树种少, 种群结构不完整, 幼苗严重不足, 种群呈衰退趋势, 天然更新十分困难^[18]。目前, 关于祁连山祁连圆柏林土壤种子库组成及其垂直空间分布的研究未见报道, 其沿海拔梯度的分布格局尚不清楚。因此, 通过研究祁连山不同海拔梯度祁连圆柏土壤种子库的组成和分布特征, 深入了解祁连圆柏的种子数量及种仁情况, 以期祁连山祁连圆柏天然更新障碍机制研究提供科学依据。

收稿日期 (Received date): 2018-10-09; **改回日期** (Accepted date): 2019-04-08

基金项目 (Foundation item): 甘肃林业科技计划项目(2016kj022)。[Forestry Science and Technology Planning Project of Gansu Province (2016kj022)]

作者简介 (Biography): 田晓萍(1981-), 女, 宁夏固原人, 副研究员, 主要研究方向: 森林生态学。[TIAN Xiaoping (1981-), female, born in Guyuan, Ningxia province, associate professor, research on forest ecology] E-mail: tianxiaoping8018@163.com.

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于祁连山自然保护区的天老池流域(38°25′18″~38°26′38″N, 99°54′00″~99°56′55″E)(见图 1)。海拔 2600~3450 m,林区 1 月均温-13.3℃,7 月均温 11.8℃,年平均气温为 0.5℃,无霜期 140 d 以下,年降水量 400.58 mm,年均蒸发量 1005.5 mm,年均相对湿度 58%,属典型的温带高寒半干旱气候。土壤主要为山地灰褐土。森林类型主要包括:青海云杉(*Picea crassifolia*)林,主要分布在海拔 2400~3400 m 的阴坡和半阴坡,与阳坡草场成犬牙状交错;祁连圆柏林呈小块状分布在海拔 2400~3400 m 的阳坡、半阳坡,有大面积灌丛、草甸与两大林型交错分布。灌木主要有金露梅(*Dasiphora fruticosa*)、箭叶锦鸡儿(*Caragana jubata*)、吉拉柳(*Salix gilashanica*)等。草本植物主要有垂穗披碱草(*Clinelumus nutans*)、黑穗苔草(*Carex atrata*)、短颖鹅观草(*Roegneria breviglumis*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)等。

1.2 研究方法

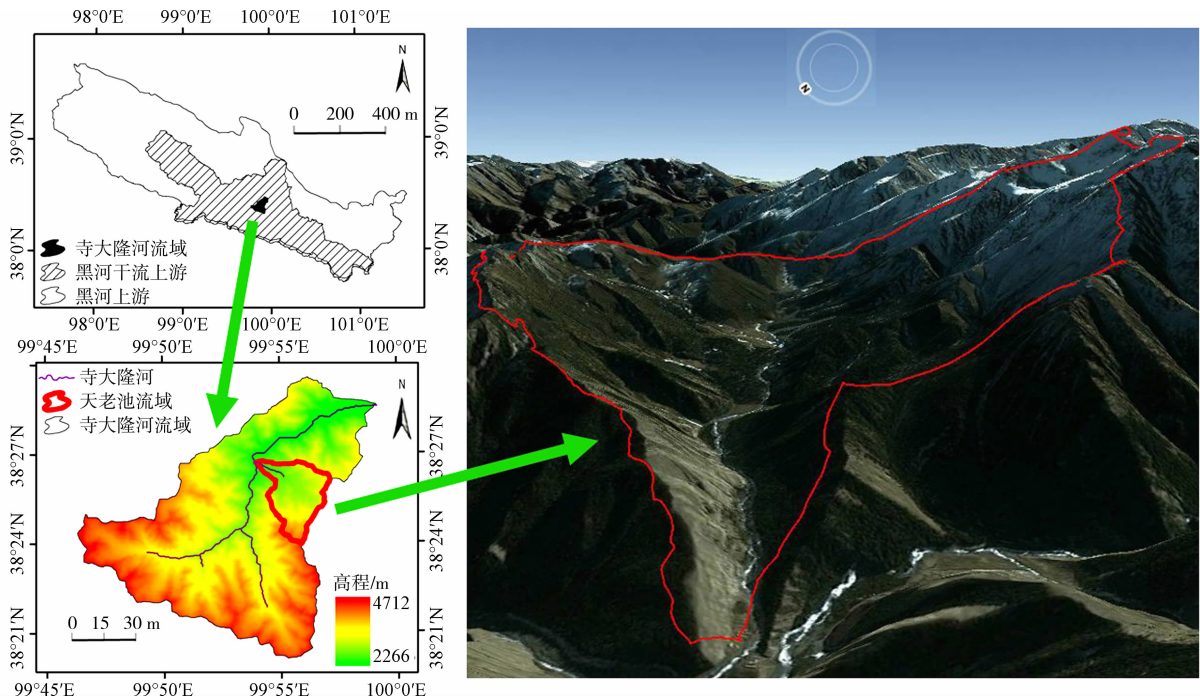
1.2.1 土壤种子库土样采集

2017 年 9 月下旬,在寺大隆向阳台生态监测站的天老池流域,选择阳坡祁连圆柏林,沿海拔梯度(2600~3400 m)每隔 200 m 设置一个典型样地(20 m×20 m),开展群落调查和更新层基本特征调查,共设置 5 个样地(表 1);在典型样地内随机选取 20 个小样方,每个小样方的面积为 30 cm×30 cm。在各小样方内,分 3 层采集土样,分别采集枯枝落叶层、0~5 cm 土层、5~10 cm 土层共 3 个层次的土壤种子库样品^[19],将采集的土壤种子库土样装入自封袋,做好编号,共采集土样 300 份。

表 1 样地基本特征

Tab. 1 Characteristics of sample plots

| 样地 | 海拔 /m | 坡度 /(°) | 坡位 | 坡向 | 平均树高 /m | 平均胸径 /cm | 人为干扰情况 |
|----|----------|------------|----|-----|------------|-------------|--------|
| 1 | 2600 | 28.56 | 下坡 | 东南坡 | 8.20 | 28.43 | 有(放羊) |
| 2 | 2800 | 19.42 | 中坡 | 西南坡 | 6.88 | 12.86 | 无 |
| 3 | 3000 | 30.05 | 下坡 | 南坡 | 5.68 | 18.78 | 少 |
| 4 | 3200 | 35.23 | 中坡 | 南坡 | 4.76 | 21.10 | 少 |
| 5 | 3400 | 20.34 | 上坡 | 南坡 | 5.66 | 29.00 | 严重(放牛) |



(图片来源:祁连山国家级自然保护区管理局官网)

图 1 研究区域位置示意图

Fig. 1 Location of study area in China

1.2.2 土壤种子库种子筛选及分类

采用网筛法分离土壤种子库中的祁连圆柏种子,并记录不同土层筛选出的饱满、空壳、干瘪、虫蛀(种皮有虫孔作为标准)以及霉烂种子数^[20]。另外随机选择部分外观饱满的种子,砸开种皮对种仁进行调查。

1.3 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS19.0 对数据进行统计分析。利用 SPSS19.0 分析软件对祁连圆柏种子的饱满率、空粒率、虫蛀率等指标进行单因素方差分析(one-way ANOVA)。采用 Excel 2003 软件作图。

2 结果与分析

2.1 祁连圆柏土壤种子库特征及组成

将采集的祁连圆柏种子以样地为单位,测量种子的形态和千粒重,并将所得种子分为完整、空壳、虫蛀、霉变、发育不全等 5 类,计算各类种子占种子总数的百分比(表 2)。经调查,本研究区祁连圆柏种子的百粒重约为 26.08 g,种子纵、横径分别为 8.53 mm 和 7.38 mm。由表 2 可以看出,祁连圆柏种子的空壳率非常高,其平均空壳率为 32.33%,最高 40.36%。此外,祁连圆柏饱满种子占 50.20%,霉变率较低,平均为 9.89%,祁连圆柏种子虫蛀率平均为 2.80%。同时,祁连圆柏种子干瘪率较高,其平均值为 7.15%,此类种子发育不全,种子的种皮很软,木质化程度低,胚结构不完整,种皮稚嫩。由表 3 可知,不同海拔高度祁连圆柏种子饱满率、空壳、虫蛀、霉变及干瘪率的差异均极显著($P<0.01$)。与其他海拔高度的种子相比较,海拔 2800 m 祁连圆柏种子的空壳率和虫蛀率较高,海拔 3400 m 祁连圆柏种子的干瘪率最高。

2.2 祁连圆柏土壤种子库垂直分布特征

图 2 为祁连圆柏土壤种子库的垂直分布图,可以看出祁连山祁连圆柏土壤种子库中的种子主要分布在枯枝落物层,5 个海拔梯度平均种子数量垂直分布特征为:枯落物层>0~5 cm 层>5~10 cm 层,枯落物层和 0~5 cm 土层是祁连圆柏土壤种子库的关键区域,分布超过总量 88% 的种子,其中枯落物层占 61.7%,5~10 cm 土层仅占 11.4%。同一海拔高度,最多有 83.3% 的种子留存于枯枝落叶层(3200 m),5~10 cm 土壤层留种量比较小,最少的仅有 5.0%(2600 m)。但在部分样地内(样地 5),深层种子数量比较多,这可能与林内放牧有关。

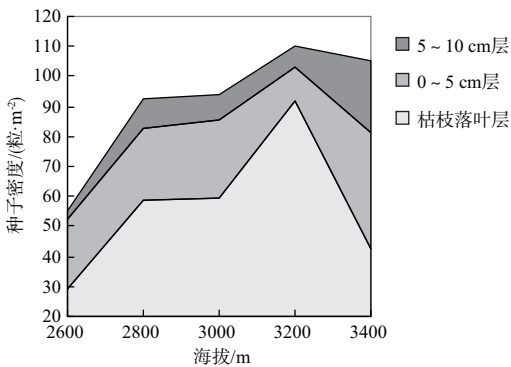


图 2 不同海拔梯度祁连圆柏土壤种子库垂直分布特征

Fig. 2 The vertical distribution characteristics of the *S. przewalskii* soil seed bank in different elevation

从表 3 和表 4 可知,完整种子在枯枝落叶层占较大比例,达到 57.09%,5~10 cm 土层完整种子数量最少,不同土层间完整种子数量之间的差异显著($P=0.0427$);土层越深空壳种子和霉变种子越多,5~10 cm 土层空壳种子比例达到 42.55%,但不同土层间的空壳种子和霉变种子的差异均不显著

表 2 不同海拔高度祁连圆柏种子组成百分比(平均值±标准差)

Tab. 2 The seeds composition of *S. przewalskii* at different elevation (mean±SD)

| 海拔/m | 饱满率/% | 空壳率/% | 虫蛀率/% | 霉变率/% | 干瘪率/% |
|------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| 2600 | 65.64±0.027 | 38.07±0.031 | 0.18±0.118 | 7.07±0.031 | 2.03±0.013 |
| 2800 | 40.95±0.019 | 40.36±0.012 | 5.45±0.033 | 6.02±0.009 | 7.23±0.022 |
| 3000 | 44.96±0.022 | 38.46±0.025 | 4.73±0.010 | 11.26±0.029 | 0.57±0.021 |
| 3200 | 63.65±0.560 | 11.62±0.123 | 0.50±0.041 | 14.58±0.053 | 9.09±0.014 |
| 3400 | 35.84±0.561 | 33.16±0.062 | 3.17±0.033 | 10.53±0.022 | 16.83±0.022 |

表 3 祁连圆柏种子组成在海拔高度和土层深度上的
显著性结果

Tab.3 Significant results of seed composition of *S. przewalskii*
in elevation and soil-layer depth

| 指标 | P 值 | |
|--------|------------------|------------------|
| | 海拔高度 | 不同土层 |
| 完整种子 | $P = 0.001^{**}$ | $P = 0.0427^{*}$ |
| 空壳种子 | $P = 0.001^{**}$ | $P = 0.1598$ |
| 虫蛀种子 | $P = 0.001^{**}$ | $P = 0.0762$ |
| 霉变种 | $P = 0.001^{**}$ | $P = 0.1312$ |
| 发育不全种子 | $P = 0.001^{**}$ | $P = 0.6537$ |

注：* 表示显著，** 表示极显著。

(P 值分别为 0.1598 和 0.1312); 虫蛀种子在 0 ~ 5 cm 土层分布较多, 而在 5 ~ 10 cm 土层未见其存在; 0 ~ 5 cm 土层发育不全种子数量最多, 其次为 5 ~ 10 cm 土层, 枯枝落叶层分布最少, 但不同土层间的差异不显著($P = 0.6537$)。

2.3 祁连圆柏土壤种子密度的海拔梯度分布

随海拔高度的增加, 祁连圆柏土壤种子库种子密度呈现单峰分布格局, 种子密度最大值 110.1 ± 2.41 粒 \cdot m^{-2} 出现在海拔 3200 m, 其次为祁连圆柏分布的海拔上线(3400 m), 其种子密度为 105.56 ± 0.32 粒 \cdot m^{-2} , 种子密度最小值 55.16 ± 1.66 粒 \cdot m^{-2} 出现在海拔 2600 m, 其中有 47.2% 的种子分布于海拔 3200 ~ 3400 m(图 2)。

表 4 不同土层深度祁连圆柏种子组成百分比(平均值 \pm 标准差)

Tab.4 The seed composition of *S. przewalskii* in different soil-layer depth (mean \pm SD)

| 土层深度 | 完整种子/% | 空壳种子/% | 虫蛀种子/% | 霉变种子/% | 发育不全种子/% |
|-----------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 枯枝落叶层 | 57.09 ± 0.181 | 27.51 ± 0.172 | 1.25 ± 0.025 | 6.90 ± 0.058 | 7.25 ± 0.074 |
| 0 ~ 5 cm | 37.81 ± 0.112 | 28.51 ± 0.174 | 6.54 ± 0.071 | 15.84 ± 0.069 | 11.30 ± 0.124 |
| 5 ~ 10 cm | 32.98 ± 0.119 | 42.55 ± 0.229 | 0.00 ± 0.000 | 15.96 ± 0.138 | 8.51 ± 0.058 |

表 5 不同海拔高度祁连圆柏种仁组成百分比(平均值 \pm 标准差)

Tab.5 The seed kernel composition of *S. przewalskii* at different altitude (mean \pm SD)

| 海拔/m | 种仁总数 | 饱满率/% | 虫蛀率/% | 干瘪率/% | 霉变率/% |
|------|------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 2600 | 67 | 1.48 ± 0.026 | 41.78 ± 0.014 | 53.73 ± 0.013 | 2.97 ± 0.019 |
| 2800 | 119 | 5.05 ± 0.028 | 48.74 ± 0.017 | 39.49 ± 0.054 | 6.73 ± 0.026 |
| 3000 | 201 | 10.45 ± 0.025 | 40.79 ± 0.026 | 48.76 ± 0.029 | 0.09 ± 0.022 |
| 3200 | 188 | 10.11 ± 0.036 | 38.84 ± 0.040 | 50.53 ± 0.025 | 0.54 ± 0.035 |
| 3400 | 129 | 13.16 ± 0.028 | 12.40 ± 0.039 | 74.40 ± 0.046 | 0.05 ± 0.013 |

2.4 祁连圆柏土壤种子种仁情况

表 5 显示了各类种仁占种仁总数的百分比。由表 5 可知, 祁连圆柏饱满种仁的比例很低, 平均值仅为 8.05%; 种仁干瘪率非常高, 其平均值达到 53.38%; 另外, 虫蛀种仁也占到了 36.51%, 这与仅从种子外观得到的统计数据有很大差异。另外, SPSS 单因素分析表明, 不同海拔高度祁连圆柏种子种仁的饱满率、虫蛀、干瘪及霉变率的差异极显著($P < 0.01$)。与其他海拔高度的种仁相比较, 海拔 2800 m 祁连圆柏种子的空粒率较高, 海拔 3400 m 祁连圆柏种子的干瘪率最高。

不同土层深度祁连圆柏种子质量的差异如图 3 所示。可见, 各土层干瘪种仁、虫蛀种仁占有很大比例; 5 ~ 10 cm 土层的完好种仁较其他土层多, 其次

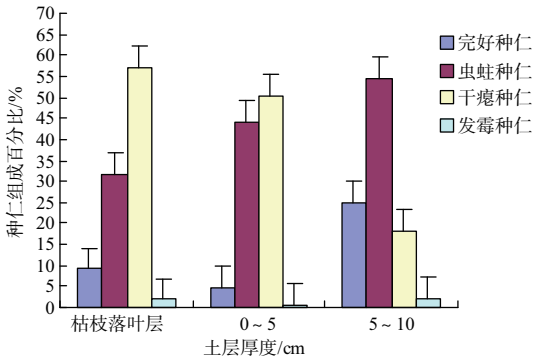


图 3 不同土层深度祁连圆柏种子质量特征

Fig.3 The seed quality characteristics of *S. przewalskii*
in different soil-layer depth

为枯枝落叶层, 0 ~ 5 cm 土层的完好种仁最少。其中, 枯枝落叶层和 0 ~ 5 cm 土层干瘪种仁最多, 分别占种仁总数的 57.02% 和 50.27%, 其次为虫蛀种仁 (分别占种仁总数的 31.87% 和 44.26%), 完好种仁仅占种仁总数的 9.22% 和 4.92%; 5 ~ 10 cm 土层的虫蛀种仁最多, 占种仁总数的 54.55%, 完好种仁仅占种仁总数的 25.00%, 干瘪种仁为 18.18%; 各土层深度霉变种仁的比例都最小。

3 结论与讨论

3.1 祁连圆柏土壤种子库组成特征

自然条件下, 祁连圆柏主要通过种子繁殖进行自然更新, 其土壤种子库是种群发展及遭破坏后恢复的基础。祁连山祁连圆柏土壤种子库中完好种子所占比例最高 (50.20%)、空壳种子次之 (32.33%)、霉变种子 (9.89%) 和虫蛀种子 (2.8%) 的比例较低, 但其饱满种仁率很低 (8.05%), 种仁干瘪率非常高 (53.38%), 虫蛀种仁也占较大比例 (36.51%), 这主要是由于圆柏大瘿小蜂 (*Megastigmus sabinae*) 在祁连圆柏种子内的危害所致。据吕东等^[21]研究, 圆柏大瘿小蜂以幼虫在祁连圆柏健康球果内蛀食胚乳, 并随球果同步发育, 致使种子成熟后有果无仁, 造成种子质量严重下降。造成种子空壳的原因主要有种子萌发、种子败育等^[12, 14]。

3.2 祁连圆柏土壤种子库垂直分布特征

垂直方向上, 随着土层深度的增加, 祁连圆柏土壤种子库中种子数量逐渐减小。枯落物层和 0 ~ 5 cm 土层是祁连圆柏土壤种子库的关键区域, 分布超过总量 88% 的种子, 其中枯落物层占 61.7%。对于大多数植物, 土壤种子库中的种子多集中在枯枝落叶层^[22-25], 有研究表明落于枯落物上的短命种子由于它们无法与土壤接触, 而被枯落物掩埋, 或被苔藓挤占生存空间^[26], 从而阻碍了种子库种子的萌发和生长, 影响植物天然更新。而大部分种子位于枯枝落叶层, 也增大了其被地上动物取食的危险, 影响其天然更新。但在部分样地内, 深层种子数量比较多, 可能是由于降水、重力作用及动物践踏等原因导致了土壤种子的二次扩散^[22]。另外, 土层越深空壳种子和霉变种子越多, 不同土壤深度完好种仁占有的比例不同, 5 ~ 10 cm 土层的完好种仁较其他土层

的多, 其次为枯枝落叶层, 0 ~ 5 cm 土层的完好种仁最少; 各土层干瘪种仁、虫蛀种仁均占有很大比例。有研究表明, 干瘪种子有少量发芽, 但是幼苗存活率几乎为零^[22], 这可能与种子萌发及土壤温、湿度等环境有关, 具体原因还有待与进一步研究。

3.3 祁连圆柏土壤种子库海拔梯度分布特征

随海拔高度的增加, 祁连圆柏土壤种子库的种子密度呈现单峰型分布格局, 密度最大值出现在中海拔 (3200 m), 这与前人的研究结果一致^[15, 23]。在山地环境中, 海拔、坡向等地形因素, 既有其特定的生态作用, 也受一定的地形复合体的影响, 地形要素通过改变能量的平衡而影响土壤种子库变化^[15]。另外, 海拔高度对种子和种仁组成的影响较大, 不同海拔高度祁连圆柏种子、种仁的饱满率、虫蛀、干瘪及霉变率的差异极显著。与其他海拔高度的种仁相比较, 海拔 2800 m 祁连圆柏种子及其种仁的空粒率较高, 海拔 3400 m 祁连圆柏种子及其种仁的干瘪率最高, 这可能与高海拔地段的热量和水分等生境有关。因此, 在分析祁连圆柏天然更新障碍机制时应考虑枯枝落叶层、海拔高度、温湿度等生境和动物践踏等干扰的影响, 有关该方面的研究需要进一步开展。

参考文献 (References)

- [1] 白文娟, 焦菊英. 土壤种子库的研究方法综述[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(6): 195 - 198. [BAI Wenjuan, JIAO Juying. A review on the research methods of soil seed bank[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(6): 195 - 198]
- [2] 邢旭明, 马晓东, 张元明. 古尔班通古特沙漠生物土壤结皮对土壤种子库多样性与分布特征的影响[J]. 生态学杂志, 2016, 35(3): 612 - 620. [XING Xuming, MA Xiaodong, ZHANG Yuanming. Effects of biological soil crusts on soil seed bank diversity and distribution characteristics in Gurbantunggut Desert[J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35(3): 612 - 620]
- [3] 张雪, 董文婧, 申仕康, 等. 湖滨带土壤种子库研究进展[J]. 湿地科学, 2016, 14(1): 97 - 102. [ZHANG Xue, DONG Wenjing, SHEN Shikang, et al. Studies on soil seed bank of Lakeside zone: a review[J]. Wetland Science, 2016, 14(1): 97 - 102]
- [4] 陈永富. 森林天然更新障碍机制研究进展[J]. 世界林业研究, 2012, 25(2): 41 - 45. [CHEN Yongfu. Research progress on barriers of forest natural regeneration[J]. World Forestry Research, 2012, 25(2): 41 - 45]
- [5] WILLIAMS L K, KRISTIANSEN P, SINDEL B M, et al. Quantifying the seed bank of an invasive grass in the sub-Antarctic:

- seed density, depth, persistence and viability [J]. Biological Invasions, 2016, **18**(7): 2093–2106.
- [6] CUI Lijuan, LI Wei, ZHAO Xinsheng, et al. The relationship between standing vegetation and the soil seed bank along the shores of Lake Taihu, China[J]. Ecological Engineering, 2016, **96**(SI): 45–54.
- [7] WANG Guodong, WANG Ming, LU Xianguo, et al. Effects of farming on the soil seed banks and wetland restoration potential in Sanjiang Plain, Northeastern China [J]. Ecological Engineering, 2015, **77**: 265–274.
- [8] QIAN Jianqiang, LIU Zhimin, HATIER J, et al. The vertical distribution of Soil Seed bank and its restoration implication in an active sand dune of northeastern Inner Mongolia, China [J]. Land Degradation & Development, 2016, **27**(2): 305–315.
- [9] LI X, JIANG D, ZHOU Q, et al. Soil seed bank characteristics beneath an age sequence of *caragana microphylla* shrubs in the horqin sandy land region of northeastern China [J]. Land Degradation & Development, 2014, **25**(3): 236–243.
- [10] HE Mengxuan, LI Hongyuan, MO Xunqiang. Optimization of application parameters of soil seed bank in vegetation recovery via response surface methodology [J]. Ecological Engineering, 2015, **84**: 362–369.
- [11] PERES S. Saving the gene pool for the future: Seed banks as archives [J]. Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences, 2016, **55**: 96–104.
- [12] 哈丽雅, 岳永杰, 李钢铁, 等. 浑善达克沙地沙地榆土壤种子库特征与动态规律研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2013, **27**(11): 62–68. [HA Liya, YUE Yongjie, LI Gangtie, et al. Characteristic and dynamic law of soil seed bank of sand elm in Qindag Sandy Land [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, **27**(11): 62–68]
- [13] 曾加芹, 卫敏, 常占军, 等. 不同退化程度下川滇高山栎群落土壤种子库特征研究 [J]. 安徽农学通报, 2013, **19**(14): 25–26. [ZENG Jiaqin, WEI Min, CHANG Zhanjun, et al. Characteristics of soil seed bank under different degradation degree of *Quercus aquifolioides* community [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2013, **19**(14): 25–26]
- [14] 金屿淞, 李慧仁, 张培林. 天然偃松土壤种子库空间分布研究 [J]. 林业调查规划, 2015, **40**(4): 30–33. [JIN Yusong, LI Huiren, ZHANG Peilin. Soil seed bank spatial distribution of natural *Pinus pumila* [J]. Forest Inventory and Planning, 2015, **40**(4): 30–33]
- [15] 黄瑞灵, 周华坤, 刘泽华, 等. 坡向与海拔对青海省拉鸡山不同植被土壤种子库的影响 [J]. 生态学杂志, 2013, **32**(10): 2679–2686. [HUANG Ruiling, ZHOU Huakun, LIU Zehua, et al. Effects of slope aspect and altitude on the soil seed bank under different vegetations in Laji Mountains of Qinghai Province, Northwest China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, **32**(10): 2679–2686]
- [16] 葛斌杰, 杨永川, 李宏庆. 天童山森林土壤种子库的时空格局 [J]. 生物多样性, 2010, **18**(5): 489–496. [GE Binjie, YANG Yongchuan, LI Hongqing. Spatial and temporal patterns of natural forest soil seed banks on Tiantong Mountain [J]. Biodiversity Science, 2010, **18**(5): 489–496]
- [17] LECK MA, PARKER VT, SIMPSON RL. Ecology of soil seed banks [M]. London: Academic Press, 1989: 118–122.
- [18] 田晓萍, 马力, 占玉芳. 祁连山北坡中段祁连圆柏群落学特征的研究 [J]. 西北林学院学报, 2015, **30**(2): 77–83. [TIAN Xiaoping, MA Li, ZHAN Yufang. Community characteristics of *Sabina przewalskii* in northern slopes of Qilian mountains [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, **30**(2): 77–83]
- [19] 吴春燕, 许洋瑜, 陈永富, 等. 海南霸王岭陆均松天然更新土壤种子库研究 [J]. 林业科学研究, 2018, **31**(2): 83–91. [WU Chunyan, XU Yangyu, CHEN Yongfu, et al. Study on soil seed bank of *Dacrydium pierrei* Natural Regeneration in Bawangling, Hainan, China [J]. Forest Research, 2018, **31**(2): 83–91]
- [20] 朱晨曦, 刘志刚, 于洋洋, 等. 杉木人工林种子雨组成和季节动态 [J]. 应用生态学报, 2018, **29**(5): 1515–1522. [ZHU Chenxi, LIU Zhigang, YU Yangyang, et al. Composition and seasonal dynamics of seed rain in Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantation [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, **29**(5): 1515–1522]
- [21] 吕东, 李秉新, 张宏斌, 等. 圆柏大瘿小蜂羽化的生态学特性及幼虫空间分布 [J]. 应用昆虫学报, 2017, **54**(1): 169–174. [LÜ Dong, LI Bingxin, ZHANG Hongbin, et al. Ecological characteristics of *Megastigmus sabinae* Xu et He and the spatial distribution of its larvae [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2017, **54**(1): 169–174]
- [22] 方近圻. 岷江上游高山林线附近优势树种土壤种子库和幼苗更新特征的研究 [D]. 四川: 中国科学院研究生院(成都生物研究所), 2006. [FANG Jinqi. Soil seed banks and seedling recruitments of the dominant tree species near the alpine treeline ecotone on the upper reaches of Minjiang River, China [D]. Sichuan: Graduate University of Chinese Academy of Sciences (Chengdu Institute of Biology), 2006]
- [23] 李华东, 潘存德, 张国林, 等. 天山中部天山云杉林土壤种子库海拔梯度分布格局 [J]. 新疆农业科学, 2012, **49**(8): 1373–1380. [LI Huadong, PAN Cunde, ZHANG Guolin, et al. Distribution patterns of soil seed bank of *Picea schrenkiana* forests along the Altitudinal Gradient in the central section of Tianshan Mountains, Xinjiang [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2012, **49**(8): 1373–1380]
- [24] 邹林林. 不同海拔梯度蒙古扁桃土壤种子库研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2009. [ZOU Linlin. Study on the seed bank of *Prunus Mongolica* almond at different altitudes [D]. Hohhot: Inner Mongolia Normal University, 2009]

- [25] 韦小丽, 孟宪帅, 邓兆. 珍稀树种花榈木种子繁殖生态学特性与濒危的关系[J]. 种子, 2014, 33(1): 82 - 86. [WEI Xiaoli, MENG Xianshuai, DENG Zhao. Relation between being endangered and seed reproductive ecology of a rare species *Ormosia henryi*[J]. Seed, 2014, 33(1): 82 - 86]
- [26] DONATH T W, ECKSTEIN R L. Effects of bryophytes and grass litter on seedling emergence vary by vertical seed position and seed size[J]. Plant Ecology, 2010, 207(2): 257 - 268.

Distribution Patterns of Soil Seed Bank of *Sabina przewalskii* Along Altitudinal Gradient in the Qilian Mountains, China

TIAN Xiaoping, MA Li, ZHAN Yufang

(Zhangye Academy of Forestry, Zhangye, Gansu 734000, China)

Abstract: In order to clarify the composition and vertical spatial distribution characteristics of soil seed bank of *Sabina przewalskii* under natural conditions, the *S. przewalskii* forest at an altitude from 2600 m to 3400 m in the middle of Qilian Mountains were chosen as the researched objects. The combination of field sampling, laboratory experiment and data analysis were used to reveal the composition and distribution characteristics of soil seed bank of *S. przewalskii*. The results indicated that: (1) the proportion of plump seeds, empty seeds, mildewed seeds, and the infested rate in the soil seed bank of *S. przewalskii* were 50.41%, 32.33%, 9.9% and 3.45% respectively. However, the plump seed kernels rate (8.05%) was very low, while the shriveled seed kernel rate (53.39%) and the insect-eating seed kernel rate (36.51%) were higher. Additionally, the insect-eating seed kernel was mainly caused by the serious damage of *Megastigmus sabinae* within seeds. (2) As the altitude increased, the seed density distribution of *S. przewalskii* forests soil seed bank tended to be single-peak pattern, and the maximum density ($110.1 \pm 2.41 \text{ seeds} \cdot \text{m}^{-2}$) was at the altitude of 3200 m, while the minimum density ($55.16 \pm 1.6 \text{ seeds} \cdot \text{m}^{-2}$) was at the altitude of 2600 m. (3) The vertical distribution of seed quantity was ordered as followed: litter layer > 0 ~ 5 cm layer > 5 ~ 10 cm layer. Being localized in the litter layer, the majority of soil seed of *S. przewalskii* did not have sufficient contact with the soil. And consequently, it was very difficult for *S. przewalskii* to germinate under natural conditions. This study enriched the breeding research of *S. przewalskii* and provided a possible explanation for the natural renewal disorder of *S. przewalskii* in Qilian Mountains.

Key words: *Sabina przewalskii*; soil seed bank; distribution characteristics; Qilian Mountains