



引用格式: 管岳, 申文靖, 陆彪, 等. 塔额盆地野果林不同居群野扁桃土壤种子库及幼苗更新研究[J]. 西北植物学报, 2024, 44(6): 0961-0967.
[GUAN Y, SHEN W J, LU B, et al. Study on soil seed bank and seedling regeneration of different populations of *Amygdalus ledebouriana* in wild fruit forest in Ta'e Basin[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2024, 44(6): 0961-0967.] DOI: 10.7606/j.issn.1000-4025.20230734

塔额盆地野果林不同居群野扁桃 土壤种子库及幼苗更新研究

管岳¹, 申文靖², 陆彪³, 王妍欣¹,
阿克居力得孜·努尔改里得¹, 周龙^{1*}

(1 新疆农业大学园艺学院, 乌鲁木齐 830052; 2 喀什理工职业技术学院, 新疆莎车 844700; 3 新疆特克斯县林业草原局, 新疆特克斯 835500)

摘要 【目的】明确新疆野扁桃土壤种子库及幼苗更新特征, 探究影响野扁桃种群更新受限因子。【方法】以新疆塔额盆地的野扁桃为对象, 通过野外样地调查、土样采集及母株下幼苗数量、级别统计等方法对新疆野扁桃土壤种子库及幼苗更新进行研究。【结果】(1) 野扁桃土壤种子库种子平均密度为 96.45 粒/m², 托里居群完整种子密度最大, 裕民居群被啃食种子密度最大, 虫蛀种子仅在塔城居群出现; (2) 野扁桃种子主要分布在枯枝落叶层, 占种子总量的 56.29%, S₂(0—5 cm) 土层占 29.07%, S₃(5—10 cm) 土层占 14.65%, 土壤种子水平扩散距离与野扁桃所处坡度成正比; (3) 调查的野扁桃幼苗中未发现实生苗, I 级苗占幼苗总数的 51.12%, 母株基部 50 cm 内的范围是野扁桃幼苗集中分布区域。【结论】野扁桃土壤种子库分布特征表现为近母株及地表, 幼苗更新也为近母株分布。自然条件下, 被啃食种子、虫蛀种子和生态位缺失是野扁桃实生苗无法萌发、实生更新受限转而进行萌生更新的主要原因。

关键词 野扁桃; 塔额盆地; 土壤种子库; 幼苗更新

中图分类号 S662.1 文献标志码 A

Study on soil seed bank and seedling regeneration of different populations of *Amygdalus ledebouriana* in wild fruit forest in Ta'e Basin

GUAN Yue¹, SHEN Wenjing², LU Biao³, WANG Yanxin¹,
Akejulidezi Nurgailide¹, ZHOU Long^{1*}

(1 College of Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2 Kashgar Polytechnic Vocational and Technical College, Shache, Xinjiang 844700, China; 3 Xinjiang Tekes County Forestry Grassland Bureau, Turks, Xinjiang 835500, China)

Abstract [Objective] The study aims to investigate the soil seed bank and seedling regeneration characteristics of *Amygdalus ledebouriana* in Xinjiang, and to explore the limiting factors affecting the population

收稿日期: 2023-11-16; 修改稿收到日期: 2024-01-17

基金项目: 2022 自治区高校基本科研业务费项目(XJEDU2022Z004); 第三次新疆综合科学考察课题项目(2021xjkk0501)

作者简介: 管岳(1999—), 男, 硕士, 主要从事果树种质资源及栽培生理研究。E-mail: guanyue20210321@126.com

* 通信作者: 周龙, 教授, 主要从事果树种质资源及栽培生理研究。E-mail: zhoulong2004@126.com

regeneration of *A. ledebouriana*. [Methods] *A. ledebouriana* in the Ta'e Basin of Xinjiang was used as the research object, and the soil seed bank and seedling regeneration were studied by means of field plot investigation, soil sample collection, and seedling number and grade statistics under the mother plant. [Results] (1) The average density of seeds in the soil seed bank of *A. ledebouriana* was 96.45 m². The complete seed density of the Tuoli population was the highest, and the density of seeds eaten by the Yumin population was the highest, while the insect-eaten seeds only appeared in the Tacheng population. (2) The seeds of *A. ledebouriana* were mainly distributed in the litter layer, accounting for 56.29% of the total seeds, S2 (0—5 cm) soil layer accounted for 29.07%, and S3 (5—10 cm) soil layer accounted for 14.65%. The horizontal diffusion distance of soil seeds was proportional to the slope of *A. ledebouriana*. (3) No seedlings were found in the investigated *A. ledebouriana* seedlings. Grade I seedlings accounted for 51.12% of the total number of seedlings. *A. ledebouriana* seedlings were concentrated in the range of 50 cm from the base of the mother plant. [Conclusion] The distribution characteristics of soil seed bank of *A. ledebouriana* is near the mother plant and the surface, and the characteristics of seedling regeneration is also near the mother plant distribution. Under natural conditions, gnawed seeds, insect-infested seeds, and niche loss are the main reasons why *A. ledebouriana* seedlings cannot germinate and the regeneration of seedlings is limited.

Key words *Amygdalus ledebouriana*; Ta'e Basin; soil seed bank; seedling regeneration

野扁桃(*Amygdalus ledebouriana*)是蔷薇科(Rosaceae)李亚科(Prunoideae)桃属(*Amygdalus*)扁桃亚属(subgen. *Amygdalus*)落叶丛生灌木,为珍贵的第三纪孑遗植物种类,在欧洲已无分布,在中国主要分布于新疆塔额盆地^[1]。野扁桃不仅抗干旱还耐严寒。其果实有较高营养价值,同时在药用方面也有研究价值。野扁桃是选育栽培扁桃及桃属作物抗寒耐旱杂交新品种以及矮化砧木类型的优良原始材料^[2]。野扁桃除具有较高的抗逆性和营养价值外,还对整个塔额盆地野果林的地理气候、生物多样性和生态防御体系有不可替代的重要作用,具有重要的科学研究价值。

土壤种子库具备种群的基本结构,可以在种群遭受毁灭时提供恢复基础,以减少种群灭绝几率^[3]。通过研究土壤种子库的组成及分布进而了解植物种群更新规律。

土壤种子库是由多个时期的植物种子积累而成的,可以明确过往的植物种群组成种类,也可推测现在与未来的植物种群组成种类与演替动态^[4]。辛智鸣等^[5]发现乌兰布和沙漠局地内种子库随着土层深度增加,其密度呈下降趋势。吕朝燕等^[6]对准噶尔盆地梭梭(*Haloxylon ammodendron*)土壤种子库基本特征的研究表明,准噶尔盆地梭梭土壤种子库种子储量及种子萌发能力直接影响梭梭种群分布格局和种群更新。姜冬冬等^[7]对闽楠(*Phoebe bournei*)幼苗更新研究时认为幼苗向幼树转化率降低,小幼苗向中幼苗转化率是闽楠更新成功的关键阶段。

目前对野扁桃的研究主要集中在繁殖生物学^[8]、生物信息学^[9]和遗传多样性^[10]等方面,但有关野扁桃土壤种子库分布情况及幼苗更新特征方面的研究鲜见报道。

近年来,由于野果林过度放牧、道路建设和大力发展旅游业等原因,野扁桃居群分布面积逐渐减小且呈斑块化,阻碍野扁桃种群更新,分布格局及数量动态均出现剧烈变化。因此,笔者以塔额盆地野果林内分布的不同居群野扁桃为对象,研究其土壤种子库种子分布情况及幼苗更新特征,以期为深入研究其种群更新特征、濒危机制及种群恢复提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 研究地概况

研究地位于中国新疆塔额盆地,塔额盆地(82°16'—87°12'E,43°25'—47°15'N)北部为准噶尔西部山区,包括塔尔巴哈台山地巴尔鲁克山地以及萨乌尔山地,年平均气温为4.9~6.9℃,年降水量290 mm,属中温带干旱半干旱性气候区,该地区土壤类型为栗钙土^[11]。野扁桃的分布海拔主要在900~1 300 m,与野苹果(*Malus sieversii*)、准噶尔山楂(*Crataegus songarica*)、天山樱桃(*Cerasus tianshanica*)、柃子(*Cotoneaster hissaricus*)和锦鸡儿(*Caragana sinica*)等多种野生果树伴生。由于该地区空气干燥、光照充足、土表疏松,又有较大的降水量,野扁桃资源得以在塔额盆地野果林中保存下来。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤种子库取样

在野扁桃果实成熟时,以塔额盆地 3 个天然居群托里、裕民、塔城野果林中不同立地条件的野扁桃为对象,选取基径相近的定点野扁桃为母株,沿坡度自上而下采集距离母株基部 50,100,150 cm 范围内不同深度(S1: 枯枝落叶层;S2: 0—5 cm 土层;S3: 5—10 cm 土层)50 cm×50 cm 的土样进行封装,然后晾干。干燥后的土样用 2.5 mm 的筛网过滤,统计每份土壤样品中的野扁桃完整种子、无外中果皮种子、被啃食种子、虫蛀种子及桃奴(未发育完全的种子)数量。野扁桃土壤种子库取样示意图见图 1,定点野扁桃生境信息见表 1。

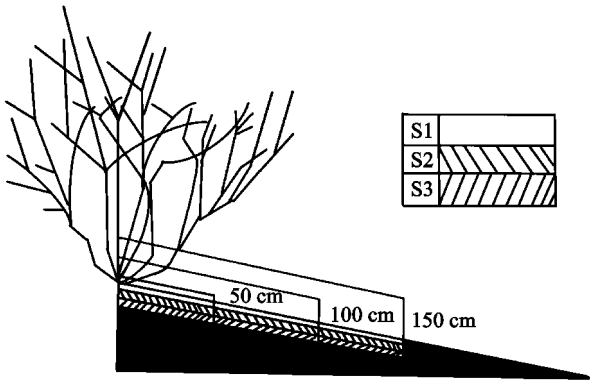


图 1 野扁桃土壤种子库取样示意图
Fig.1 Sampling diagram of the soil seed bank of *A. ledebouriana*

表 1 野扁桃土壤种子库采集地基本特征

Table 1 Basic characteristics of the soil seed bank collection sites of *A. ledebouriana*

采集地 Collecting site	经纬度 Latitude and longitude	海拔 Altitude/m	坡度 Slope/(°)	坡向 Aspect
裕民野巴旦保护区沟中 Yumin wild almond protecting area in the ditch	82°30′37″E,45°54′37″N	1 132.50	8	东南 Southeast
裕民野巴旦保护区沟底 Yumin wild almond protecting area gully bottom	82°31′22″E,45°53′18″N	1 231.00	15	北 North
托里阿勒玛沟 Tuoli Alma ditch	83°32′60″E,46°08′08″N	970.00	30	东北 Northeast
托里玉里克沟 Tuoli Yulike ditch	83°32′38″E,46°08′08″N	911.42	0	—
塔城喀浪古尔河沟口 Tacheng Kalanguer River ditch mouth	83°12′28″E,46°56′42″N	1 026.21	23	西 West
塔城喀浪古尔河沟中 Tacheng Kalanguer River gully	83°12′38″E,46°56′46″N	1 019.19	45	东 East

1.2.2 幼苗更新调查

在 3 个居群中选取 10 株基径相近的定点野扁桃为母株,调查并记录母株基部半径为 50,100,150 cm 的各同心圆范围内的野扁桃幼苗数量、高度及每株幼苗与母株的距离。同时观察幼苗建成方式,以野扁桃幼苗株高为依据,将野扁桃幼苗高度划分为 3 个等级(Ⅰ级苗:0~20 cm,Ⅱ级苗:20~40 cm,Ⅲ级苗:40~60 cm),计算各高度级幼苗转化率,第Ⅰ龄级苗向第Ⅱ龄级幼苗转化率(Ⅱ/Ⅰ)=第Ⅱ龄级个体数量/第Ⅰ龄级个体数量×100%;第Ⅱ龄级苗向第Ⅲ龄级幼苗转化率(Ⅲ/Ⅱ)=第Ⅲ龄级个体数量/第Ⅱ龄级个体数量×100%。

1.2.3 数据处理

用 Excel 2019 软件进行数据处理和图表制作,用 SPSS 20.0 软件对数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),用最小显著差异法(LSD)比

较不同数据组间的差异。

2 结果与分析

2.1 野扁桃土壤种子库组成

由表 2 可知,野扁桃土壤种子库种子密度中被啃食种子占比最高,占种子库总量的 31.57%,完整种子和无外中果皮种子分别占 23.04%、26.50%,虫蛀种子只在塔城居群土壤种子库中发现,仅占种子库总量的 1.84%。托里居群野扁桃的土壤种子库中完整种子密度与其他 2 个居群差异显著($P<0.05$),种子密度为 (48.0 ± 14.05) 粒/ m^2 ,裕民居群被啃食种子密度与其他 2 个居群差异显著($P<0.05$),种子密度为 (52.67 ± 4.97) 粒/ m^2 ,塔城居群桃奴密度与其他 2 个居群差异显著($P<0.05$),种子密度为 (36.0 ± 10.07) 粒/ m^2 ,3 个居群的种子密度差异不显著,平均密度为 96.45 粒/ m^2 。

表 2 野扁桃土壤种子库种子密度

Table 2 Seed density of the soil seed bank of *A. ledebouriana*

居群 Population	完整种子 Intact seed	无外中果皮种子 Seeds without mesocarp	被啃食种子 Gnawed seed	虫蛀种子 Worm-eaten seed	桃奴 Incompletely developed seed	总计 Total
裕民 Yumin	4.00±2.31Cb	36.00±6.11Ba	52.67±4.97Aa	0	8.00±2.31Cb	100
托里 Tuoli	48.00±14.05Aa	28.67±4.06ABa	10.67±2.67BCc	0	5.33±1.33Cb	100
塔城 Tacheng	14.67±2.67BCb	12.00±2.31BCb	28.00±4.00ABb	5.33±1.33Ca	36.00±10.07Aa	100
占比 Percentage/%	23.04	26.50	31.57	1.84	17.05	

注:不同大写字母表示同一居群不同类种子密度间差异显著($P<0.05$);不同小写字母表示不同居群同类种子密度间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different capital letters indicate the significant differences in seed density among different classes in the same population ($P<0.05$). Different lowercase letters indicate the significant differences in seed density among different populations of the same species ($P<0.05$).

2.2 野扁桃土壤种子库空间分布特征

由表 3 可知,土壤种子库在垂直方向上,3 个居群的种子密度与土层深度成反比,S1(枯枝落叶层)是土壤种子库中种子密度最高的区域,占种子库总量的 56.29%,S3(5—10 cm)土层种子密度最低,仅占 14.65%;托里居群 S1 土层种子密度与其他 2 个居群差异显著($P<0.05$),种子密度为(68.00±1.53)粒/ m^2 ,托里居群 S3 土层种子密度最小,为(1.33±1.33)粒/ m^2 。

表 3 野扁桃土壤种子库垂直分布特征

Table 3 Vertical distribution characteristics of the soil seed bank of *A. ledebouriana*

居群 Population	种子密度 Seed density/ m^{-2}		
	S1(0 cm)	S2(0—5 cm)	S3(5—10 cm)
裕民 Yumin	46.67±3.28Ab	31.00±6.03ABa	22.67±5.36Ba
托里 Tuoli	68.00±1.53Aa	23.33±4.10Ba	1.33±1.33Cb
塔城 Tacheng	48.00±2.31Ab	29.67±1.20Ba	18.33±4.48Ca
占比 Percentage/%	56.29	29.07	14.65

注:不同大写字母表示同一居群不同层土壤中种子密度差异显著($P<0.05$);不同小写字母表示不同居群同一层土壤中种子密度差异显著($P<0.05$)。

Note: Different capital letters indicate the significant differences in seed density in different layers of soil in the same population ($P<0.05$). Different lowercase letters indicate the significant differences in seed density among different populations in the same layer of soil ($P<0.05$).

从图 2 中可看出,野扁桃种子扩散距离与坡度成正比。处于平地(坡度为 0°)的野扁桃,其种子主要集中在 0~50 cm 范围内,种子密度最大,为 62

粒/ m^2 ,100~150 cm 范围内未见野扁桃种子;立地 45°坡度的野扁桃土壤种子库大部分种子分布距离母株较远(100~150 cm),种子密度为 52 粒/ m^2 。

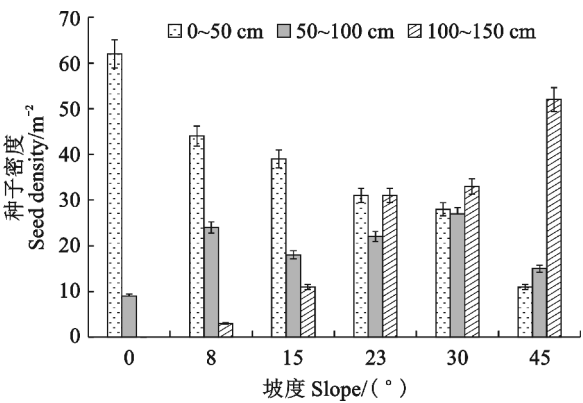


图 2 野扁桃土壤种子库水平分布特征

Fig. 2 Horizontal distribution characteristics of the soil seed bank of *A. ledebouriana*

2.3 野扁桃幼苗更新特征

在野果林调查过程中未发现野扁桃实生苗,研究对象的幼苗均为萌蘖苗。从图 3 可看出,裕民居群和托里居群Ⅲ级幼苗数量最多,塔民居群Ⅰ级幼苗数量最多,且Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级幼苗均是 3 个居群对应幼苗数量最多的,分别占Ⅰ级幼苗总量的 51.12%,Ⅱ级幼苗总量的 45.87%,三级幼苗总量的 45.45%。每个居群的Ⅱ、Ⅲ级幼苗间的转化率都很高,分别为 117.24%、126.67%、120%,塔民居群Ⅱ级幼苗向Ⅲ级幼苗的转化率最低,为 73.53%。3 个居群的幼苗均主要集中在距离母株 0~50 cm 范围内,占幼苗总数的 60.74%,距离母株越远幼苗分布数量越少,3 个居群中,裕民居群近母株分布(0~50 cm)的幼苗数量最多,为 73 株(图 4)。

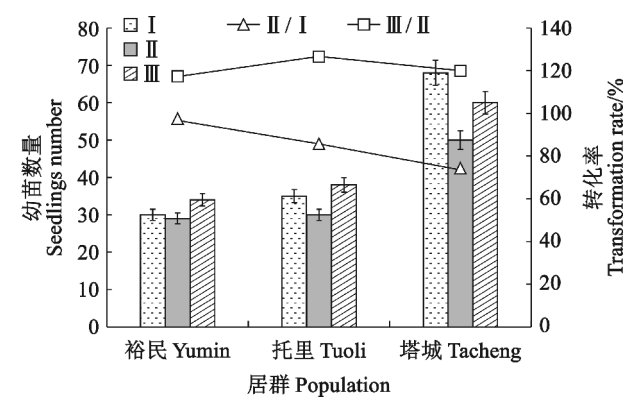


图3 不同居群野扁桃幼苗数量及转化率
Fig. 3 Number and transformation rate of *A. ledebouriana* seedlings in different populations

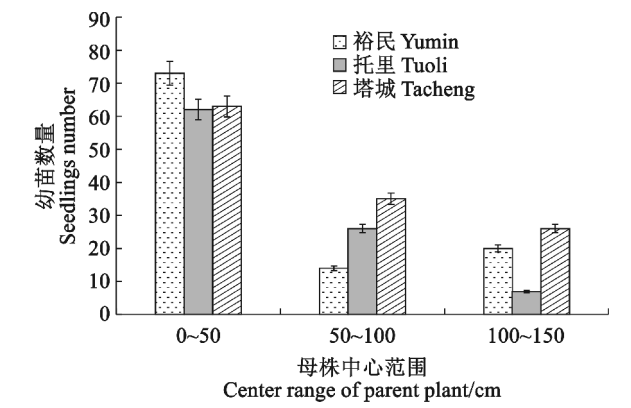


图4 野扁桃幼苗水平分布特征
Fig. 4 Horizontal distribution characteristics of *A. ledebouriana* seedlings

3 讨论

3.1 不同居群野扁桃土壤种子库组成特征

土壤种子库中种子类型及种子密度是种群自然恢复的物质基础,不同类型种子密度大小反映种群恢复能力的大小^[12]。本研究发现野扁桃土壤种子库由完整种子、无外中果皮种子、被啃食种子、虫蛀种子及桃奴这5类种子组成,除虫蛀种子其余4种类型的种子均在3个居群出现,虫蛀种子仅在塔城居群被发现。裕民居群完整种子密度小,被啃食种子密度大,占裕民居群种子总量的52.32%;托里居群完整种子密度最大,占托里居群种子总量的45.32%;塔城居群的桃奴是3个居群土壤种子库中桃奴密度最大的,种子密度是2个居群桃奴总量之和的2.7倍。红雨等^[13]在研究蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica*)土壤种子库时将蒙古扁桃种子类型分为成熟果实、未成熟果实和被啃食果实,且认为蒙古扁桃种子主要被松鼠摄取,这与本研究中种子类

型的分类基本一致。冯琳骄等^[14]研究表明,不同居群的天山樱桃完整种子密度差异较大,而李林瑜等^[15]研究不同居群黑果小檗(*Berberis atrocarpa*)土壤种子库时发现,霍城、新源和特克斯3个居群的黑果小檗土壤种子库中的完整种子密度相似,这与本研究结果不同,本研究中3个居群的土壤种子库种子总密度无差异,但完整种子间密度在3个居群中差异较大。种子因受不同环境影响而产生不同类型,成熟野扁桃种子外中果皮开裂,易与种子分离形成无外中果皮种子。野扁桃在花期时授粉受精不良或遭遇低温易形成未发育完全的种子,环境影响因子还包括生物因素,啮齿动物的啃食和虫害会导致大量野扁桃种子丧失活力。3个居群中裕民居群被啃食种子所占比例最大可能是在裕民野巴旦保护区范围内,各类动植物受到保护,物种丰富度得到提升,啮齿类动物数量大,而作为保护区内数量最大,果实含油量及淀粉含量高的野扁桃极易受到啮齿类动物对其成熟果实的啃食。塔城居群桃奴比例最大可能是因为当年野扁桃在幼果期受到长时间的低温冻害,导致部分野扁桃果实没有发育完全;相较于裕民和塔城,托里居群的生境更有利于野扁桃种子的保存。

3.2 不同居群野扁桃土壤种子库空间特征

土壤种子库空间分布特征主要有垂直及水平2个方向的分布,土壤种子库的垂直分布是通过某一立地类型中种子的剖面分布情况了解^[16]。对于大多数果树,枯枝落叶层是土壤种子库中的种子主要分布区域^[17]。3个居群土壤种子库种子均主要集中在枯枝落叶层(S1),枯枝落叶层种子数量占种子总量的56.29%,种子数量与土壤深度成反比,S2土层种子占总量的29.07%,S3土层种子占总量的14.65%。卢彦磊等^[18]发现锐齿栎(*Quercus aliena*)种子较大,而根系和枯落物组合形成较厚的隔离带使种子难以穿越,因此种子主要集中在枯落物层。田晓萍等^[19]也发现祁连圆柏(*Sabina przewalskii*)土壤种子库大量集中在枯落物层,这与本研究得到的结果一致。种子自身生物学特征和土壤结构、干扰等因素决定土壤种子垂直分布格局。同时植物种子大小及形状也会使得种子难以向更深层土壤分布。野扁桃种子较大,有坚硬外壳,单粒重为0.93g,大部分果实成熟落到地面后难以突破枯枝落叶层下的碎石岩砾,所以种子主要集中在枯枝落叶层,但少部分种子在动物践踏作用下,能进入更深层土壤,促进种子二次扩散。

种子水平分布距离决定种群是原地更新还是向

外拓展建立新种群,土壤种子库水平方向的分布格局主要受到地形的影响而产生差异^[20]。本研究中野扁桃种子在平地上主要分布在距离母株 0~50 cm 范围内,随着野扁桃立地坡度增大,分布距离也逐渐增大,处于坡度 45°的野扁桃有 71.79%的种子分布在 100~150 cm 范围内。黄梓良等^[21]发现在坡度为 20°以上的青钱柳(*Cyclocarya paliurus*)受到雨水冲刷和动物影响,使土壤种子库的种子分布聚集而非均匀性分布。李照青等^[22]发现高山松(*Pinus densata*)土壤种子库中的种子随着与母树距离的增加,种子数量逐渐减少,表现出近母树分布的趋势,这与本研究结果基本一致。野扁桃种子在重力作用下掉落地面,虽然地表碎石能有效阻止种子滚动,但是对于分布在陡峭山坡上的野扁桃,其大部分种子落地后在雨水冲刷和风力作用下,会滚落到距母株较远的位置。野扁桃果实扁圆形,成熟种子脱离母株到达地面,在坡度较大的坡面上易受地形影响远离母株传播。

3.3 不同居群野扁桃幼苗更新特征

在植物生活史中幼苗阶段尤其关键,幼苗更新特征直接影响种群未来数量变化及更新速率^[23]。本研究调查了 3 个居群内的野扁桃幼苗更新情况,未发现实生苗,调查的野扁桃幼苗均是萌蘖苗。自然状况下,野扁桃主要的更新方式是萌蘖繁殖,3 个居群中塔城居群幼苗数量最多,且 3 个居群的幼苗主要分布在距离母株 50 cm 范围内,占幼苗总量的 60.73%,100~150 cm 范围内幼苗数量最少。3 个居群中 I 级幼苗的数量占所调查幼苗总数的

51.13%,II、III 级幼苗间的转化率均高于 I、II 级幼苗间的转化率。热依汉古丽等^[24]发现准噶尔山楂幼苗近母树分布,幼苗数量少,种苗转化率低,准噶尔山楂趋向以萌生的无性繁殖为主。陈本学等^[25]认为白藤(*Calamus tetradactylus*)幼苗天然更新的限制因素是 I 级向 II 级幼苗的低转化率。这与本研究得出的结论一致。大多数灌木植物都通过萌蘖繁殖进行更新,野扁桃根系发达,易产生不定芽,不定芽吸收母株营养,发展成为萌蘖苗,而母株对萌蘖苗的营养输送有一定的距离限制,因此野扁桃幼苗主要集中在母株 50 cm 范围内。野扁桃 I、II 级幼苗间转化率低,原因可能是野扁桃母株萌生大量幼苗,其自身养分无法供给满足所有幼苗,因此部分 I 级幼苗死亡,II 级幼苗数量减少,存活下来的 II 级幼苗得到较强的竞争优势,获得充足的光照和养分输送,所以野扁桃 II 级幼苗向 III 级幼苗的转化率得到提升。

4 结 论

- (1)野扁桃土壤种子库种子平均密度为 96.45 粒/m²,被啃食种子数量最多。
- (2)野扁桃大多数种子近地面分布,种子数量与土层深度成反比。
- (3)不同立地条件使得野扁桃土壤种子库水平分布特征不同,种子呈现近母株分布的趋势,种子分布距离随野扁桃所处坡度的增加而逐渐增大。
- (4)野扁桃最主要的更新方式是萌生更新,幼苗主要集中在距离母株基部 0~50 cm 范围内,各居群 II、III 级幼苗间转化率均大于 I、II 级幼苗间转化率。

参考文献:

[1] 朱京琳. 新疆巴旦杏[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1984.

[2] 李疆, 曾斌, 罗淑萍, 等. 我国野扁桃资源的保护及引种繁育[J]. 新疆农业科学, 2006, 43(1): 61-62.

LI J, ZENG B, LUO S P, et al. Protection and propagation of *Amygdalus ledebouriana* schlecht in China[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2006, 43(1): 61-62.

[3] 李国旗, 王雅芳, 刘星, 等. 贺兰山低山区土壤种子库空间分布特征[J]. 西北植物学报, 2022, 42(2): 301-311.

LI G Q, WANG Y F, LIU X, et al. Spatial distribution characteristics of soil seed bank in the low mountainous area of Helan Mountain[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2022, 42(2): 301-311.

[4] CABALLERO I, OLANO J, LOIDI J, et al. Seed bank structure along a semi-arid gypsum gradient in Central Spain[J]. *Journal of Arid Environments*, 2003, 55(2): 287-299.

[5] 辛智鸣, 董雪, 黄雅茹, 等. 黄河分洪对乌兰布和沙漠局地种子库特征影响[J]. 西北植物学报, 2019, 39(3): 516-523.

XIN Z M, DONG X, HUANG Y R, et al. Characteristics of soil seed banks in water-level-fluctuating zone of the Yellow River diversion area[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2019, 39(3): 516-523.

[6] 吕朝燕, 张希明, 高智席, 等. 准噶尔盆地梭梭土壤种子库基本特征[J]. 植物研究, 2017, 37(1): 109-117.

LÜ C Y, ZHANG X M, GAO Z X, et al. Basic characteristics of soil seed bank of *Haloxyylon ammodendron* in Junggar Basin[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2017, 37(1): 109-117.

[7] 姜冬冬, 林建勇, 李娟, 等. 濒危植物闽楠幼苗更新及环境解释[J]. 西北植物学报, 2023, 43(11): 1969-1974.

JIANG D D, LIN J Y, LI J, et al. Characteristics and environmental interpretation of seedling regeneration in the endangered species *Phoebe bournei*[J]. *Acta Botanica Boreali-Occi-*

dentalia Sinica, 2023, 43(11): 1969-1974.

[8] 程靖, 李疆, 罗淑萍, 等. 野扁桃的繁育系统研究[J]. 西北农业学报, 2017, 26(2): 242-247.

CHENG J, LI J, LUO S P, *et al.* Study on breeding system of *Amygdalus ledebouriana* [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2017, 26(2): 242-247.

[9] 王波, 余镇藩, 曾斌, 等. 新疆野扁桃自交不亲和基因 *Cullin1* 的克隆及生物信息学分析[J]. 中国农学通报, 2017, 33(34): 63-68.

WANG B, YU Z F, ZENG B, *et al.* Self-incompatibility gene *Cullin1* cloning and bioinformatics analysis of wild almond in Xinjiang[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017, 33(34): 63-68.

[10] 马松梅, 王春成, 孙芳芳, 等. 濒危植物新疆野扁桃的遗传多样性[J]. 林业科学, 2019, 55(9): 71-80.

MA S M, WANG C C, SUN F F, *et al.* Genetic diversity of an endangered plant *Amygdalus ledebouriana* in Xinjiang [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2019, 55(9): 71-80.

[11] 张建文, 杨庆林, 叶长军, 等. 塔额盆地野生巴旦杏的开发利用[J]. 新疆林业, 2012(6): 34-35.

ZHANG J W, YANG Q L, YE C J, *et al.* Exploitation and utilization of wild almond in Ta'e Basin[J]. *Forestry of Xinjiang*, 2012(6): 34-35.

[12] 李波, 赵阳, 刘婷, 等. 洮河上游紫果云杉群落土壤种子库特征及其与地上植被的关系[J]. 西北植物学报, 2022, 42(4): 705-714.

LI B, ZHAO Y, LIU T, *et al.* Characteristics of soil seed bank and their relationship with aboveground vegetation of *Picea purpurea* community in upstream of Taohe River[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2022, 42(4): 705-714.

[13] 红雨, 邹林林, 朱清芳. 濒危植物蒙古扁桃种子雨和土壤种子库特征[J]. 林业科学, 2012, 48(10): 145-149.

HONG Y, ZOU L L, ZHU Q F. The seed rain and soil seed bank of endangered *Amygdalus mongolica* [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2012, 48(10): 145-149.

[14] 冯琳骄, 褚佳瑶, 孟雨欣, 等. 不同居群天山樱桃土壤种子库与幼苗更新特征[J]. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(12): 91-97.

FENG L J, CHU J Y, MENG Y X, *et al.* Study on soil seed bank and seedling regeneration of different *Cerasus tianshanica* populations[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2022, 42(12): 91-97.

[15] 李林瑜, 方紫妍, 艾克拜尔·毛拉, 等. 西天山野果林不同居群黑果小檗土壤种子库及幼苗更新研究[J]. 植物科学学报, 2018, 36(4): 534-540.

LI L Y, FANG Z Y, Aikebaier Maola, *et al.* Research on the soil seed bank and seedling renewal of different populations of *Berberis atrocarpa* in the western Tianshan wild fruit forest[J]. *Plant Science Journal*, 2018, 36(4): 534-540.

[16] 张敏, 宋晓阳. 热带森林群落土壤种子库对海拔梯度的响应[J]. 生态学杂志, 2015, 34(9): 2390-2400.

ZHANG M, SONG X Y. Responses of soil seed banks in tropical forests to an elevational gradient[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(9): 2390-2400.

[17] 郭连金, 徐卫红, 房会普, 等. 不同年龄香果树种子雨和种子库及其更新特征[J]. 西北植物学报, 2016, 36(11): 2273-2282.

GUO L J, XU W H, FANG H P, *et al.* Seed rain, seed bank and natural regeneration of *Emmenopterys henryi* in different age classes [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2016, 36(11): 2273-2282.

[18] 卢彦磊, 张文辉, 杨斌, 等. 秦岭中段不同坡向锐齿栎种子雨、土壤种子库与幼苗更新[J]. 应用生态学报, 2019, 30(6): 1965-1973.

LU Y L, ZHANG W H, YANG B, *et al.* Seed rain, soil seed bank and seedling regeneration of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* in different slope directions on the middle Qinling Mountains, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(6): 1965-1973.

[19] 田晓萍, 马力, 占玉芳. 祁连山祁连圆柏土壤种子库海拔梯度分布格局[J]. 山地学报, 2019, 37(5): 662-668.

TIAN X P, MA L, ZHAN Y F. Distribution patterns of soil seed bank of *Sabina przewalskii* along altitudinal gradient in the Qilian Mountains, China[J]. *Mountain Research*, 2019, 37(5): 662-668.

[20] NATHAN R, SAFRIEL U N, NOY-MEIR I, *et al.* Spatiotemporal variation in seed dispersal and recruitment near and far from *Pinus halepensis* trees[J]. *Ecology*, 2000, 81(8): 2156-2169.

[21] 黄梓良, 徐子恒, 孙操稳. 青钱柳种子雨的季节动态及土壤种子库特征[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, 47(2): 18-26.

HUANG Z L, XU Z H, SUN C W. Study on seasonal dynamics of seed rain and characteristics of soil seed banks in *Cyclocarya paliurus* [J]. *Journal of Nanjing Forestry University* (Natural Sciences Edition), 2023, 47(2): 18-26.

[22] 李照青, 高郅, 张铎, 等. 西藏林芝高山松土壤种子库空间分布特征研究[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(4): 43-48.

LI Z Q, GAO T, ZHANG D, *et al.* Spatial distribution characteristics of soil seed bank of *Pinus densata* in Linzhi, Tibet[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2019, 34(4): 43-48.

[23] 陈芳清, 梅光舟, 曾旭, 等. 三峡地区柏木种子萌发和幼苗更新的研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2008, 16(1): 69-74.

CHEN F Q, MEI G Z, ZENG X, *et al.* Seed germination and seedling recruitment of *Cupressus funebris* in the Three Gorges Area, China[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2008, 16(1): 69-74.

[24] 热依汉古丽·夏迪, 杨蕾, 如马南木·尼合买提, 等. 西天山野果林准噶尔山楂土壤种子库海拔梯度分布格局[J]. 植物科学学报, 2023, 41(2): 172-182.

Reyihanguli Xiadi, YANG L, Rumananmu Nihemaiti, *et al.* Distribution patterns of the soil seed bank of *Crataegus songarica* K. Koch with altitude in the western Tianshan wild fruit forest[J]. *Plant Science Journal*, 2023, 41(2): 172-182.

[25] 陈本学, 李雁冰, 范少辉, 等. 海南甘什岭白藤土壤种子库特征及幼苗更新能力[J]. 生态学杂志, 2020, 39(4): 1091-1100.

CHEN B X, LI Y B, FAN S H, *et al.* Seed bank and seedling regeneration of *Calamus tetradactylus* in Ganzhaling, Hainan Province[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, 39(4): 1091-1100.