

新疆野杏天然更新幼株的个体特征及空间分布格局

石 荡¹ 郭传超¹ 蒋南林¹ 唐莹莹¹ 郑 凤¹ 王 瑾² 廖 康¹ 刘立强^{1*}

¹新疆农业大学园艺学院, 乌鲁木齐 830052; ²伊犁哈萨克自治州林业科学研究院, 新疆伊宁 839300

摘 要 为探究新疆野杏(*Prunus armeniaca*)种群天然更新幼株个体的生长现状与空间分布格局, 该研究选择野杏集中分布的霍城县大西沟、新源县杏花沟和巩留县小莫乎儿沟为研究地, 分别在3处研究地设置林下、林窗以及空地样地, 观测幼株的分布密度、基径、高度以及冠幅, 并采用5 m × 5 m相邻格子样方法(7个聚集度指数)判定分布类型, 点分布格局法计算聚集强度。新疆野杏天然更新幼株特征如下: (1)分布密度由大到小依次为杏花沟、大西沟、小莫乎儿沟, 林窗显著大于空地和林下, 种群天然更新强度为325株·hm⁻²。(2)基径为小莫乎儿沟、大西沟显著大于杏花沟, 空地显著大于林下和林窗, 种群天然更新基径约1.7 cm。(3)高度为大西沟、小莫乎儿沟显著高于杏花沟, 空地显著高于林下和林窗, 种群自然更新高度为77.0 cm。(4)冠幅为大西沟显著大于小莫乎儿沟和杏花沟, 空地显著大于林窗和林下, 种群天然更新冠幅为38.7 cm。(5)有幼株的样地共22块, 在5 m × 5 m样方中, 呈聚集、均匀与随机分布样地的比例分别为63.6%、27.3%和9.1%。(6)点分布格局中更新幼株在林下、空地多呈聚集分布, 尺度为5–8 m时聚集强度最大; 在林窗主要呈随机分布, 尺度为1 m时聚集强度最大; 其在不同生境的空间格局均为聚集分布到随机分布。研究结果表明, 分布区域与生境类型均会显著影响野杏更新幼株的个体特征, 表现为大西沟、小莫乎儿沟混交的林分类型更有利于幼株生长。林下严重抑制了更新幼株的分布数量, 林窗利于种子的萌发定植, 但幼株生长受阻, 空地窗口条件利于更新幼株的生长发育。整体上种群更新障碍显著, 现有更新幼株的空间分布格局是其对生境变化、生存胁迫以及放牧干扰等因素作出的自然选择, 是种群寻找可以延续发展的策略。在此背景下, 应加强保护干预, 以促进新疆野杏种群更新。

关键词 野杏; 新疆; 种群更新; 生境条件; 个体特征; 分布格局

石荡, 郭传超, 蒋南林, 唐莹莹, 郑凤, 王瑾, 廖康, 刘立强 (2023). 新疆野杏天然更新幼株的个体特征及空间分布格局. 植物生态学报, 47, 515-529. DOI: 10.17521/cjpe.2022.0089

Characteristics and spatial distribution pattern of natural regeneration young plants of *Prunus armeniaca* in Xinjiang, China

SHI Dang¹, GUO Chuan-Chao¹, JIANG Nan-Lin¹, TANG Ying-Ying¹, ZHENG Feng¹, WANG Jin², LIAO Kang¹, and LIU Li-Qiang^{1*}

¹College of Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Ürümqi 830052, China; and ²Forestry Science Research Academy of Ili Kazak Autonomous Prefecture, Yining, Xinjiang 839300, China

Abstract

Aims Exploring the growth status and spatial distribution pattern of regenerated naturally young plants of Xinjiang wild apricot (*Prunus armeniaca*) population, which would provide a basis for protecting and artificially promoting the natural regeneration to this species.

Methods In this study, Daxigou (DXG) in Huocheng County, Xinghuagou (XHG) in Xinyuan County and Xiaomohu'ergou (XMHE) in Gongliu County were selected as the study sites. In order to fully understand the regeneration status of *Prunus armeniaca* population in the patchy, sparse and scattered habitats, forest understory, forest gap and forest glade were set sample plots in three study sites respectively. The distribution density, basal diameter, height and crown width of young plants were measured. The distribution type was determined by the method with 5 m × 5 m contiguous grid quadrats (7 aggregation indices). The aggregation intensity was calculated by point distribution pattern method.

Important findings The characteristics of natural regeneration young plants of *Prunus armeniaca* in Xinjiang

收稿日期Received: 2022-03-08 接受日期Accepted: 2022-09-24

基金项目: 第三次新疆综合科学考察课题(2021xjkk0501)、国家自然科学基金(31460190)和农业农村部服务项目(125A0605)。Supported by the Third Comprehensive Scientific Investigation Project in Xinjiang (2021xjkk0501), the National Natural Science Foundation of China (31460190), and the Ministry of Agriculture and Rural Affairs Service Project (125A0605).

* 通信作者Corresponding author (llq9989@126.com)

were as follows: (1) The distribution density of XHG, DXG to XMHE was from high to low; the density in the forest gap is significantly higher than that in forest glade and forest understory. The average natural regeneration intensity of the population was $325 \text{ plants} \cdot \text{hm}^{-2}$. (2) The basal diameter class of XMHE and DXG was significantly higher than that of XHG; and the one in the forest glade was significantly higher than that of forest understory and forest gap. The average basal diameter of natural regeneration of the population was about 1.7 cm. (3) The height of DXG and XMHE was significantly higher than that of XHG, and the one from the forest glade was significantly higher than that from forest understory and forest gap. The average height of natural regeneration of the population was 77.0 cm. (4) The crown breadth of DXG was significantly higher than that of XMHE and XHG, and the one in the forest glade was significantly higher than that of forest gap and understory. The average crown breadth of natural regeneration of the population was 38.7 cm. (5) There were 22 sample plots with young plants among all plots. In $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ quadrats, the proportions of aggregated, uniform and random distribution plots were 63.6%, 27.3% and 9.1% respectively. (6) In the point distribution pattern, the regeneration young plants were mostly aggregated in forest understory and forest glade. The aggregation intensity was the highest when the scale was 5–8 m, and it was mainly randomly distributed in the forest gap. When the scale was 1 m, the aggregation intensity was the highest, and its spatial pattern in different habitats was aggregated to random distribution. The results showed that both distribution area and habitat type could significantly affect the individual characteristics of young plants of wild apricot regeneration, and mixed forests types of DXG and XMHE were more conducive to the growth of young plants. The distribution number of regenerated young plants was seriously inhibited in forest understory. The forest gap was conducive to seed germination and planting, but the growth of young plants was hindered. The forest glade with condition was conducive to the growth and development of regenerated young plants. On the whole, the regeneration barriers of *P. armeniaca* population was obvious. The spatial distribution pattern of the existing regenerated young plants reflects the habitat change, survival stress, and grazing disturbance. In this context, more protective intervention should be enhanced to promote natural regeneration of *P. armeniaca* population.

Key words *Prunus armeniaca*; Xinjiang; population renewal; habitat condition; individual characteristic; distribution pattern

Shi D, Guo CC, Jiang NL, Tang YY, Zheng F, Wang J, Liao K, Liu LQ (2023). Characteristics and spatial distribution pattern of natural regeneration young plants of *Prunus armeniaca* in Xinjiang, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 47, 515-529. DOI: 10.17521/cjpe.2022.0089

植物种群统计学特征反映了植物对生态位的适应强度, 对种群的更新具有重要意义。目前, 对植物种群统计学特征的研究主要集中在植物的年龄、径级、高度和冠幅等方面(朱凯月等, 2017; Arsalan *et al.*, 2020)。如油松(*Pinus tabulaeformis*)种群更新幼株个体特征表明林隙对更新有促进作用(韩文娟等, 2012), 径级与高度结构可综合体现巴山榧(*Torreya fargesii*)种群天然更新的受阻状况(江波等, 2018)。以上研究皆有助于揭示植物种群的更新状况, 为种群的健康发展提供理论依据。

植物种群空间分布格局反映了种群个体在空间上的分布状态, 对种群间相互关系以及种群与生境之间的关系具有重要的作用(刘振等, 2012)。植物种群分布格局不仅因物种而异, 同一物种在不同生长发育阶段、不同生境条件下也存在明显差异(常伟等, 2016)。一般分为随机、均匀与集群3种类型, 合理的分布格局能够促进森林生态系统功能发挥作用

(弓文艳等, 2018)。目前, 多采用样方法、点格局分析法等研究方法进行格局分析。贾炜伟等(2017)通过样方法中的7种聚集度指数得知落叶松(*Larix gmelinii*)和白桦(*Betula platyphylla*)更新幼株的聚集强度差异明显, 点格局分析表明急尖长苞冷杉(*Abies georgei* var. *smithii*)更新幼株在小尺度上呈聚集分布, 种群聚集强度随树木直径和空间尺度的增加而减小(解传奇等, 2015)。这都表明对植物种群分布格局进行研究有助于了解种群生物学以及生态学特性。

植物种群更新前期是更新个体生命周期中最为脆弱的阶段, 其个体特征与空间分布将影响该种群未来组成、结构和功能(Yang *et al.*, 2015)。新疆野杏(*Prunus armeniaca*)是野果林重要的组成树种, 对伊犁河谷落叶阔叶林生态系统稳定与当地经济发展具有重要意义。以往有学者对新疆野杏的遗传特性(Li *et al.*, 2020a, 2020b)、表型性状(曹倩等, 2016)、生长发育(尤璐瑶等, 2019), 以及天然更新前期种子的散

布(张渊等, 2016)、萌发及影响因素(翟朝阳等, 2019)等方面进行了研究。如今, 受气候变化、病虫害、过度放牧、旅游开发等多重因素影响, 新疆野杏种群未得到有效保护, 树体受损数量逐年增多, 生长衰退、天然更新障碍等问题突出(方紫妍等, 2019; 刘瑜, 2019; 杨其享等, 2022)。鉴于此, 依据野杏种群在山地多呈片状, 沿沟谷呈带状, 疏林和散生等方式分布的特点, 对分布区域内种群更新幼株的特征和分布状况进行实地调查, 分析其在不同区域、生境(林下、林窗、空地)的变化, 探讨种群更新的空间分布格局与影响因素, 可为保护和人工促进新疆野杏天然更新提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于伊犁河谷野果林集中分布的霍城县、巩留县、新源县, 地处 43.19° – 44.43° N, 80.77° – 83.43° E之间, 属北温带大陆性半干旱气候, 年平均气温 10.4°C , 年日照时间 $2\,532$ – $2\,722$ h, 山区年降水量 600 mm, 年积温 $2\,700$ – $3\,500^{\circ}\text{C}$, 无霜期为 156 天(马闯等, 2018)。该环境下种群间的分布特征存在一定的差异。其中霍城县大西沟、巩留县小莫乎儿沟野杏种群为混交林, 主要分布于中下坡位, 常年受到人类活动干扰, 区别在于大西沟野杏种群为均匀混交, 主沟内次级小沟众多。小莫乎儿沟野杏种群从沟口到沟底由优势种逐渐变为伴生种, 直至沟底为针叶林, 无野杏分布, 沟内野杏主要沿主沟两侧分布。新源县杏花沟野杏种群则为纯林, 海拔跨度较大, 受干扰程度由低海拔到高海拔呈递减趋势。以上3个沟野杏种群的分布状况是其在野果林最为主要的分布方式, 故选择这3个沟为研究区域。研究区内主要伴生树种为新疆野苹果(*Malus sieversii*)、樱桃李(*Prunus cerasifera*)、野山楂(*Grataegus cuneata*)、胡桃(*Juglans regia*)、欧洲李(*Prunus domestica*)、稠李(*Padus racemosa*)等, 灌木有黑果小檗(*Berberis atrocarpa*)、天山绣线菊(*Spiraea tianschanica*)、新疆锦鸡儿(*Caragana turkestanica*)、新疆忍冬(*Lonicera tatarica*)等, 草本种类丰富。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置

在研究区内踏查新疆野杏更新幼株的基础上, 于各种群的林下设 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ (400 m^2)样地, 并结

合Zhu等(2015)的研究结果, 用林窗平均直径(d)与林窗边缘野杏平均树高(7 m)的比值($d/7$)来确定林窗面积(13 – 600 m^2), 设为林窗样地, 超过林窗面积上限(600 m^2 以上)的设为空地样地。分别在大西沟、杏花沟、小莫乎儿沟野杏林内选择能够反映野杏种群分布特点、林相完整以及林分密度均匀的林分, 先设林下样地, 在距其最近的林窗和空地设立林窗和空地样地, 重复3组, 每个种群设9块样地, 3个种群共27块样地。林下样地编号为A1、A2、A3 (大西沟)、A4、A5、A6 (杏花沟)、A7、A8、A9 (小莫乎儿沟), 林窗为B1、B2、B3 (大西沟)、B4、B5、B6 (杏花沟)、B7、B8、B9 (小莫乎儿沟), 空地地为C1、C2、C3 (大西沟)、C4、C5、C6 (杏花沟)、C7、C8、C9 (小莫乎儿沟)。将各样地连续划分为 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 方格样方, 林下样地为16个方格样方, 林窗和空地以实际面积所能设的方格样方数量为准(林窗、空地样地为不规则形状)。使用GPS采集林窗、空地边缘木所围成的轨迹, 计算出样地面积, 测定经纬度和海拔; 使用地质罗盘仪测量样地的坡度、坡向, 根据样地所在坡面的海拔范围分为上、中、下坡位。样地基本情况见表1。

1.2.2 更新幼株个体特征测定

调查连续方格样方($5\text{ m} \times 5\text{ m}$)中更新幼株的数量, 参考林木径级(蔡飞, 2000)、高度(乌吉斯古楞等, 2009)以及冠幅(卢妮妮等, 2015)特征的划分方法, 并结合新疆野杏更新幼株的生长习性, 分别划分为5个等级(表2)。使用游标卡尺、测距仪分别测定其基径、高度, 用卷尺测量东西、南北2个方向树冠直径, 取平均值为冠幅。说明: 幼株基径小于 10 cm , 且未开花结果, 包括幼苗和幼树, 因当年实生苗经一个生长季后大量消失, 本实验不予统计。

1.2.3 空间分布格局

$5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 样方分布格局: 基于香果树(*Emmenopterys henryi*) (康华靖等, 2007)与胡桃(张维等, 2016)分布格局的研究方法, 结合本研究实地踏查结果, 采用 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 样方法判断新疆野杏幼株的分布类型。7个指标计算公式如表3, 聚集类型判定见表4, 且需要7个指数聚集类型结果一致则认定该结果, 否则以出现相同结果次数最多的聚集类型为最终结果, 并加以说明。

点分布格局: 参考相关点格局研究方法(刘振等, 2012), 以样地内各幼株的坐标点为基础数据, 使用Ripley's K 函数对样地内植株间距离进行分析。

表1 新疆野杏种群样地基本情况

Table 1 Basic information of *Prunus armeniaca* populations plots in Xinjiang

分布区域 Distribution area	样地 Sample plot	经度 Longitude (° E)	纬度 Latitude (° N)	海拔 Altitude (m)	坡向 Slope aspect (°)	坡位 Slope position	坡度 Slope gradient (°)	样地面积 Plot area (m ²)	样方(5 m × 5 m)数量 Quadrat (5 m × 5 m) number
DXG	A1	80.78	44.44	1 216.9	178.3	下 Down	21.0	400.0	16
	A2	80.77	44.43	1 290.0	197.7	中 Middle	35.3	400.0	16
	A3	80.79	44.43	1 219.2	247.3	下 Down	11.7	400.0	16
	B1	80.78	44.44	1 228.0	177.6	下 Down	21.0	130.0	5
	B2	80.77	44.43	1 323.6	203.3	中 Middle	31.7	256.2	10
	B3	80.79	44.43	1 222.2	251.0	下 Down	10.7	144.5	5
	C1	80.78	44.44	1 242.5	180.7	中 Middle	25.7	896.2	35
	C2	80.77	44.43	1 324.2	167.3	中 Middle	25.7	1 011.0	40
	C3	80.79	44.43	1 240.1	225.0	中 Middle	23.7	1 058.0	42
XHG	A4	83.44	43.55	1 231.8	182.5	中 Middle	23.9	400.0	16
	A5	83.43	43.55	1 340.4	136.3	中 Middle	23.9	400.0	16
	A6	83.43	43.55	1 566.5	120.0	上 Up	27.5	400.0	16
	B4	83.44	43.54	1 205.2	151.3	下 Down	33.7	192.9	7
	B5	83.43	43.55	1 341.4	97.6	中 Middle	38.0	110.0	4
	B6	83.43	43.55	1 563.4	89.6	上 Up	41.7	143.1	5
	C4	83.44	43.55	1 291.0	163.7	中 Middle	24.3	911.0	36
	C5	83.43	43.55	1 459.3	191.3	上 Up	38.7	975.6	39
	C6	83.43	43.55	1 555.8	138.3	上 Up	37.0	1 065.0	42
XMHE	A7	82.73	43.19	1 360.8	232.3	中 Middle	28.0	400.0	16
	A8	82.72	43.21	1 293.9	81.3	下 Down	26.7	400.0	16
	A9	82.71	43.22	1 297.0	90.3	下 Down	34.7	400.0	16
	B7	82.73	43.19	1 360.8	234.6	中 Middle	18.3	207.5	8
	B8	82.72	43.21	1 289.5	161.7	下 Down	22.7	207.4	8
	B9	82.72	43.22	1 315.6	59.6	下 Down	35.0	179.8	7
	C7	82.73	43.19	1 345.8	231.3	中 Middle	22.0	889.2	35
	C8	82.72	43.21	1 326.0	92.0	下 Down	32.3	946.6	37
	C9	82.72	43.22	1 324.4	54.3	下 Down	37.3	1 115.0	44

DXG, 大西沟; XHG, 杏花沟; XMHE, 小莫乎儿沟。A1–A9, 林下样地; B1–B9, 林窗样地; C1–C9, 空地样地。
DXG, Daxigou; XHG, Xinghuagou; XMHE, Xiaomohu'ergou. A1–A9, forest understory plots; B1–B9, forest gap plots; C1–C9, forest glade plots.

表2 新疆野杏种群更新等级划分标准

Table 2 Differentiating standard of regeneration grades of *Prunus armeniaca* populations in Xinjiang

基本结构 Basic structure	等级 Grade				
	I	II	III	IV	V
基径 Basal diameter (cm)	≤1	(1, 2]	(2, 3]	(3, 5]	(5, 10]
高度 Height (cm)	≤30	(30, 60]	(60, 100]	(100, 200]	>200
冠幅 Canopy (cm)	≤25	(25, 50]	(50, 100]	(100, 150]	>150

表3 新疆野杏种群各指标计算公式

Table 3 Calculation formula for each index of *Prunus armeniaca* populations in Xinjiang

\bar{X}	S^2	C	I	m^*	PAL	Ca	K	I_b
$\frac{\sum_i^N x_i}{N}$	$\frac{\sum_i^N (x_i - \bar{X})^2}{N-1}$	$\frac{S^2}{\bar{X}}$	$\frac{\sum_i^N X^2 - \sum_i^N X}{(\sum_i^N \bar{X})^2 - \sum_i^N \bar{X}}$	$\bar{X} + \left(\frac{S^2}{\bar{X}} - 1 \right)$	$\frac{m^*}{\bar{X}}$	$\frac{S^2 - \bar{X}}{\bar{X}^2}$	$\frac{\bar{X}^2}{(S^2 - \bar{X})}$	$\frac{n(\sum_i^n f_i^2 - N)}{N(N-1)}$

C , 扩散型指数(方差/平均值); Ca , Cassie指数; I , Mrisita指数; I_b , 扩散型指数; K , 负二项参数; m^* , 平均拥挤度; n , 样地内野杏幼株个体总株数; N , 样地内5 m × 5 m样方总数; PAL , 聚块性指数; S^2 , 方差; x_i , 第*i*个5 m × 5 m样方中的野杏幼株个体数; \bar{X} , 同一样地内样方的平均幼株个数。

C , diffusing index (variance/mean); Ca , Cassie index; I , Mrisita index; I_b , diffusing index; K , negative binomial distribution; m^* , mean crowding; n , total individual number of seedlings of *Prunus armeniaca* in sample plot; N , the number of 5 m × 5 m quadrats in the sample plot; PAL , index of patchiness; S^2 , variance; x_i , number of *Prunus armeniaca* seedling individuals in the *i*th 5 m × 5 m quadrat; \bar{X} , average number of young plants in the quadrats of the plots.

表4 新疆野杏种群聚集类型判断标准

Table 4 Cluster type judgment criteria of *Prunus armeniaca* populations in Xinjiang

分布类型 Distribution pattern	格局指数 Pattern index						
	<i>C</i>	<i>I</i>	<i>m</i> *	<i>PAI</i>	<i>Ca</i>	<i>K</i>	<i>I_δ</i>
聚集 Cluster	>1	>0	> \bar{X}	>1	>0	>0	>1
随机 Random	1	0	\bar{X}	1	0	0	1
均匀 Uniform	<1	<0	< \bar{X}	<1	<0	<0	<1

指数同表3。

Indexes see Table 3.

计算方式如下:

$$\hat{K}(r) = An^{-2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}^{-1} I_r(u_{ij}), i \neq j \quad (1)$$

式中, r 为空间尺度; $\hat{K}(r)$ 表示新疆野杏幼株个体点与点之间距离分布的测定指标; A 为样地面积; n 为样地内野杏幼株个体的总点数; $I_r(u_{ij})$ 为指示函数; u_{ij} 为点 i 到点 j 的距离, 当 $u_{ij} \leq r$ 时, $I_r(u_{ij}) = 1$, 当 $u_{ij} > r$ 时, $I_r(u_{ij}) = 0$; W_{ij} 为权重, 表示以点 i 为圆心, u_{ij} 为半径的圆周长在面积 A 中的比例。

在实际运用中经常将Riply's K 函数变成Riply's L 函数, 转换公式如下:

$$\hat{L}(r) = \sqrt{\hat{K}(r)/\pi} - r \quad (2)$$

本研究采用Monte-Carlo随机模拟方法计算上下包迹线, 假设种群为随机分布, 对每个 r 值计算出 $\hat{L}(r)$, 重复199次得到99%置信区间。当 $\hat{L}(r)$ 在包迹线以上为聚集分布, 在包迹线以内为随机分布, 在包迹线以下为均匀分布, 聚集规模是以聚集强度为半径的圆。

1.3 数据分析

利用SPSS 26软件单因素方差分析法对同一分布区域不同生境、不同分布区域、不同生境野杏幼株个体特征以及不同更新等级的分布数量进行差异显著性分析($p < 0.05$), 使用多变量方差分析法解析分布区域及生境类型对幼株个体特征的影响, 通过Excel 2016算出5 m × 5 m样方尺度下更新幼株的分布类型, 并用2D核密度图展现更新幼株的空间分布状况, 使用Programita 2018分析点分布格局, Origin 2021作图。

2 结果和分析

2.1 野杏幼株个体特征与分布

种群内的不同生境野杏更新幼株特征如图1所

示。杏花沟林下未发现更新幼株, 更新密度表现为林窗显著大于空地, 其余种群内的不同生境间均无显著差异。大西沟更新幼株的基径、高度和冠幅均表现为空地显著大于林窗和林下。而杏花沟林窗和空地更新幼株的特征均无显著差异。小莫乎儿沟不同生境更新幼株特征的变化无明显规律, 基径表现为空地、林窗显著大于林下, 高度由林窗、空地至林下依次减小, 其中林窗和林下高度呈显著差异, 而不同生境的冠幅无显著差异。各种群内不同生境野杏更新幼株的基径、高度和冠幅多呈由林下、林窗至空地逐渐增大趋势。

在种群间, 野杏更新幼株的密度均无显著差异, 但纯林状况的杏花沟更新密度相对较大(表5)。大西沟和小莫乎儿沟野杏更新幼株的基径均 ≥ 2.0 cm, 且高度大于90.0 cm, 与杏花沟更新幼株的基径1.2 cm、高度56.5 cm呈显著差异。而冠幅表现为大西沟显著大于小莫乎儿沟和杏花沟, 差值分别为15.9 cm、25.6 cm。种群间更新幼株特征的差异, 表明种群更新受到分布区域内生物和非生物条件的影响。

在不同生境间, 林窗内野杏幼株更新密度显著大于空地和林下, 分别为678、210和86株·hm⁻² (表6)。而空地更新幼株的基径、高度和冠幅均显著大于林下和林窗, 其中基径为2.2 cm, 比林下和林窗分别多出1.2和1.3 cm; 高度93.8 cm, 分别高出林下和林窗42.0、42.5 cm; 冠幅为52.5 cm, 与林下、林窗的差值分别为40.7和32.7 cm。除此之外, 基径、高度和冠幅的最大值也均出现在空地, 表明空地生境对更新幼株的生长最为有利。总体上野杏更新幼株的平均密度、基径、高度和冠幅分别为325株·hm⁻²、1.7 cm、77.0 cm和38.7 cm, 参照林业天然更新等级标准(LY/T 1812), 高度 ≥ 51 cm且更新密度 < 501 株·hm⁻² 时则为更新不良, 该种群符合这一判定结果。

种群内不同更新等级野杏幼株分布密度如图2所示。不同等级基径的分布密度表现为, 大西沟I-II级均显著大于III-V级。杏花沟I级分布密度显著大于其他等级。而小莫乎儿沟仅有II级和V级存在显著差异。不同等级高度的分布密度表现为: 大西沟I级、III级和IV级均与V级存在显著差异, 并且I级还与II级存在显著差异。杏花沟I级和II级均与后3级存在显著差异。而小莫乎儿沟仅有II级和V级存在显著差异。不同等级冠幅的分布密度表现为: 大西沟I级

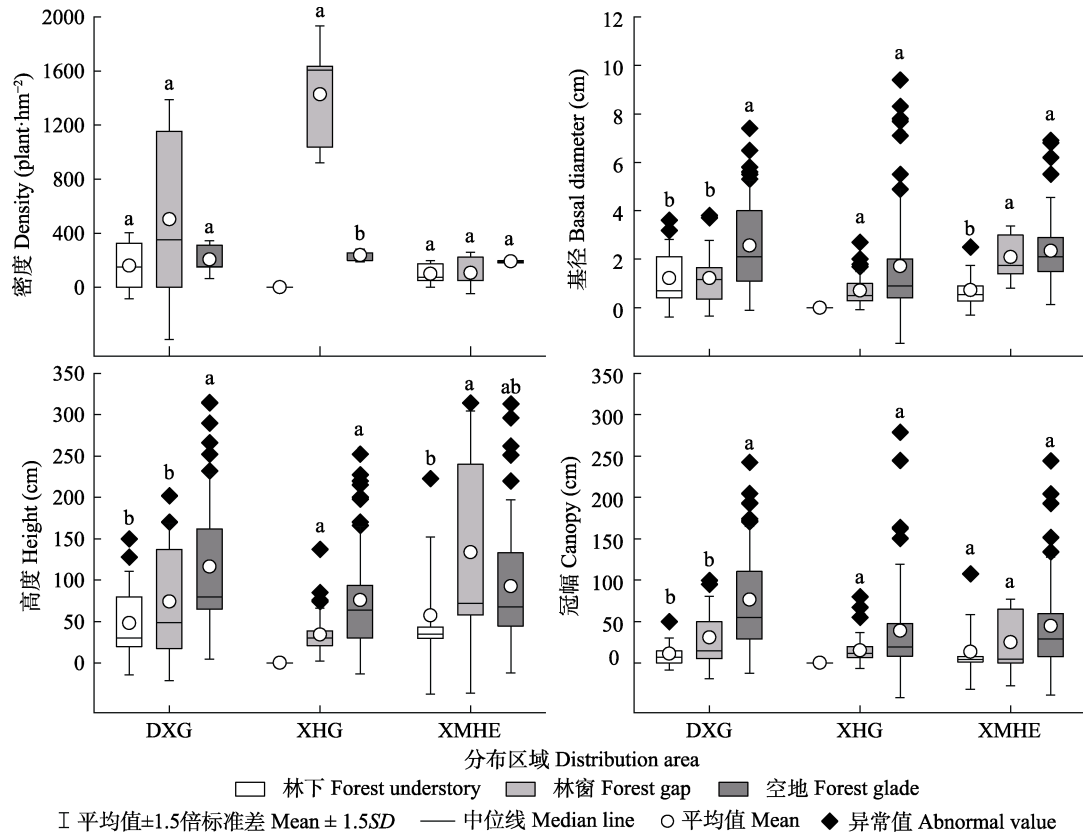


图1 新疆野杏种群内不同生境更新幼株个体特征。不同小写字母表示同一种群下不同生境更新幼株特征的差异显著($p < 0.05$)。DXG, 大西沟; XHG, 杏花沟; XMHE, 小莫乎儿沟。

Fig. 1 Characteristics of regeneration seedlings of *Prunus armeniaca* populations in Xinjiang in different habitats. Different lowercase letters indicate significant differences in the characteristics of seedlings in different habitats in the same population ($p < 0.05$). DXG, Daxigou; XHG, Xinghuagou; XMHE, Xiaomohu'ergou.

表5 不同种群新疆野杏天然更新幼株特征的差异(平均值±标准差)

Table 5 Differences in natural regeneration characteristics of *Prunus armeniaca* young plants in different populations in Xinjiang (mean \pm SD)

分布区域 Distribution area	林分密度 Density of forests		野杏幼株个体特征 Individual characteristics of <i>P. armeniaca</i> seedlings			
	密度 Density (plant·hm ⁻²)	野杏占比 <i>P. armeniaca</i> proportion (%)	密度 Density (plant·hm ⁻²)	基径 Basal diameter (cm)	高度 Height (cm)	冠幅 Canopy (cm)
DXG	542 \pm 95 ^a	44.0	288 \pm 202 ^a	2.0 \pm 0.2 ^a	93.7 \pm 7.1 ^a	53.3 \pm 5.5 ^a
XHG	583 \pm 14 ^a	100.0	554 \pm 684 ^a	1.2 \pm 0.1 ^b	56.5 \pm 4.4 ^b	27.7 \pm 3.7 ^b
XMHE	283 \pm 72 ^b	55.9	132 \pm 74 ^a	2.1 \pm 0.2 ^a	90.2 \pm 8.6 ^a	38.4 \pm 6.0 ^b

DXG, 大西沟; XHG, 杏花沟; XMHE, 小莫乎儿沟。不同小写字母表示种群间的差异显著($p < 0.05$)。

DXG, Daxigou; XHG, Xinghuagou; XMHE, Xiaomohu'ergou. Different lowercase letters indicate significant differences between populations ($p < 0.05$).

表6 不同生境新疆野杏天然更新幼株特征的差异(平均值±标准差)

Table 6 Differences in natural regeneration characteristics of *Prunus armeniaca* young plants in different habitats in Xinjiang (mean \pm SD)

生境 Habitat	野杏幼株个体特征 Individual characteristics of <i>P. armeniaca</i> seedlings								
	密度 Density (plant·hm ⁻²)	基径 Basal diameter (cm)			高度 Height (cm)			冠幅 Canopy (cm)	
		最小 Min	最大 Max	平均值 Mean	最小 Min	最大 Max	平均值 Mean	最小 Min	最大 Max
林下 Forest understory	86 \pm 37 ^b	0.2	3.6	1.0 \pm 1.0 ^b	12.0	223.0	51.8 \pm 50.3 ^b	0	107.5
林窗 Forest gap	678 \pm 227 ^a	0.1	3.8	0.9 \pm 0.8 ^b	9.0	314.0	51.3 \pm 53.2 ^b	0	99.5
空地 Forest glade	210 \pm 18 ^b	0.1	9.4	2.2 \pm 1.9 ^a	12.0	315.0	93.8 \pm 69.3 ^a	0	279.0
总体 Population	325 \pm 89	0.1	9.4	1.7 \pm 1.7	9.0	315.0	77.0 \pm 66.3	0	279.0

不同小写字母表示生境间的差异显著($p < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant differences between habitats ($p < 0.05$).

与其他等级均存在显著差异, 并且II级、III级均与IV级、V级存在显著差异。杏花沟、小莫乎儿沟均仅有I级与其他等级存在显著差异, 其他等级间无显著差异。

同一生境内不同更新等级野杏幼株分布密度如图3所示, 不同等级基径的分布密度表现为: 林下、林窗的I级与II–IV级均存在显著差异, 且林窗的II级与III级、IV级也存在显著差异; 空地I级、II级均与V级呈显著差异。不同等级高度的分布密度表现为: 林下I级与其他等级均存在显著差异, 且II级、III级均与IV级、V级也存在显著差异; 林窗I级和II级均与III–V级存在显著差异; 空地I级和III级与其他等级均存在显著差异, 且这两个等级之间也存在显著差异。不同等级冠幅的分布密度表现为: 林下I级和

II级、IV级均存在显著差异; 林窗I级和II级、III级均存在显著差异; 空地I级与其他等级均存在显著差异, 并且II级、III级均与IV级、V级存在显著差异。整体上, 野杏种群更新幼株I–V级基径、高度和冠幅的个体分布密度均呈逐渐下降趋势, 其中I–V级基径分布密度由190株·hm⁻²降到7株·hm⁻², 高度分布密度由122株·hm⁻²减少至14株·hm⁻², 冠幅分布密度从238株·hm⁻²降至8株·hm⁻², 表明野杏种群幼株在生存过程中丢失率较大, 更新受到限制。

2.2 分布区域及生境对野杏幼株个体特征的影响

以分布区域和生境为自变量, 新疆野杏幼株个体特征为因变量进行多变量双因素方差分析, 结果如表7所示。在分布区域和生境两个因素中, 除了生境对冠幅主效应不显著外, 其余主效应都极显著。

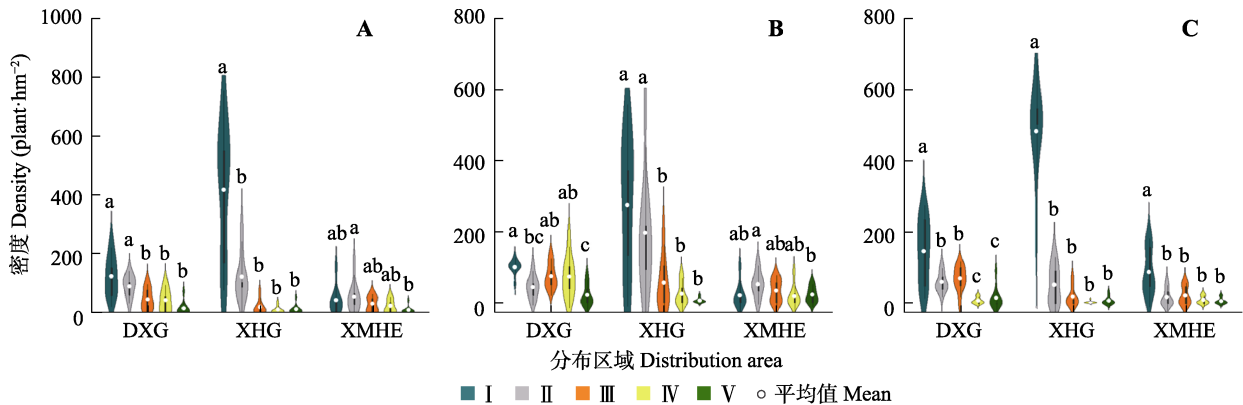


图2 新疆野杏种群内不同更新等级幼株分布密度(平均值±1.5倍标准差)。A, 基径。B, 高度。C, 冠幅。DXG, 大西沟; XHG, 杏花沟; XMHE, 小莫乎儿沟。不同小写字母表示同一种群下不同更新等级幼株密度的差异显著($p < 0.05$)。I–V见表2。
Fig. 2 Distribution density of young plants of *Prunus armeniaca* with different regeneration grade in the same population in Xinjiang (Mean ± 1.5SD). A, Basal diameter. B, Height. C, Canopy. DXG, Daxigou; XHG, Xinghuagou; XMHE, Xiaomohu'ergou. Different lowercase letters indicate significant differences in the density of seedlings of different regeneration grades under the same population ($p < 0.05$). I–V see Table 2.

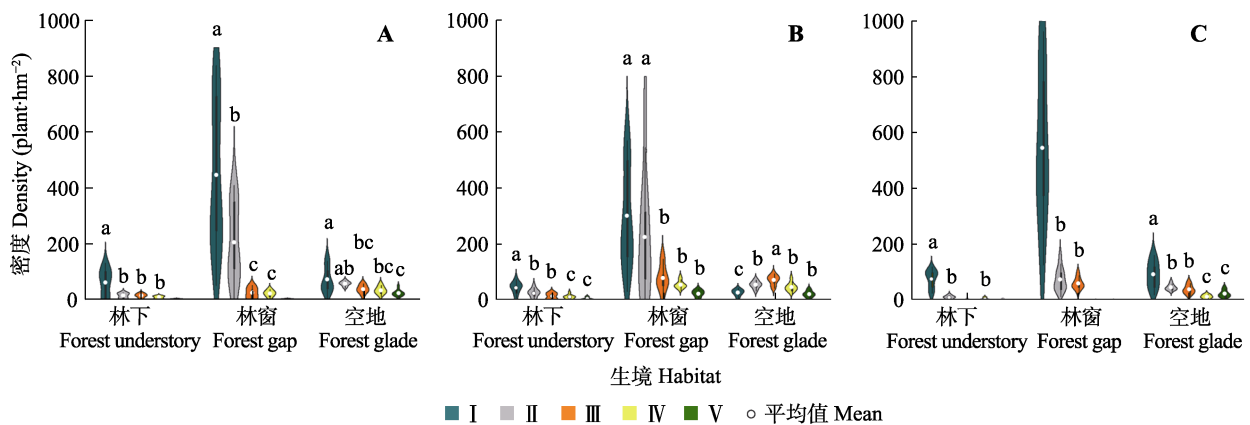


图3 新疆野杏种群生境内不同更新等级幼株分布密度(平均值±1.5倍标准差)。A, 基径。B, 高度。C, 冠幅。不同小写字母表示同一生境下不同等级更新幼株密度的差异显著($p < 0.05$)。I–V见表2。
Fig. 3 Distribution density of young plants of *Prunus armeniaca* with different regeneration grade in the same habitat in Xinjiang (Mean ± 1.5SD). A, Basal diameter. B, Height. C, Canopy. Different lowercase letters indicate significant differences in the density of young plants of different regeneration grades under the same habitat ($p < 0.05$). I–V see Table 2.

表7 新疆野杏幼株特征的多变量双因素方差分析
Table 7 Multi-variable two-way ANOVA of characteristics of *Prunus armeniaca* seedlings in Xinjiang

自变量 Argument	因变量 Dependent variable	均方 Mean square	F	p	偏Eta平方 Partial Eta square
分布区域 Distribution area	基径 Basal diameter	17.098	7.449**	0.001	0.047
	高度 Height	53 578.294	14.710**	0.000	0.090
	冠幅 Canopy	44 242.587	20.837**	0.000	0.122
生境 Habitat	基径 Basal diameter	38.769	16.890**	0.000	0.102
	高度 Height	43 240.548	11.872**	0.000	0.074
	冠幅 Canopy	295.686	0.139	0.870	0.001
分布区域×生境 Distribution area × habitat	基径 Basal diameter	2.023	0.881	0.451	0.009
	高度 Height	12 459.757	3.421**	0.018	0.033
	冠幅 Canopy	16 295.174	7.674**	0.000	0.071

** $p < 0.01$.

分布区域和生境对高度和冠幅的交互效应极显著,对基径不显著。且偏Eta平方值的大小可表示主效应或交互效应的大小,因此,对更新幼株基径的影响从大到小依次为生境(0.102)、分布区域(0.047)、生境和分布区域交互效应(0.009)。对高度的影响从大到小分别为分布区域(0.090)、生境(0.074)、生境和分布区域交互效应(0.033)。而对冠幅的影响从大到小依次为分布区域(0.122)、生境和分布区域交互效应(0.071)、生境(0.001)。表明不同生境光、水、热条件的异质性对野杏幼株基径产生重要影响,而高度和冠幅更多是受到分布区域内环境差异以及生物活动强度等因素的影响。

2.3 5 m × 5 m样方分布格局

由表8可知,除了未发现更新幼株的5块样地,其余样地在样方尺度为5 m × 5 m时,7个聚集指标结果均一致。其中,大西沟野杏种群6块样地的更新幼株均呈聚集分布(林下A1、A2,林窗B2,空地C1、C2、C3),占6/7,而B1样地呈均匀分布,A3与B3样地未发现更新幼株。杏花沟野杏种群,林下样地均未发现更新幼株,林窗样地(B4、B5、B6)中呈均匀分布,空地样地(C4、C5和C6)中呈聚集分布,各占1/2。小莫乎儿沟野杏种群,更新幼株呈聚集(A7、A8、C7、C8、C9)、均匀(A9、B9)和随机(B7、B8)分布的样地占比分别为5/9、2/9和2/9。

有更新幼株的5块林下样地,聚集和均匀分布样地分别占4/5和1/5;有更新幼株的8块林窗样地,聚集、均匀和随机分布样地分别占1/8、5/8和2/8;9块空地样地中均为聚集分布。即聚集、均匀和随机分布样地的比率分别为63.6%、27.3%和9.1%。因此,在5 m × 5 m样方法中,新疆野杏种群天然更新幼株呈聚集分布。

2.4 点分布格局

在不同分布区选择具有代表性的样地作为点格局分布研究样地,其中大西沟选择A1、B1、C1,杏花沟为A4、B4、C4,小莫乎儿沟因林窗出现单株随机分布状况,故选择A8、B9、C8样地。由图4、图5可知新疆野杏更新幼株空间分布尺度,大西沟林下天然更新幼株在1–10 m尺度内均为聚集分布,当尺度为7 m时聚集强度达到最大(5.4);林窗中幼株在1–2 m尺度为聚集分布,2–5 m尺度为随机分布,1 m尺度时聚集强度最大,为4.6;空地中幼株在1–7 m尺度内为聚集分布,8–15 m尺度为随机分布,在5 m尺度时聚集强度达到最大(5.0)。杏花沟林下未发现野杏更新幼株个体;林窗的更新幼株在1–2 m尺度内为聚集分布,3–7 m尺度时为随机分布,尺度等于1 m时聚集强度为2.2;空地中更新幼株在1–15 m尺度内均为聚集分布,尺度在8 m时聚集强度最大,为3.6。小莫乎儿沟林下野杏天然更新幼株,在1–9 m尺度内为聚集分布,10 m尺度为随机分布,当尺度为5 m时聚集强度达到最大值(5.9);林窗中幼株在尺度为1 m时呈聚集分布,2–6 m时呈随机分布,其中,尺度等于1 m时聚集强度为7.0;空地中更新幼株在1–13 m尺度内均为聚集分布,14–15 m尺度为随机分布,6 m尺度时聚集强度达到最大(4.5)。新疆野杏种群天然更新幼株在林下、空地的聚集强度随尺度变大而先增后减,最高聚集强度在5–8 m尺度。其中林下、空地的聚集规模分别为91.6–109.3 m²和40.7–78.5 m²,当尺度为8 m时,分布格局由聚集趋向随机;林窗中聚集强度随尺度增加而减小,在1 m时聚集强度达到最大,即聚集规模为15.2–153.9 m²,而当尺度≥2 m后,呈随机分布。新疆野杏更新幼株总体分布格局随尺度增加由聚集分布趋向随机分布。

表8 不同生境5 m × 5 m样方尺度下新疆野杏幼株的分布格局

Table 8 Distribution pattern of *Prunus armeniaca* young plants at 5 m × 5 m quadrat scale in different habitats in Xinjiang

分布区域 Distribution area	样地 Sample plot	格局指数 Pattern index							分布类型 Distribution pattern
		<i>C</i>	<i>I</i>	<i>m</i> *	<i>PAI</i>	<i>Ca</i>	<i>K</i>	<i>I_δ</i>	
DXG	A1	3.318	2.318	3.130	3.853	2.853	0.351	3.897	C
	A2	2.089	1.089	1.464	3.904	2.904	0.344	4.267	C
	A3	—	—	—	—	—	—	—	—
	B1	0.167	-0.833	2.167	0.722	-0.278	-3.600	0.762	U
	B2	2.086	1.086	1.986	2.207	1.207	0.828	2.222	C
	B3	—	—	—	—	—	—	—	—
	C1	1.603	0.603	1.403	1.754	0.754	1.327	1.759	C
	C2	2.556	1.556	1.931	5.148	4.148	0.241	5.333	C
	C3	1.787	0.787	1.168	3.065	2.065	0.484	3.150	C
XHG	A4	—	—	—	—	—	—	—	—
	A5	—	—	—	—	—	—	—	—
	A6	—	—	—	—	—	—	—	—
	B4	0.983	-0.017	2.841	0.994	-0.006	-171.429	0.995	U
	B5	0.370	-0.630	3.870	0.860	-0.140	-7.147	0.889	U
	B6	0.391	-0.609	3.991	0.868	-0.132	-7.557	0.889	U
	C4	2.686	1.686	2.186	4.371	3.371	0.297	4.471	C
	C5	2.093	1.093	1.734	2.705	1.705	0.587	2.730	C
	C6	2.035	1.035	1.678	2.610	1.610	0.621	2.632	C
XMHE	A7	1.578	0.578	0.765	4.082	3.082	0.325	5.333	C
	A8	2.429	1.429	1.866	4.265	3.265	0.306	4.571	C
	A9	0.933	-0.067	0.058	0.467	-0.533	-1.875	0.000	U
	B7	1.000	—	0.125	1.000	—	—	—	R
	B8	1.000	—	0.125	1.000	—	—	—	R
	B9	0.500	-0.500	0.071	0.125	-0.875	-1.143	1.167	U
	C7	1.862	0.862	1.347	2.774	1.774	0.564	2.831	C
	C8	1.644	0.644	1.103	2.401	1.401	0.714	2.449	C
	C9	1.442	0.442	0.942	1.884	0.884	1.132	1.905	C

DXG, 大西沟; XHG, 杏花沟; XMHE, 小莫乎儿沟。C, 聚集分布; R, 随机分布; U, 均匀分布。其他指数同表3。

DXG, Daxigou; XHG, Xinghuagou; XMHE, Xiaomohu'ergou. C, cluster distribution; R, random distribution; U, uniform distribution. Other indexes see Table 3.

3 讨论

3.1 分布区域及生境对新疆野杏幼株个体特征的影响

本研究结果表明不同分布区域野杏更新幼株个体特征差异显著,以往有研究表明栎类(*Quercus* spp.)在不同林型中更新密度和生长状况存在显著差异(黄朗等, 2019)。一方面,种群分布环境非生物因素的异质性是导致更新状况出现差异的因素之一(Dey *et al.*, 2019; 翟朝阳等, 2019)。大西沟整体坡向朝正南,充足的光照和温度利于更新幼株生长(马莉薇等, 2010);同样为中下坡位的小莫乎儿沟,幼株生长状况与大西沟相似,但成年母树株数较少,

造成林分结构差异,可能是导致更新密度低的原因;而杏花沟海拔高,坡度大,更新幼株缺乏适宜的温度和水分条件,生长受到抑制。立地条件对更新幼株的存活有显著影响(Pardos *et al.*, 2005),本研究结果与此相符。另一方面,种群分布环境的生物因素也会引起更新状况出现差异(李宁等, 2011),3个种群均受到不同程度的生物干扰,包括旅游、放牧以及农垦等。实地调查发现,大西沟、小莫乎儿沟常年有人类、牧群活动,强干扰状态下草本层植物低,区别在于大西沟次级小沟众多,种群分布范围广,并且沟内较多灌丛起到保护更新幼株的作用。小莫乎儿沟野杏沿主沟两侧分布,沟内面积狭小,且沟口有村庄,平时生物活动强度较大。而杏花沟因坡

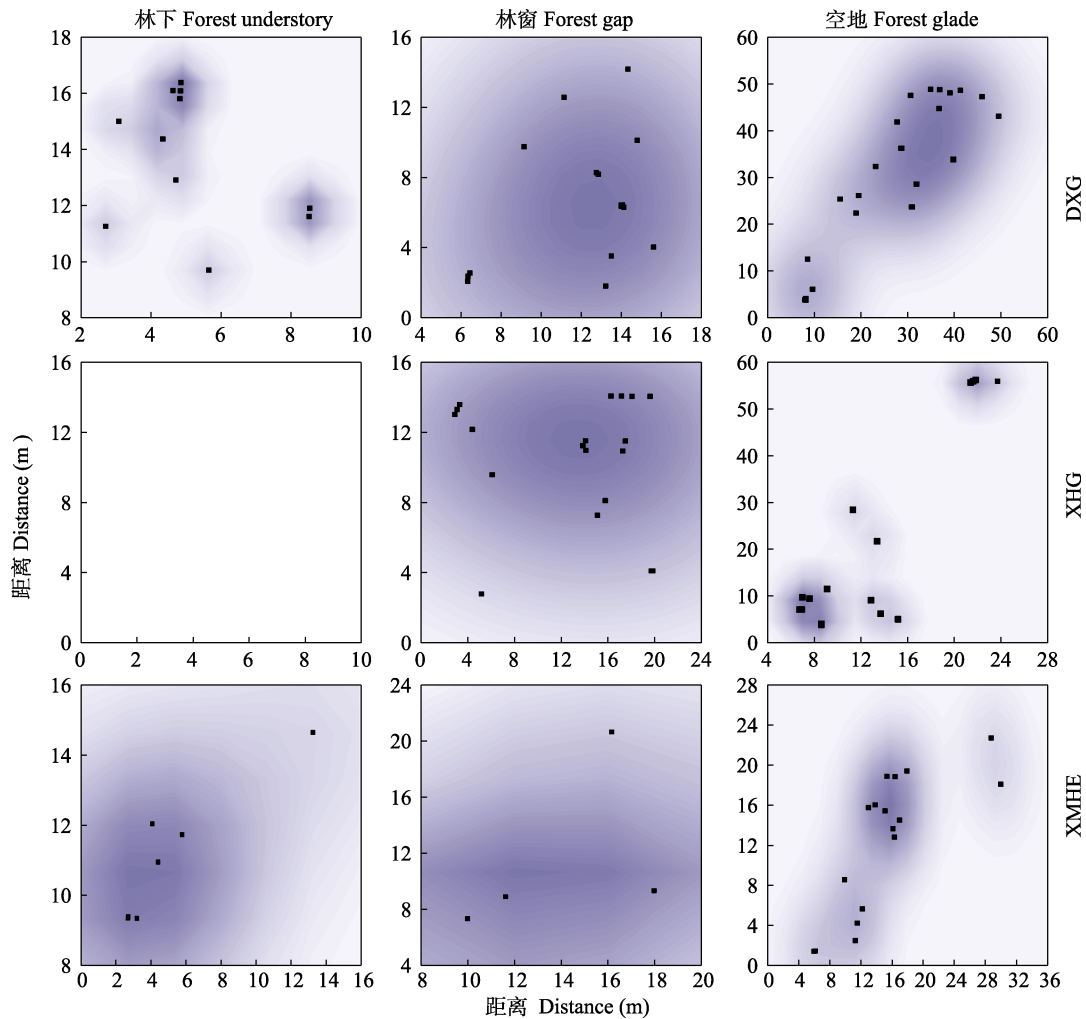


图4 新疆野杏种群内不同生境幼株的空间分布点。DXG, 大西沟; XHG, 杏花沟; XMHE, 小莫乎儿沟。

Fig. 4 Spatial distribution point of young plants of *Prunus armeniaca* with different habitats in the populations in Xinjiang. DXG, Daxigou; XHG, Xinghuagou; XMHE, Xiaomohu'ergou.

陡且高, 人类活动主要在下坡位, 造成野杏幼株主要分布于中上坡位, 同时夏季牧群转场, 草本植物高度增长明显, 增加了植物之间的相互竞争(胡雪凡等, 2021), 虽然更新密度高, 但生长也明显受到抑制, 这也是造成3个野杏种群更新幼株个体特征存在差异的重要因素。整体上野杏天然更新幼株个体特征受研究区域内生物和非生物因素影响显著, 在今后的研究中还应该关注如何度量各因素对更新的影响程度。

不同生境条件可使幼株的更新密度存在显著差异(贺丹妮等, 2020), 对植物天然更新具有重要的影响。新疆野杏以实生繁殖进行天然更新, 种子具有非深度生理休眠特性(张渊等, 2016), 即在不同生境中均可萌发定居, 但生境条件的异质性会导致不同生境更新幼株的特征存在差异(何中声等, 2012), 这

已被以往樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)更新幼苗的研究所证实(王锋和卢琦, 2019)。本研究中, 林窗生境更新密度显著高于空地和林下, 除了更新密度, 野杏幼株在空地生境中个体特征均显著优于林窗和林下, 其原因可能是林下至空地中心光照、温度、湿度显著的梯度性所致(Gagnon *et al.*, 2003; 刘少冲等, 2012)。野杏具有喜光、耐旱的特性, 更新幼株可利用空地所提供的较大空间尺度, 充分接收气候资源, 降低个体之间的竞争作用, 从而促进生长(朱凯月等, 2017)。说明稀疏林分或无上层林木遮挡更利于野杏幼株更新。

3.2 野杏幼株的空间分布格局

种群在一定空间或不同发育阶段均会形成特有的分布格局, 是不断适应环境条件和自然选择的结果(兰国玉和雷瑞德, 2003)。以往有研究表明新疆野

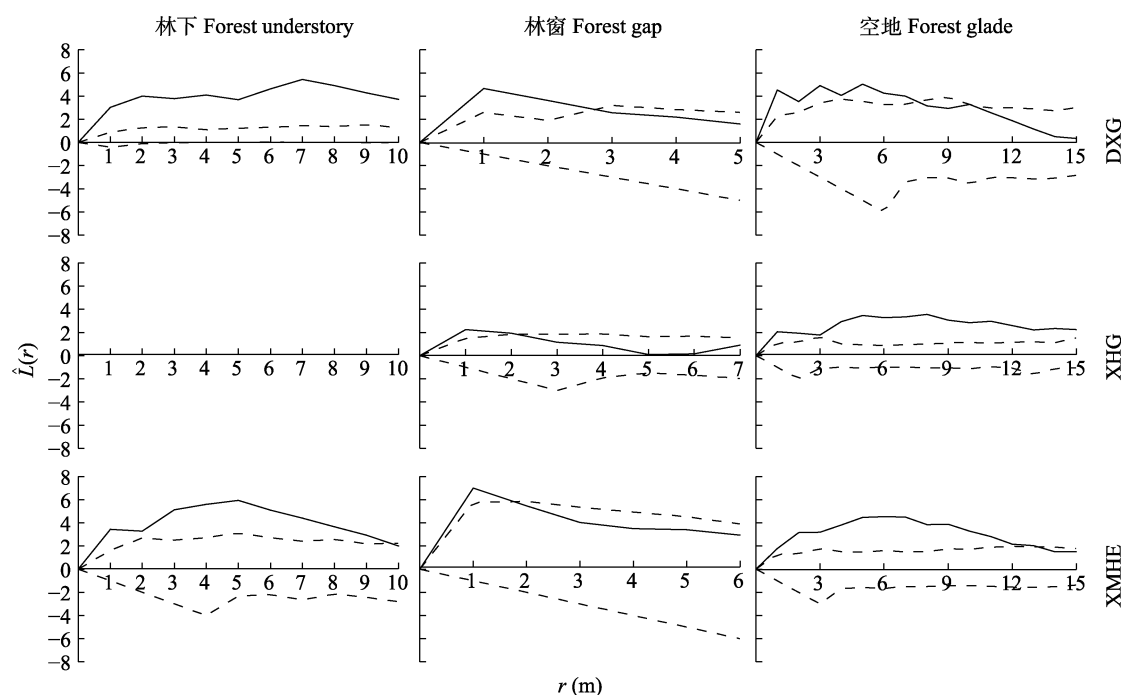


图5 新疆野杏种群内不同生境幼株空间分布格局。图中曲线为 $\hat{L}(r)$ 值, r 为空间尺度,虚线中间部分为置信区间。DXG, 大西沟; XHG, 杏花沟; XMHE, 小莫乎儿沟。

Fig. 5 Space distribution pattern of *Prunus armeniaca* young plants with different habitats in the population in Xinjiang. The curve in the figure is the $\hat{L}(r)$ value, r is spatial scale, and the middle part of the dashed line is the confidence interval. DXG, Daxigou; XHG, Xinghuagou; XMHE, Xiaomohu'ergou.

核桃种群在25 m²时整体呈聚集分布(张维等, 2016), 锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)从幼树到大树由聚集到随机甚至均匀分布(常伟等, 2016), 黄枝润楠(*Machilus versicolora*)林更新幼株呈聚集分布(吴联杯等, 2019)。本研究中, 新疆野杏更新幼株在5 m × 5 m尺度下主要呈聚集分布, 这与多数以往种群更新幼株分布结果研究相似, 而不同生境更新幼株的聚集强度有所不同, 其原因是野杏生物学与生态特性、野生生境条件、取样尺度和样地面积的综合作用所致(兰国玉和雷瑞德, 2003)。虽然林下生境更易聚集大量种源, 但树冠下充足的土壤水分带来的正效应并不足以弥补太阳辐射减弱和土壤温度降低带来的负效应(张盈和李君, 2018), 使得更新幼株只有在光照、温度适宜的小尺度下才能顺利更新(Calviño-Cancela, 2007), 从而造成聚集效果明显。通常林窗形成后改善了光照的利用率, 物种丰富度相对林下明显增加, 本研究中林窗生境的草本和灌木可直接截获野杏扩散的种源, 同时还可以改善土壤养分(Gómez-Aparicio, 2009)、水分(Li *et al.*, 2007)条件, 形成利于种子萌发的适宜生境, 使得更新幼株分布数量显著高于其他生境, 呈均匀分布, 但其

对更新幼株后期的生长起抑制作用。空地多为土层较薄的脊坡与陡坡, 植被覆盖度低, 草本生物量较林下和林窗低, 易受动物活动干扰, 建植的野杏幼株个体常分布于散生灌木丛中, 或者以灌木丛为中心聚集分布, 有效减少了动物啃食带来的机械损伤, 灌木为其建造了适宜生境(Peláez *et al.*, 2019; Guignabert *et al.*, 2020)。在本研究尺度范围内, 新疆野杏更新幼株点格局总体呈聚集分布, 不同生境下均随尺度增大由聚集趋向随机分布, 这与急尖长苞冷杉(Shen *et al.*, 2016)、栓皮栎(*Quercus variabilis*) (樊登星和余新晓, 2016)等树种天然更新格局相似。其原因与野杏种子扩散机制(张维等, 2016)、生境条件(张中惠等, 2021)有关。如野杏成熟种子颗粒饱满(质量大), 自由落种时被截获数量由林下、林窗至空地依次递减, 同时坡度、网状牧道、植被覆盖度也会影响种子扩散距离。而动物对种子的二次搬运也是影响其分布格局形成的重要因素, 在果实成熟期, 除了大型动物的食用搬运外, 小型动物常将果实运至灌木丛中及其周边, 食用果肉后留下成堆种子, 这也是空地生境稀疏植被条件下野杏更新幼株依靠灌木分布的重要因素。野杏天然更新以聚集为主的

格局分布, 是其适应自然选择、实现更新建植的策略。其能否实现天然更新, 与母树分布生境及萌发条件、土壤因子、水分保持、光照等环境条件密切相关, 同时, 与被搬运的种子能获得适宜的更新生境有关。如灌丛的微气候和小生境适宜其更新建植, 比单株孤立个体有更好的抵御能力(宋萍等, 2005)。

3.3 野杏幼株个体特征与分布格局的关系

种群分布格局受到生境条件的影响, 并与其自身的生长发育规律、更新特征和生态特性有关(康华靖等, 2007), 同时, 格局状态形成后反作用于物种个体特征的生长(吕延杰等, 2017), 本研究结果支持这一结论。野杏幼株格局形成初期由种子自身特性与传播能力决定, 并在适宜的生境成功定植, 但之后的生长阶段不仅受到生境的影响, 还受到生物因素的干扰, 导致野杏幼株只能依靠其他物种或自我聚集来抵抗不利因素, 增加抵御能力的同时不同程度上加剧了野杏与其他物种或种内之间的竞争, 使得占据良好生态位的幼株长势更好, 从而导致了幼株个体之间的差异, 表明野杏幼株个体特征与其分布格局紧密相关。

4 结论

通过调查发现, 新疆野杏更新幼株的生长对不同区域、不同生境作出了不同程度的响应, 其中, 大西沟和小莫乎儿沟均表现为更新幼株个体不足, 杏花沟缺乏更新后期幼株。

在不同生境中, 林下虽然是种子萌芽的适宜生境, 但是其环境条件最大程度上抑制了更新幼株的数量, 只有在小尺度上个别植株能实现更新; 林窗利于扩散后种子的萌发定植, 但幼株生长显著受阻; 空地显著促进更新植株的生长发育, 但阻碍更新前期幼株生存, 是限制种群在此生境更新的主要原因。

综合分析表明, 该种群天然更新在一定程度上受到抑制, 更新幼株主要呈聚集分布则是更新受阻下依靠群体抵抗限制的表现。现有更新与建植, 是其对生境变化、生存胁迫以及放牧干扰等因素作出的自然选择, 是种群可以延续发展的策略。在此背景下, 应加强干预保护, 以促进新疆野杏种群更新。

参考文献

Arsalan, Siddiqui MF, Ahmed M, Shaikat SS, Hussain A (2020). Population structure, age and growth rates of www.plant-ecology.com

- conifer species and their relation to environmental variables at Malam Jabba, Swat District, Pakistan. *Journal of Forestry Research*, 31, 429-441.
- Cai F (2000). A study on the structure and dynamics of *Cyclobalanopsis glauca* population at hills around lake in Hangzhou. *Scientia Silvae Sinicae*, 36(3), 67-72. [蔡飞 (2000). 杭州西湖山区青冈种群结构和动态的研究. 林业科学, 36(3), 67-72.]
- Calviño-Cancela M (2007). Seed and microsite limitations of recruitment and the impacts of post-dispersal seed predation at the within population level. *Plant Ecology*, 192, 35-44.
- Cao Q, Liao K, Sun Q, Liu J, Yang XF, Si HZ (2016). Morphological diversity of branches and leaves in *Armeniaca vulgaris* at Daxigou of Huocheng. *Nonwood Forest Research*, 34(3), 193-198. [曹倩, 廖康, 孙琪, 刘娟, 杨新峰, 司洪章 (2016). 霍城县大西沟野杏枝叶形态多样性. 经济林研究, 34(3), 193-198.]
- Chang W, Dang KL, Wu PH, Li MY (2016). Spatial pattern of secondary *Quercus aliena* var. *acuteserrata* forests in the Qinling Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 36, 1021-1029. [常伟, 党坤良, 武朋辉, 李明雨 (2016). 秦岭林区锐齿栎次生林种群空间分布格局. 生态学报, 36, 1021-1029.]
- Dey DC, Knapp BO, Battaglia MA, Deal RL, Hart JL, O'Hara KL, Schweitzer CJ, Schuler TM (2019). Barriers to natural regeneration in temperate forests across the USA. *New Forests*, 50, 11-40.
- Fan DX, Yu XX (2016). Spatial point pattern analysis of *Quercus variabilis* and *Pinus tabulaeformis* populations in a mountainous area of Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 36, 318-325. [樊登星, 余新晓 (2016). 北京山区栓皮栎林优势种群点格局分析. 生态学报, 36, 318-325.]
- Fang ZY, Li LY, Ai Kebai Er ML, Zhou L, Lu B (2019). Effects of human disturbance on plant diversity of wild fruit forests in western Tianshan Mountain. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 39(2), 267-274. [方紫妍, 李林瑜, 艾克拜尔·毛拉, 周龙, 陆彪 (2019). 人为干扰对西天山野果林群落结构和物种多样性的影响. 水土保持通报, 39(2), 267-274.]
- Gagnon JL, Jokela EJ, Moser WK, Huber DA (2003). Dynamics of artificial regeneration in gaps within a longleaf pine flatwoods ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 172, 133-144.
- Gómez-Aparicio L (2009). The role of plant interactions in the restoration of degraded ecosystems: a meta-analysis across life-forms and eco-systems. *Journal of Ecology*, 97, 1202-1214.
- Gong WY, Chen LH, Yu XX, Zheng XL, Zhang YQ (2018). Spatial structure of natural mixed coniferous-broadleaf secondary forest in Dahufang Reservoir area, eastern Liaoning. *Chinese Journal of Ecology*, 37, 3255-3261. [弓

- 文艳, 陈丽华, 余新晓, 郑学良, 张雪琪 (2018). 辽东大伙房水库库区天然针阔次生林林分空间结构. 生态学报, 37, 3255-3261.]
- Guignabert A, Augusto L, Gonzalez M, Chipeaux C, Delerue F (2020). Complex biotic interactions mediated by shrubs, revisiting the stress-gradient hypothesis and consequences for tree seedling survival. *Journal of Applied Ecology*, 57, 1341-1350.
- Han WJ, Yuan XQ, Zhang WH (2012). Effects of gap size on seedling natural regeneration in artificial *Pinus tabulaeformis* plantation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 23, 2940-2948. [韩文娟, 袁晓青, 张文辉 (2012). 油松人工林林窗对幼苗天然更新的影响. 应用生态学报, 23, 2940-2948.]
- He DN, Yang H, Wen J, Xie R (2020). Density and spatial distribution of seedlings and saplings in different gap sizes of a spruce-fir mixed stand in Changbai Mountains, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 31, 1916-1922. [贺丹妮, 杨华, 温静, 谢榕 (2020). 长白山云冷杉针阔混交林不同林隙下幼苗幼树密度及空间分布. 应用生态学报, 31, 1916-1922.]
- He ZS, Liu JF, Zheng SQ, Su SJ, Hong W, Wu ZY, Xu DW, Wu CZ (2012). Studies on the seeds dispersal and seedlings regeneration in gaps and understory of *Castanopsis kawakamii* natural forest. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 20, 506-512. [何中声, 刘金福, 郑世群, 苏松锦, 洪伟, 吴则焰, 徐道炜, 吴承祯 (2012). 格氏栲天然林林窗和林下种子散布及幼苗更新研究. 热带亚热带植物学报, 20, 506-512.]
- Hu XF, Zhang HR, Duan GS, Lu J (2021). Establishment and evaluation of tree competition index based on intersection and crowding. *Scientia Silvae Sinicae*, 57(4), 182-190. [胡雪凡, 张会儒, 段光爽, 卢军 (2021). 基于交角和密集度的竞争指数构建及评价. 林业科学, 57(4), 182-190.]
- Huang L, Zhu GY, Kang L, Hu S, Liu Z, Lu K (2019). Regeneration characteristics and related factors affecting saplings in *Quercus* spp. natural secondary forests in Hunan Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 39, 4900-4909. [黄朗, 朱光玉, 康立, 胡松, 刘卓, 卢侃 (2019). 湖南栎类天然次生林幼树更新特征及影响因子. 生态学报, 39, 4900-4909.]
- Jia WW, Xie XT, Jiang SW, Li FR (2017). Spatial distribution pattern of seedlings and saplings of three forest types by natural regeneration in Daxing'an Mountains Xinlin Forestry Bureau, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 28, 2813-2822. [贾炜玮, 解希涛, 姜生伟, 李凤日 (2017). 大兴安岭新林林业局3种林分类型天然更新幼苗幼树的空间分布格局. 应用生态学报, 28, 2813-2822.]
- Jiang B, Zhou XR, Shang J, Wang JH, Song H, Qin MY, Liu XN, Wang Q (2018). Population structure and dynamics of *Torreya fargesii* Franch., a plant endemic to China. *Acta Ecologica Sinica*, 38, 1016-1027. [江波, 周先容, 尚进, 汪建华, 宋航, 秦明一, 刘雪凝, 王庆 (2018). 中国特有植物巴山榧树的种群结构与动态. 生态学报, 38, 1016-1027.]
- Kang HJ, Liu P, Chen ZL, Liao CC, Li CH, Chen WX, Lei ZP (2007). Size-class structure and distribution pattern of *Emmenopterys henryi* in different habitats. *Scientia Silvae Sinicae*, 43(12), 22-27. [康华靖, 刘鹏, 陈子林, 廖承川, 李成惠, 陈卫新, 雷祖培 (2007). 不同生境香果树种群的径级结构与分布格局. 林业科学, 43(12), 22-27.]
- Lan GY, Lei RD (2003). Brief introduction of spatial methods to distribution patterns of population. *Journal of Northwest Forestry University*, 18(2), 17-21. [兰国玉, 雷瑞德 (2003). 植物种群空间分布格局研究方法概述. 西北林学院学报, 18(2), 17-21.]
- Li J, Zhao C, Zhu H, Li Y, Wang F (2007). Effect of plant species on shrub fertile island at an oasis-desert ecotone in the South Junggar Basin, China. *Journal of Arid Environments*, 71, 350-361.
- Li N, Bai B, Lu CH (2011). Recruitment limitation of plant population, from seed production to sapling establishment. *Acta Ecologica Sinica*, 31, 6624-6632. [李宁, 白冰, 鲁长虎 (2011). 植物种群更新限制——从种子生产到幼树建成. 生态学报, 31, 6624-6632.]
- Li WW, Liu LQ, Wang YN, Fan GQ, Zhang SK, Wang YT, Liao K (2020a). Determination of genome size and chromosome ploidy of selected taxa from *Prunus armeniaca* by flow cytometry. *Scientia Horticulturae*, 261, 108987. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108987.
- Li WW, Liu LQ, Wang YN, Zhang QP, Fan GQ, Zhang SK, Wang YT, Liao K (2020b). Genetic diversity, population structure, and relationships of apricot (*Prunus*) based on restriction site-associated DNA sequencing. *Horticulture Research*, 7, 69. DOI: 10.1038/s41438-020-0284-6.
- Liu SC, Duan WB, Zhong CY, Chen LX, Wang LX (2012). Dynamic changes in soil temperature water content nutrition and microorganisms of different size gaps in the mixed broadleaved Korean pine forest. *Journal of Soil and Water Conservation*, 33(17), 78-83. [刘少冲, 段文标, 钟春艳, 陈立新, 王丽霞 (2012). 阔叶红松林不同大小林隙土壤温度、水分、养分及微生物动态变化. 水土保持学报, 33(17), 78-83.]
- Liu Y, Wei CX, Zhou SX, Tang JS, Han CX, Shao H (2019). Identification of pathogenic fungi causing leaf spot of *Malus sieversii* and *Impatiens brachycentra* growing in the wild fruit forest of Tianshan Mountain. *Journal of Plant Protection*, 46, 345-351. [刘瑜, 魏彩霞, 周世兴, 汤界世, 韩彩霞, 邵华 (2019). 天山野果林塞威士苹果和短距凤仙花叶斑病病原真菌的鉴定. 植物保护学报, 46, 345-351.]
- Liu Z, Li HL, Dong Z, Li GT, Wan LL, Yue YJ (2012). The spatial point pattern of *Ulmus pumila* population in two

- habitats in the Otindag sandy land. *Scientia Silvae Sinicae*, 48(1), 29-34. [刘振, 李红丽, 董智, 李钢铁, 万玲玲, 岳永杰 (2012). 浑善达克沙地2种生境下榆树种群空间点格局. *林业科学*, 48(1), 29-34.]
- Lu NN, Wang XJ, Zhang P, Gao ZX, Guo Q, Chen Y, Li HP (2015). Path analysis between diameter at breast height, height and crown width of *Cunninghamia lanceolata* in different age. *Journal of Northeast Forestry University*, 43(4), 12-16. [卢妮妮, 王新杰, 张鹏, 高志雄, 郭琦, 陈阳, 李海萍 (2015). 不同林龄杉木胸径树高与冠幅的通路分析. *东北林业大学学报*, 43(4), 12-16.]
- Lü YJ, Yang H, Zhang Q, Wang QJ, Sun Q (2017). Effects of spatial structure on DBH increment of natural spruce-fir forest. *Journal of Beijing Forestry University*, 39(9), 41-47. [吕延杰, 杨华, 张青, 王全军, 孙权 (2017). 云冷杉天然林林分空间结构对胸径生长量的影响. *北京林业大学学报*, 39(9), 41-47.]
- Ma C, Yang ML, Zhang YX, Yan GR, Xu Z (2018). Age composition and dynamic characteristics of the main populations of endangered *Malus sieversii*. *Arid Zone Research*, 35, 156-164. [马闯, 杨美玲, 张云秀, 阎国荣, 许正 (2018). 新疆野苹果(*Malus sieversii*)种群年龄结构及其动态特征. *干旱区研究*, 35, 156-164.]
- Ma LW, Zhang WH, Xue YQ, Ma C, Zhou JY (2010). Growth characteristics and influencing factors of *Quercus variabilis* seedlings on the north slope of Qinling Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 30, 6512-6520. [马莉薇, 张文辉, 薛瑶芹, 马闯, 周建云 (2010). 秦岭北坡不同生境栓皮栎实生苗生长及其影响因素. *生态学报*, 30, 6512-6520.]
- Pardos M, del Castillo JR, Cañellas I, Montero G (2005). Ecophysiology of natural regeneration of forest stands in Spain. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 14, 434. DOI: 10.5424/srf/2005143-00939.
- Peláez M, Dirzo R, Fernandes GW, Perea R (2019). Nurse plant size and biotic stress determine quantity and quality of plant facilitation in Oak savannas. *Forest Ecology and Management*, 437, 435-442.
- Shen ZQ, Lu J, Hua M, Fang JP (2016). Spatial pattern analysis and associations of different growth stages of populations of *Abies georgei* var. *smithii* in Southeast Tibet, China. *Journal of Mountain Science*, 13, 2170-2181.
- Song P, Hong W, Wu CZ, Feng L, Fan HL, Zhu H, Lin YM, Zhang Q (2005). Population structure and its dynamics of rare and endangered plant *Alsophila spinulosa*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 16, 413-418. [宋萍, 洪伟, 吴承祯, 封磊, 范海兰, 朱慧, 林勇明, 张琼 (2005). 珍稀濒危植物桫欏种群结构与动态研究. *应用生态学报*, 16, 413-418.]
- Wang F, Lu Q (2019). A spatial-explicit seedling recruitment model for scattered individual trees of *Pinus sylvestris* var. *mongolica*. *Scientia Silvae Sinicae*, 55(8), 1-8. [王锋, 卢琦 (2019). 沙地樟子松散生单木的天然更新幼苗空间分布模型. *林业科学*, 55(8), 1-8.]
- Wu JSGL, Wang JF, Zheng XX, Wang YJ, Liu XL (2009). Spatial structure pattern of regeneration seedlings from over-logged forest in Jingouling forest farm. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 29(4), 21-25. [乌吉斯古楞, 王俊峰, 郑小贤, 王艳洁, 刘小丽 (2009). 金沟岭林场过伐林更新幼苗空间结构分析. *中南林业科技大学学报*, 29(4), 21-25.]
- Wu LB, Zheng SJ, Zhang S, Deng BW, Zheng DX (2019). Basic characteristics and distribution type of regeneration saplings and seedling under *Machilus versicolora* stand. *Forestry Prospect and Design*, 39(1), 11-15. [吴联杯, 郑淑娟, 张硕, 邓博文, 郑德祥 (2019). 黄枝润楠林下更新幼树幼苗基本特征及分布类型. *林业勘察设计*, 39(1), 11-15.]
- Xie CQ, Tian MX, Zhao ZR, Zheng WL, Wang GY (2015). Spatial point pattern analysis of *Abies georgei* var. *smithii* in forest of Sygera Mountains in southeast Tibet, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 26, 1617-1624. [解传奇, 田民霞, 赵忠瑞, 郑维列, 王国严 (2015). 西藏色季拉山急尖长苞冷杉种群点格局分析. *应用生态学报*, 26, 1617-1624.]
- Yang QX, Liu LQ, Qin W, Diao YQ, Zhao ZJ, Wu R, Zhang B (2022). Population structure characteristics and health evaluation of *Armeniaca vulgaris* Lam. *Chinese Journal of Ecology*, 41, 9-17. [杨其享, 刘立强, 秦伟, 刁永强, 赵忠晶, 乌仁其米格, 张博 (2022). 新疆野杏种群结构特征与健康评价. *生态学杂志*, 41, 9-17.]
- Yang YC, Huang L, Qian SH, Fukuda K (2015). Completing the life history of *Castanopsis fargesii*: changes in the seed dispersal, seedling and sapling recruitment patterns. *European Journal of Forest Research*, 134, 1143-1154.
- You LY, Cheng G, Liu LQ, Xie GG, Liao K (2019). Dynamics and correlation analysis of growth and development of root system and above-ground part of *Armeniaca vulgaris* Lam. in Xinyuan wild fruit forest. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 42, 9-14. [尤璐瑶, 程功, 刘立强, 颀刚刚, 廖康 (2019). 新源野果林野杏根系与地上部生长发育动态及相关性分析. *新疆农业大学学报*, 42, 9-14.]
- Zhai ZY, Qiu J, Si HZ, Yang XF, Liu LQ (2019). Effects of microtopography on germination layer soil factors in *Armeniaca vulgaris* Lam. in Daxigou. *Acta Ecologica Sinica*, 39, 2168-2179. [翟朝阳, 邱娟, 司洪章, 杨新峰, 刘立强 (2019). 微地形对大西沟新疆野杏萌发层土壤因子的影响. *生态学报*, 39, 2168-2179.]
- Zhang W, Li HY, Lai XH, Yang YF (2016). Distribution patterns of *Juglans cathayensis* populations at different slope aspects in Tianshan valley in Xinjiang, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 27, 3105-3113. [张维, 李海燕, 赖晓辉, 杨允菲 (2016). 新疆天山峡谷不同坡向野核桃种群分布格局. *应用生态学报*, 27,

3105-3113.]

- Zhang Y, Li J (2018). Spatial patterns of soil seed bank and seedlings in the Gurbantunggut desert, the nurse effect of shrubberies. *Arid Zone Research*, 35, 1138-1145. [张盈, 李君 (2018). 古尔班通古特沙漠土壤种子库和幼苗的空间格局——灌丛的“保护效应”. 干旱区研究, 35, 1138-1145.]
- Zhang Y, Liu LQ, Zhai ZY (2016). Study on seed storage and germination characteristics of *Armeniaca vulgaris* Lam. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 39, 366-372. [张渊, 刘立强, 翟朝阳 (2016). 新疆野杏种子贮藏方式和萌发特性的研究. 新疆农业大学学报, 39, 366-372.]
- Zhang ZH, Guo JB, Wang YH, Wang X (2021). Population structure and spatial distribution pattern of *Quercus wutaishanica* in Liupan Mountains. *Journal of Zhejiang A&F University*, 38, 1091-1099. [张中惠, 郭建斌, 王彦辉, 王晓 (2021). 六盘山辽东栎林种群结构和空间分布格局. 浙江农林大学学报, 38, 1091-1099.]
- Zhu JJ, Zhang GQ, Wang GG, Yan QL, Lu DL, Li XF, Zheng X (2015). On the size of forest gaps: can their lower and upper limits be objectively defined? *Agricultural and Forest Meteorology*, 213, 64-76.
- Zhu KY, Wang QC, Wu WJ (2017). Effect of gap size on growth and morphology of transplanted saplings of *Quercus mongolica* and *Fraxinus mandshurica*. *Scientia Silvae Sinicae*, 53(4), 150-157. [朱凯月, 王庆成, 吴文娟 (2017). 林隙大小对蒙古栎和水曲柳人工更新幼树生长和形态的影响. 林业科学, 53(4), 150-157.]

责任编辑: 李镇清 责任编辑: 乔鲜果