DOI: 10.5846/stxb202111173236
郭传超,周伟权,石荡,蒋南林,唐莹莹,刁永强,刘立强.新疆野杏开花物候与花器官对海拔的响应.生态学报,2023,43(2):789-797.
Guo C C,Zhou W Q,Shi D,Jiang N L,Tang Y Y,Diao Y Q,Liu L Q.The flowering phenological period and floral organ response to altitude in *Prunus armeniaca*.Acta Ecologica Sinica,2023,43(2):789-797.

新疆野杏开花物候与花器官对海拔的响应

郭传超[1],周伟权[1],石 荡[1],蒋南林[1],唐莹莹[1],刁永强[2],刘立强[1,*]
1 新疆农业大学园艺学院, 乌鲁木齐 830052
2 伊犁州林业科学研究院, 伊宁 839300

摘要:新疆野杏 (*Prunus armeniaca* Lam.)是天山野果林的优势种,具有重要的生态与资源价值。野果林的生境条件与其分布及生长密切相关。为了明确新疆野杏在不同海拔下的开花物候与花器官变化规律,于2021年3月—4月,选择新疆新源县吐尔根杏花沟野杏林为研究区,在野杏集中分布的1000—1500m的山地,由低到高划分Ⅰ—Ⅴ级海拔梯度设置样地,监测环境条件,对野杏群体开花物候期与花器官发育特征进行调查。结果表明:(1)新疆野杏群体开花物候期历时32d左右,各海拔梯度最长相差2d,第Ⅰ级与第Ⅱ级海拔的开花物候期差异不明显,其他海拔梯度间均存在显著差异,开花最晚的第Ⅴ级比最早的第Ⅰ级晚9d,但群体开花期长4d,海拔梯度与开花物候期呈显著正相关,而温度与开花物候期呈显著负相关;(2)新疆野杏的花萼长度和宽度、子房高度和宽度均是第Ⅱ级海拔的最大;花冠直径、花瓣纵径和横径均是第Ⅰ级的最大,花药长度和宽度均是第Ⅳ级的最大;花柱长度是第Ⅴ级的最大。海拔与花的外部器官、雌蕊呈显著负相关,与雄蕊呈显著正相关;光照强度与花的外部器官、雌蕊呈显著负相关;(3)新疆野杏开花期气候因子,第Ⅳ级、第Ⅴ级与第Ⅰ级存在显著差异,海拔梯度与湿度、光照强度呈显著正相关,与温度呈显著负相关。新疆野杏群体开花物候期历时约32d,随海拔升高,野杏林地光照强度增强,温度降低,湿度增大;野杏开花物候期推迟,开花期历时增长,每升高100m,开花期推迟约1.8d;野杏花雄蕊发育逐渐增大,雌蕊和花的外部器官发育逐渐减小,是新疆野杏对海拔变化的适应性。研究结果可以为野杏种群分布适应性研究提供理论依据。

关键词:新疆野杏;海拔;开花物候期;花器官特征;气候因子

The flowering phenological period and floral organ response to altitude in *Prunus armeniaca*

GUO Chuanchao[1], ZHOU Weiquan[1], SHI Dang[1], JIANG Nanlin[1], TANG Yingying[1], DIAO Yongqiang[2], LIU Liqiang[1,*]
1 *College Horiculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi* 830052, *China*
2 *Academy of Forestry in Ili, Yining* 839300, *China*

Abstract: *Prunus armeniaca* Lam. is the dominant species in the wild fruit forest in the Tianshan Mountains and has important values of ecology and resource. The altitude of wild fruit forest is closely linked to its distribution and growth. To clarify the changes of flowering phenological period and floral organs of *P. armeniaca* in different altitudes, the *P. armeniaca* forest in Tuergenxinghuagou, Xinyuan County, Xinjiang was selected as the research region from March to April 2021. In the mountainous area of 1000—1500 m with concentrated distribution of *P. armeniaca*, the sample plots were set up at the altitude gradient of I—V grade from low to high. We monitored the environmental conditions, and investigated the flowering phenological period and floral organ development characteristics of *P. armeniaca* population. The results showed that:

基金项目:第三次新疆综合科学考察课题(2021xjkk0501);国家自然科学基金项目(31460190);国家重点研发计划课题(2016YFC0501504);农业农村部服务项目(125A0605)
收稿日期:2021-11-17; **网络出版日期**:2022-09-23
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: llq9989@126.com

(1) the flowering phenological period of *P. armeniaca* population lasted about 32 d, and the longest difference of each altitude gradient was 2 d. There was no significant difference in flowering phenological period between the grade I and grade Ⅱ, and there were significant differences between other altitude gradients. The last flowering grade V was 9 d later than the earliest flowering grade I, but the flowering phenological period of the *P. armeniaca* population was 4 d. The altitude was significantly positively correlated with the flowering phenological period, while temperature was significantly negatively correlated with flowering phenological period; (2) The sepalled length and width, ovary height and width of *P. armeniaca* were the largest at grade II; corolla diameter, petal longitudinal diameter and transverse diameter were the largest in grade I, while the anther length and width were the largest in grade IV; the style length was the largest in grade V. Altitude was significantly negatively correlated with the external organs and pistils of flowers, and positively correlated with the stamens. Light intensity was significantly negatively correlated with the external organs and pistils of flowers; (3) Climatic factors for the flowering period of *P. armeniaca*, with significant differences between grade IV, grade V and grade I. Altitude gradient and humidity, light intensity showed significantly positive correlation, altitude gradient and temperature showed significantly negative correlation. The flowering phenological period of *P. armeniaca* population in Xinjiang lasted about 32 d. As altitude rises, light intensity increases, temperature decreases and humidity increases in *P. armeniaca* woodlands. The flowering phenological period of *P. armeniaca* was delayed, and the flowering period increases in duration, with each 100m rise delaying flowering by about 1.8 d; the development of stamens gradually increased, and the development of external organs of pistils and flowers gradually decreased, which was the adaptability of *P. armeniaca* to altitude changes. The results can provide a theoretical basis for the study on the adaptability of *P. armeniaca* population distribution.

Key Words: *Prunus armeniaca* Lam.; altitude; flowering phenological period; floral organ characteristics; climate factor

物候期是指动植物的生长、发育、活动等规律与生物的变化对节候的反应[1]。植物物候是植被对环境变化的反映,地理条件可通过气候变化影响植物物候期,不同的地形[2]与其相应的温度[3]、光照[4]、降水[5]等环境因子均可影响物候期[6—7]。尤其是多样的山地区域气候,对植被物候期的影响机制更为复杂[8—10]。其中,海拔在地形、区域小气候和植物物候期的地域分异中扮演着重要作用,如新疆不同生态分布区植被的物候期具有明显的纬向分布和垂直带性[11],祁连山青海云杉物候期随着海拔升高而推迟[12];川藏区的金冠苹果开花期的先后顺序是冷量高原区、干暖河谷区、青藏高原区[13];甘肃天水海拔 1800m 区域的樱桃比 1020m 的晚开花 15d[14];陕西白水县东部低海拔区的苹果开花期比西部高海拔区早[15]等。开花物候期是植物物候观测的重要部分,体现了植物的自身特性及其对生存环境的适应性[16]。其在不同环境下的变化规律与花器官发育,决定了植物的繁殖生态学特性[17]。花器官发育受海拔的影响已有较多研究结果,如海拔对植物繁殖器官的寿命、大小、生物量等具有显著影响[18—19];毛艮状金莲花[20]和弯管花属植物[21]的花器官发育与居群所在海拔存在不同程度的相关性;不同海拔紫斑风铃草花器官有差异[22]。这表明海拔与决定植物延续能力的生殖系统发育特征密切相关。因此,开展海拔对植物开花物候期和花器官发育特征的影响研究,对全面掌握植物对环境的适应性具有重要意义[23—24]。

新疆野杏 (*Prunus armeniaca* Lam.)是世界栽培杏的原生起源种群[25],国家二级重点保护珍稀野生果树,在新疆野果林生态系统中具有重要的地位和作用[26—27]。但是,由于环境变化、病虫危害和人类活动等的多重扰动,野杏种群繁衍受阻、分布范围内数量减少、病虫损伤程度严重、退化趋势显著,遗传多样性和种质资源受到威胁[28—29]。新疆野杏通过实生繁殖实现天然更新,能够正常发育的花与结实是其获得更新种源的重要基础。野杏在伊犁河谷两岸海拔 1000—1700m 山地分布[30],垂直分布群体的开花生物学特性与适应性还尚不明确。本文选择新疆伊犁新源县吐尔根杏花沟野杏典型分布区域,研究不同海拔梯度野杏林的气候因子、野杏开花物候期和花器官差异及其相互关系,以期为野杏种群生态适应性研究与当地的人工更新提供一定理论依据,也可为当地旅游的野杏花期预报提供参考。

1　研究地区与研究方法

1.1　研究地区概况

研究区位于新疆新源县吐尔根乡杏花沟,地处东经 82°25′—84°56′、北纬 43°03′—43°40′,属于温带大陆半干旱气候,年均气温 9.5℃,年降水量 529.1mm,年日照时数 2748.0h。生长期年平均 256d,无霜期年平均 160d,0℃以上持续期 256d[31—32]。

研究区的新疆野杏属纯野杏林,林地土壤为黑钙土,腐殖质层较厚,研究样地域内没有其他乔木树种和灌木,草本层丰富,共观察到草本植物 54 种,分属 18 科,36 属,种类最多的前 5 个科分别是禾本科(Gramineae)、唇形科(Labiatae)、十字花科(Cruciferae)、豆科(Leguminosae)和荨麻科(Urticaceae),在样地还发现了菊科(Compositae)的入侵种三裂叶豚草(*Ambrosia trifida* L)等。

1.2　海拔梯度划分与样地设置

于 2021 年 3 月—4 月,经踏查,研究区的新疆野杏在海拔 960—1634m 的山坡皆有分布,1000—1500m 是集中分布区,在 1550m 以上,群体数量逐渐较少,分布稀疏。为了充分反应新疆野杏的群体开花物候规律,本研究选择野杏集中分布区域,海拔每升高 100m 作为一个梯度[33],共划分 5 个梯度,以能全面反应野杏分布特征为原则,综合考虑样地地形,由低到高共设置 8 个 20m×20m 的样地,用 GPS 测定海拔、经纬度,用罗盘测定坡向、坡度等,对地形因子分类,划分出不同立地类型[34],并监测样地气候。样地地形与 4 月气候因子概况见表 1。

表 1　样地地形与气候因子概况

Table 1　Topographic and climatic factors of sample plots

海拔梯度 Altitude gradient	样地编号 Sample plots number	样地海拔 Sample plot altitude/m	经度 Longitude/E	纬度 Latitude/N	坡位 Slope position	坡向 Slope aspect/(°)	坡度 Slope/(°)	立地类型 Site type	4 月均光照强度 Average light intensity in april/lux	4 月均温度 Average temperature in april/℃	4 月均湿度 Average humidity in april/%
Ⅰ(1000—1200m)	1	1118.8	83°26′18.88″	43°32′35.71″	沟谷	南 180.0	8.4	北山沟谷	47705.0	17.1	39.9
	2	1157.2	83°26′13.43″	43°32′26.24″	上坡	东北 56.0	31.1	北山阴坡陡坡	14449.4	16.5	41.4
Ⅱ(1100—1300m)	3	1231.5	83°26′19.07″	43°32′44.70″	中坡	南 186.7	22.4	北山阳坡缓坡	22853.8	16.3	41.6
	4	1251.5	83°26′22.26″	43°32′47.58″	中坡	东 101.3	30.1	北山阴坡陡坡	15146.8	15.4	42.6
Ⅲ(1200—1400m)	5	1340.6	83°26′04.52″	43°32′56.73″	中坡	东南 136.3	23.9	北山阳坡缓坡	50493.2	16.1	40.6
	6	1358.1	83°25′57.66″	43°32′54.17″	上坡	西 263.3	35.1	北山阳坡陡坡	35105.3	15.5	41.2
Ⅳ(1300—1500m)	7	1470.2	83°26′01.10″	43°33′07.83″	中坡	西南 200.0	34.7	北山阳坡陡坡	46606.7	13.2	46.3
Ⅴ(>1500m)	8	1566.6	83°25′57.16″	43°33′12.′48′	中坡	东南 120.0	27.5	北山阳坡陡坡	47270.5	13.1	43.3

1.3　气候因子观测

在每个样地各放置 1 个 HOBO MX2202 照度仪(ONSET 公司)和 EL-USB-2 温湿度仪(ASCAR 公司),照度仪固定于样地中心树干中上部朝南位置,温湿度仪放置于百叶箱中悬挂于树干中部,观测时间为每天 10:00—18:00,设置每间隔 1h 记录 1 次光照强度、温度、湿度数据,数据见图 1。

1.4　野杏树龄的确定

胸径(DBH)结构是一个容易获取且精确度较高的指标,实际研究中常用胸径结构代替年龄结构,采用空

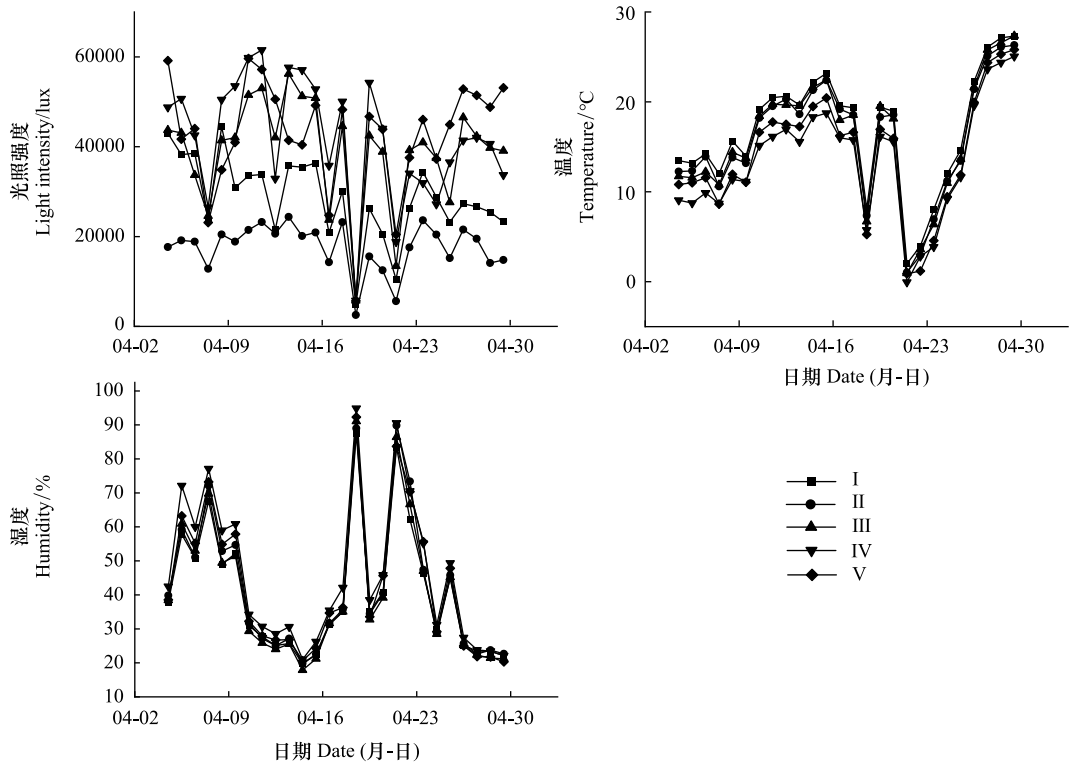

图 1 不同海拔梯度的新疆野杏开花期气候数据

Fig.1 Climatic data map of *P. armeniaca* blooming period at different altitude gradients

Ⅰ:第Ⅰ级海拔梯度;Ⅱ:第Ⅱ级海拔梯度;Ⅲ:第Ⅲ级海拔梯度;Ⅳ:第Ⅳ级海拔梯度;Ⅴ:第Ⅴ级海拔梯度

间代替时间和大小结构分析法来研究野杏树树龄[35],依据《中国新疆野生果树研究》[36]野生果树调查分级标准将种群分为不同年龄段:幼苗 H<30cm,幼树 H>30cm,DBH<2.5cm;小树 DBH2.6—15cm;中树 DBH 16—25cm;成树 DBH 26—35cm;大树 DBH 36—60cm;特大树 DBH 60cm 以上。对 5 个海拔梯度野杏树进行充分调查,发现胸径 16—24cm 之间的野杏树在 5 个海拔梯度均有分布,数量相对较多,具有一定代表性,因此本研究主要选择中树作为研究对象。

1.5 开花物候期的观察

每个海拔选取 10 棵样树进行观测,根据样树开花情况对各海拔野杏开花物候期进行判断,进而得出新疆野杏群体开花物候期的规律。每株按照 4 个垂直方向各选择 1 个中型结果枝组参照杏种质资源描述规范[37]的标准观测物候期:露萼期(全树约有 5%的枝条的花芽鳞片绽开,花萼顶端露出的日期)、露瓣期(全树约有 5%的枝条的花芽花萼绽开,花瓣开始露白的日期)、初花期(全树约有 5%以上的花朵开放的日期)、盛花期(全树约有 50%的花朵开放的日期)和落花期(全树约有 50%花朵脱落的日期)。

1.6 花器官形态观测

于盛花期,在每个样地选取 3 株生长健康、胸径相近、长势一致的样树,在样树的南侧采集 1 个长势一致的中型结果枝组,将每根花枝上完全展开的花全部摘下混匀,从中随机选取 30 朵花,用卡尺测量每朵花的外部器官(花萼长度与宽度、花冠直径、花瓣纵径与横径)、雄蕊(花丝长度、花药长度与宽度)和雌蕊(花柱长度、子房高度与宽度)形态,采用目测法观察花瓣形状和颜色等质量性状,每个样地重复三组。对于花器官质量性状进行赋值[37],花瓣形状:1(卵圆形),2(圆形),3(椭圆形),4(条形);花瓣颜色:1(白),2(浅粉红),3(深粉红),4(红)。

1.7 数据处理与分析

将观测不同样地各物候期日期转化为距同年 1 月 1 日的日序(day of year, DOY),得到各海拔梯度野杏

开花物候期的时间序列。

利用 Excel 2019 对数据进行初步处理。利用 Origin2021 作图。采用单因素方差分析（one-way ANOVA）对不同海拔梯度的花器官特征、开花期气候因子进行显著性分析;且当结果在 $\alpha = 0.05$ 水平显著时,通过 Duncan′s 进行多重比较。采用 Pearson 相关分析方法,分析海拔、气候因子、物候期、花器官特征之间的相关性,显著性检验采用双尾检验,$P<0.05$ 为差异显著,$P<0.01$ 为差异极显著。上述分析在 SPSS 19.0 中进行。

2　结果与分析

2.1　不同海拔梯度新疆野杏的开花物候期

由表 2 可知,新疆新源县吐尔根杏花沟野杏群体开花物候期历时 32d 左右（从露萼期至落花期),各海拔梯度平均历时 24d,最大相差 2d。总体规律是随着海拔的升高,野杏开花物候期开始的时间逐渐推迟,第Ⅰ级海拔与第Ⅱ级间开花物候期差异不明显,其他海拔级间有明显差异。野杏露萼期最早的第Ⅰ级与最晚的第Ⅴ级相差 9d,各时期差异最大;初花期最早的第Ⅱ级与最晚的第Ⅴ级相差 5d,各时期差异最小。不同海拔梯度的野杏,开花期（初花期至落花期)平均历时 8—12d,第Ⅴ级海拔的历时最长;露萼期变异系数最大(4.52%),其开始时间较为分散、差异较大;初花期变异系数最小(2.30%)其开始时间最集中、差异较小。

表 2　不同海拔梯度的野杏开花物候期（月-日）

Table 2　Flowering phenological period of *P. armeniaca* at different altitude gradients

海拔梯度 Altitude gradient	开花物候期 Flowering phenological period				
	露萼期 Show speal time	露瓣期 Show petal time	初花期 Early bloom time	盛花期 Full bloom time	落花期 Fall bloom time
Ⅰ	3-22—3-30	3-31—4-8	4-9—4-10	4-10—4-12	4-13—4-16
Ⅱ	3-22—3-31	4-1—4-7	4-8—4-9	4-9—4-12	4-13—4-16
Ⅲ	3-24—4-1	4-2—4-8	4-9—4-11	4-11—4-14	4-15—4-17
Ⅳ	3-28—4-4	4-5—4-11	4-12—4-13	4-13—4-16	4-17—4-20
Ⅴ	3-31—4-6	4-7—4-12	4-13—4-15	4-15—4-19	4-20—4-24
极差 Range/d	9	7	5	6	7
变异系数 Coefficient of variation/%	4.52	3.25	2.30	2.75	3.13

2.2　不同海拔梯度新疆野杏的花器官特征

由表 3 可知,不同海拔梯度的新疆野杏花器官发育特征。花萼长度与宽度、子房高度与宽度均是第Ⅱ级最大,第Ⅳ级最小,分别相差 11.93%、15.90%、27.76%、34.35%,与其他海拔级均存在显著差异;花冠直径、花瓣纵径和横径、花丝长度均是第Ⅰ级海拔的最大,第Ⅳ级的最小,分别相差 12.48%、15.41%、11.48%、19.68%,其中花冠直径、花瓣纵径均与其他海拔级的存在显著差异,花瓣横径与第Ⅱ级海拔的无显著差异,但与其他海拔级的均存在显著差异,花丝长度只与第Ⅳ级海拔的存在显著差异;不同海拔梯度的花药长度、花药宽度是第Ⅳ级最大,第Ⅲ级的最小,分别相差 14.68%、26.83%,花药长度与其他海拔级均无显著差异,花药宽度与除第Ⅴ级外的其他海拔级均存在显著差异;不同海拔梯度的花柱长度是第Ⅴ级海拔的最大,第Ⅳ级的最小,相差 46.23%,与除第Ⅱ级的其他海拔级均存在显著差异。5 个海拔梯度的野杏,花瓣为白色者最多,其次是浅粉红色,在第Ⅰ级海拔有少量深粉红色分布;花瓣皆为卵圆形和圆形,花色与花瓣形状无显著差异。

2.3　不同海拔的气候特征

由表 4 可知,不同海拔梯度新疆野杏开花期的林地气候特征。随海拔梯度升高:光照强度分布逐渐增强,由低到高顺序是Ⅱ、Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ（47270.5Lux),最大相差 59.81%,第Ⅴ级与第Ⅰ、Ⅱ级存在显著差异,但与第Ⅲ、Ⅳ级无显著差异;温度逐级降低,最大相差 22.02%,Ⅰ至Ⅲ级间、Ⅳ与Ⅴ级间均没有显著差异,但是Ⅰ至Ⅲ级海拔与Ⅳ、Ⅴ级有显著差异;湿度逐渐增大,从第Ⅰ级到第Ⅴ级湿度增大了 6.00%,第Ⅳ级与第Ⅰ、Ⅲ级海拔存在显著差异,但与第Ⅱ、Ⅴ级海拔差异不显著。第Ⅱ级海拔的光照强度最低,其湿度高于第Ⅲ级海拔。结

合表 1 可知,海拔相近但坡向不同的样地 3 和样地 4 气候因子具有明显差异,阳坡的光照强度明显高于阴坡,而阳坡的湿度明显低于阴坡。坡向、坡位等微地形[38]变化是造成上述气候因子出现个别梯度未随海拔递变的原因。

表 3 不同海拔梯度新疆野杏花器官特征

Table 3 Flower organ characteristics of *P. armeniaca* at different altitudes

花器官指标 Floral organ index	海拔梯度 Altitude gradient				
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
花萼长度 Sepalled length/mm	4.23±0.08b	4.61±0.11a	4.08±0.09b	4.06±0.08b	4.23±0.11b
花萼宽度 Sepalled widt/mmh	3.41±0.06b	3.90±0.10a	3.31±0.08b	3.28±0.06b	3.59±0.08b
花冠直径 Corolla diameter/mm	24.36±0.41a	21.84±0.36b	21.41±0.38b	21.32±0.40b	22.11±0.47b
花瓣纵径 Petal longitudinal diameter/mm	10.58±0.18a	9.67±0.15b	9.13±0.22b	8.95±0.18b	9.72±0.21b
花瓣横径 Petal transverse diameter/mm	8.45±0.18a	8.08±0.13ab	7.81±0.19ab	7.48±0.18b	7.61±0.19b
花丝长度 Filament length/mm	9.91±0.24a	9.46±0.26a	9.40±0.14a	7.96±0.14b	9.61±0.40a
花柱长度 Style length/mm	8.82±0.30b	11.37±0.46a	8.53±0.53b	6.13±0.50c	11.40±0.53a
子房高度 Ovary height/mm	3.33±0.11b	4.07±0.14a	3.32±0.21b	2.94±0.20b	3.31±0.10b
子房宽度 Ovary width/mm	1.74±0.07b	2.30±0.07a	1.61±0.10b	1.51±0.10b	1.79±0.06b
花药长度 Anther length/mm	0.95±0.03a	0.95±0.04a	0.93±0.03a	1.09±0.05a	1.05±0.06a
花药宽度 Anther width/mm	0.66±0.03bc	0.64±0.03c	0.60±0.02c	0.82±0.04a	0.76±0.04ab
花瓣颜色 Petal colour	1,2,3	1,2	1,2	1	1
花瓣形状 Petal shape	1,2	1,2	1,2	1,2	1

表中数据代表平均值±标准误;同行不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)

表 4 不同海拔梯度的新疆野杏开花期气候特征

Table 4 Climatic characteristics of flowering period *P. armeniaca* at different altitude gradients

气候因子 Climatic factors	海拔梯度 Altitude gradient				
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
光照强度 Light intensity/Lux	31077.2±1277.6b	19000.3±827.8c	42799.3±1281.5a	46606.7±1822.4a	47270.5±1799.2a
温度 Temperature/℃	16.8±0.3a	15.9±0.3a	15.8±0.4a	13.2±0.5b	13.1±0.4b
湿度 Humidity/%	40.7±1b	42.1±1.1ab	40.9±1.1b	46.3±1.6a	43.3±1.5ab

表中数据代表平均值±标准误;同行不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)

2.4 新疆野杏开花物候期、花器官与海拔的相关性

2.4.1 开花物候期与海拔的相关性

由表 5 可知,海拔梯度与野杏露萼期、初花期、盛花期呈显著正相关,与露瓣期、落花期呈极显著正相关,与露瓣期 (0.976)的相关系数绝对值最大;温度与露萼期、初花期、盛花期、落花期均呈显著负相关,与露瓣期呈极显著负相关,与露瓣期 (-0.970)相关系数绝对值最大;光照强度和湿度与开花物候期各时期均呈正相关但不显著。这些结果表明海拔梯度、温度是影响野杏的开花时间的主要因子,对露瓣期影响最显著;野杏群体开花物候期随着海拔升高而推迟,温度高的区域先开。

表 5 不同海拔梯度及气候因子与开花物候期的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of different altitude gradient and climatic factors with flowering phenological period

	海拔梯度 Altitude gradien	光照强度/Lux Light intensity	温度/℃ Temperature	湿度/% Humidity
露萼期 Show speal time	0.955*	0.806	-0.949*	0.662
露瓣期 Show petal time	0.976**	0.764	-0.970**	0.698
初花期 Early bloom time	0.875*	0.815	-0.928*	0.708
盛花期 Full bloom time	0.919*	0.865	-0.897*	0.587
落花期 Fall bloom time	0.959**	0.814	-0.912*	0.572

** 在 0.01 水平 (双侧)上显著相关。* 在 0.05 水平 (双侧)上显著相关

2.4.2　新疆野杏花器官与海拔的相关性

由表 6 可知,不同海拔梯度及气候因子与花器官发育的相关性。海拔梯度与野杏花药长度、宽度均呈极显著正相关,与花冠直径、花瓣纵径和横径均呈极显著负相关,与花丝长度、子房高度和宽度呈显著负相关,与花瓣横径 (-0.381)相关系数绝对值最大,最小的是子房高度;光照强度与花萼长度和宽度、花冠直径、花瓣纵径和横径、花柱长度、子房高度和宽度呈极显著负相关,与花丝长度呈显著负相关,与子房高度 (-0.378)的相关系数绝对值最大,最小的是花丝长度,与花药长度和宽度呈正相关但不显著。而温度和湿度与野杏花器官特征无显著相关性。这些结果表明,海拔对野杏花外部器官发育的影响最显著,其次是雄蕊、雌蕊;光照强度对雌蕊发育影响最大,其次是野杏花的外部器官、雄蕊;而温度和湿度对花器官的发育无显著影响。

表 6　不同海拔梯度及气候因子与花器官的相关性分析

Table 6　Correlation analysis of floral organs with different altitude gradients and climatic factors

	海拔梯度 Altitude gradien	光照强度/Lux Light intensity	温度/℃ Temperature	湿度/% Humidity
花萼长度 Sepalled length/mm	-0.170	-0.287**	0.046	0.033
花萼宽度 Sepalled width/mm	-0.095	-0.326**	-0.006	0.045
花冠直径 Corolla diameter/mm	-0.272**	-0.296**	-0.025	0.121
花瓣纵径 Petal longitudinal diameter/mm	-0.334**	-0.335**	0.096	0.021
花瓣横径 Petal transverse diameter/mm	-0.381**	-0.335**	0.084	0.048
花丝长度 Filament length/mm	-0.214*	-0.194*	0.062	0.000
花柱长度 Style lengt/mmh	0.030	-0.227**	0.017	-0.019
子房高度 Ovary height/mm	-0.209*	-0.378**	0.092	-0.037
子房宽度 Ovary widt/mmh	-0.213*	-0.353**	0.068	-0.013
花药长度 Anther length/mm	0.232**	0.089	-0.023	0.003
花药宽度 Anther width/mm	0.291**	0.070	-0.078	0.049

** 在 0.01 水平 (双侧)上显著相关。* 在 0.05 水平 (双侧)上显著相关

2.4.3　新疆野杏林的海拔及其气候因子的相关性

由表 7 可知,野杏林海拔梯度与光照强度呈极显著正相关,与温度呈极显著负相关,与湿度呈显著正相关,海拔梯度与光照强度 (0.274)的相关系数绝对值最大,其次是温度、湿度;光照强度与温度呈极显著正相关,与湿度呈极显著负相关,与湿度 (-0.221)的相关系数绝对值大于温度;温度与湿度呈极显著负相关。即海拔对光照强度的影响最大,随着海拔升高,光照强度增强,温度降低,湿度增大。

表 7　野杏林不同海拔与其气候因子的相关性分析

Table 7　Correlation analysis of different altitudes and climatic factors in *A.vulgaris* forest

	海拔梯度 Altitude gradien	光照强度/Lux Light intensity	温度/℃ Temperature	湿度/% Humidity
海拔梯度 Altitude gradien	1.000			
光照强度 Light intensity/Lux	0.274**	1.000		
温度 Temperature/℃	-0.181**	0.134**	1.000	
湿度 Humidity/%	0.058*	-0.221**	-0.842**	1.000

** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关

3　讨论与结论

3.1　讨论

3.1.1　海拔对新疆野杏开花物候期的影响

新疆新源县吐尔根杏花沟不同海拔梯度野杏的开花物候期存在显著差异。1500m 以上的野杏开花物候期最晚,1000m 左右的最早,延迟了 9d,但花期历时延长了 4d;且开花物候期与海拔呈显著正相关,与温度呈

显著负相关,与光照强度、湿度呈正相关但不显著。四川省茂县的苹果花芽分化物候期随海拔升高显著推迟,海拔 2050m 地区比海拔 1425m 地区晚了 17d[39];四川省米仓山区植物随着海拔升高而推迟[40],这些研究结果均与本文研究结果一致。落叶果树的萌芽由休眠期需冷量和萌芽前的需热量共同决定,其分布生境随着海拔的升高,气温逐渐下降,果树春季达到萌芽的需热时间就会越长[41],物候期越迟。海拔不变,正常温度与水分供应条件下,缩短光照时间可以使植物的花期提前,但当植物处于干旱胁迫状态时,物候期推迟[42—43],表明环境湿度的差异也会引起植物物候变化。本研究新疆野杏开花物候期随海拔变化的规律,及其与气候的相关性充分表明,海拔的变化直接改变了环境气候,与温度、光照、湿度等协同影响植物的物候期。而第Ⅰ级海拔梯度和第Ⅱ级海拔开花物候期无差异,表明因海拔差异而变化的小尺度地形,影响局部小气候,影响小范围的物候期变化。

3.1.2 海拔对新疆野杏花器官的影响

新疆野杏花器官的发育与海拔的关系密切。随着海拔升高、光照增强,野杏花子房、花冠和花瓣变小、花药变大,温度和湿度的变化与多个花器官指标正相关但不显著。植物分化发育花器官的过程中,会因内部遗传因素和外部环境因素共同影响,改变发育时间与花器官形态[44]。如因海拔升高而改变的地形、气候、土壤、水文等物理环境因子和植被等生物因子,与海仙花报春花冠大小、花瓣长度呈负相关[45];与波缘风毛菊[46]和暗紫贝母[47]雄蕊的花药与花丝、雌蕊的花柱等呈负相关,本研究证实了这一规律。随着海拔升高,生存环境更加恶劣,植物通过调节花器官发育的大小来减少环境对植物的伤害,高海拔新疆野杏花的外部器官更小,减少了高海拔紫外线对花器官的伤害,而雄蕊发育的大、雌蕊发育的小,更加有利于野杏的传粉,弥补昆虫少且活动力弱所带来的不利影响,提高了授粉率、产种量和繁殖成功率。

3.1.3 不同海拔梯度对新疆野杏林气候因子的影响

新疆新源县吐尔根杏花沟不同海拔梯度的气候分布存在差异。接近种群分布上限区域(第Ⅴ级海拔梯度)的光照强度、湿度均显著高于分布下限区域(第Ⅰ级海拔梯度),温度则相反。海拔梯度与光照强度、湿度存在显著正相关,与温度存在显著负相关。这与庐山茶树种植地[48]和长白山白桦幼苗林地[49]的海拔变化引起的气候分布规律一致。气候除了受海拔梯度的影响,还会因坡向、坡位、坡度等地形和土壤条件不同而存在差异。本研究中海拔相近的野杏林地,阳坡的光照强度和温度高于阴坡,湿度却低于阴坡,地形差异造成了微尺度气候变化,改变了同一海拔梯度野杏的开花物候期。微地形对大西沟野杏幼苗生境气候的影响[50]和北京山区种群的环境因子[51]的研究,都与本研究结果一致。海拔的变化改变了植物生存的坡向、坡度等地形因子,导致了太阳辐射、气温、降水、土壤等生态因子的分布差异,它们共同影响了新疆野杏的开花物候期与花发育。

3.2 结论

新疆野杏群体开花物候期历时 32d 左右,各海拔梯度平均历时 24d,最大相差 2d,海拔每升高 100m,开花期推迟约 1.8d。随着海拔升高:野杏林地光照强度增强,温度降低,湿度增大;野杏开花物候期推迟,开花期历时增长;野杏花雄蕊发育逐渐增大,雌蕊和花的外部器官发育逐渐减小。新疆野杏随海拔变化呈现的开花物候期与花器官发育规律,一定程度反映了新疆野杏开花生长阶段对海拔变化的适应性。进一步对新疆野杏开展全分布海拔范围的年生长周期物候规律研究,将对全面掌握新疆野杏的生态适应性具有重要意义。

参考文献(References):

[1] 赖欣, 范广洲. 中国植物物候变化特征及其对降水变化的响应. 高原山地气象研究, 2016, 36(3): 44-52.
[2] 邓晨晖, 白红英, 马新萍, 黄晓月, 赵婷. 2000—2017 年秦岭山地植被物候变化特征及其南北差异. 生态学报, 2021, 41(3): 1068-1080.
[3] 王冬妮, 唐晓玲, 廉毅, 崔佳龙, 杜春英, 纪仰慧. 气候增暖对 3 种典型落叶乔木物候的影响——以长白山区为例. 东北林业大学学报, 2020, 48 (9): 51-55.
[4] 胡明新, 周广胜, 吕晓敏, 王思琪, 张世雅. 温度和光周期协同作用对蒙古栎幼苗春季物候的影响. 生态学报, 2021, 41(7): 2816-2825.
[5] Muhanguzi H D R, Obua J, Oryem-Origa H, Vetaas O R.Tree fruiting phenology in kalinzu forest, *Uganda*. African Journal of Ecology, 2003, 41 (2): 171-178.
[6] 刘璐, 王景红, 柏秦凤, 张维敏, 张焘. 气候变化对黄土高原苹果主产地物候期的影响. 果树学报, 2020, 37(3): 330-338.

[7] 杨晓渊, 马丽, 张中华, 张骞, 郭婧, 周秉荣, 邓艳芳, 汪新川, 王芳, 佘延娣, 周华坤. 高寒草甸植物群落生长发育特征与气候因子的关系. 生态学报, 2021, 41(9): 3689-3700.
[8] 周彤, 曹入尹, 王少鹏, 陈晋, 唐艳鸿. 中国草地和欧洲木本植物返青期对气温和降水变化的响应: 基于生存分析的研究. 植物生态学报, 2018, 42(5): 526-538.
[9] 高亚敏. 气候变化对通辽草甸草原草本植物物候期的影响. 草业科学, 2018, 35(2): 423-433.
[10] 李夏子, 韩国栋, 郭春燕. 气候变化对内蒙古中部草原优势牧草生长季的影响. 生态学报, 2013, 33(13): 4146-4155.
[11] 何宝忠, 丁建丽, 李焕, 刘博华, 陈文倩. 新疆植被物候时空变化特征. 生态学报, 2018, 38(6): 2139-2155.
[12] 杜军, 王文, 何志斌, 陈龙飞, 蔺鹏飞, 朱喜, 田全彦. 祁连山青海云杉物候表型的空间分异及其内在机制. 植物生态学报, 2021, 45(8): 834-843.
[13] 谢红江. 川藏高原'金冠'苹果生态适应性研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2016.
[14] 常德昌, 杨安顺, 张守江, 杨映红. 甘肃天水甜樱桃海拔适应性调查研究初报. 农业科技通讯, 2010(11): 56-59.
[15] 范涛. 白水县苹果始花期变化特征及花期冻害防控研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
[16] Walther G R, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee T J C, Fromentin J M, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F. Ecological responses to recent climate change. Nature, 2002, 416(6879): 389-395.
[17] 樊宝丽, 孟金柳, 赵志刚, 杜国祯. 海拔对青藏高原东部毛茛科植物繁殖特征和资源分配的影响. 西北植物学报, 2008, 28(4): 4805-4811.
[18] 王永健, 方兴, 钟章成. 不同生境对蝴蝶花花部与果实特征的影响. 生态学报, 2010, 30(17): 4628-4635.
[19] 王一峰, 高宏岩, 施海燕, 王剑虹, 杜国祯. 小花风毛菊的性器官在青藏高原的海拔变异. 植物生态学报, 2008, 32(2): 379-384.
[20] Pailler T, Thompson J D. Distyly and variation in heteromorphic incompatibility in *Gaertnera vaginata* (Rubiaceae) endemic to La Reunion Island. American Journal of Botany, 1997, 84(3): 315-327.
[21] Malo J E, Baonza J. Are there predictable clines in plant-pollinator interactions along altitudinal gradients? The example of *Cytisus scoparius* (L.) Link in the Sierra de Guadarrama (Central Spain). Diversity and Distributions, 2002, 8(6): 365-371.
[22] Nagano Y, Abe K, Kitazawa T, Hattori M, Hirao A S, Itino T. Changes in pollinator fauna affect altitudinal variation of floral size in a bumblebee-pollinated herb. Ecology and Evolution, 2014, 4(17): 3395-3407.
[23] 罗立娜, 韩树全, 范建新, 李茂富, 马蔚红, 张正学, 朱文华. 油梨开花物候期及花器官特征观察. 中国南方果树, 2020, 49(1): 28-31.
[24] 索南措, 王一峰, 李梅, 岳永成, 李毛先. 青藏高原东缘常见种长毛风毛菊(*Saussurea* hieracioides)的繁殖分配. 生态学杂志, 2013, 32(6): 1433-1438.
[25] 王利兵. 我国 3 种杏的地理分布及其植物学性状. 林业科学研究, 2010, 23(3): 435-439.
[26] 国家林业和草原局,农业农村部.国家重点保护野生植物名录. (2021-09-17)[2021-11-15]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-09/09/content_5636409.htm.
[27] 安兴林, 周英. 新疆伊犁区域野果林资源保护及合理开发利用. 江苏林业科技, 2009, 36(4): 35-37.
[28] 阎国荣. 新疆天山野生果树研究及保护. 中国野生植物资源, 2001, 20(4): 13-14.
[29] 翟朝阳, 邱娟, 司洪章, 杨新峰, 刘立强. 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, 2019, 39(6): 2168-2179.
[30] 林培钧, 崔乃然. 天山野果林资源: 伊犁野果林综合研究. 北京: 中国林业出版社, 2000.
[31] 严华, 晏中文, 雷杰. 新源县 1981—2018 年气候变化特征及其对春玉米的影响. 作物杂志, 2020(2): 140-146.
[32] 郭景平, 李宁平, 托乎提·亚克夫. 中华人民共和国政区大典-新疆维吾尔自治区卷. 北京: 中国社会出版社, 2016: 1385-1386.
[33] 李建豪, 陶建斌, 程波, 吴琪凡, 彭宏杰. 秦岭山区植被春季物候的海拔敏感性. 应用生态学报, 2021, 32(6): 2089-2097.
[34] 沈国舫. 森林培育学. 北京: 中国林业出版社, 2001.
[35] Frost I, Rydin H. Spatial pattern and size distribution of the animal-dispersed tree *Quercus robur* in two spruce-dominated forests. Écoscience, 2000, 7(1): 38-44.
[36] 阎国荣, 许正. 中国新疆野生果树研究. 北京: 中国林业出版社, 2010.
[37] 刘宁, 刘威生. 杏种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006: 43-65.
[38] 邓欧平, 周稀, 黄萍萍, 邓良基. 川中紫色丘区土壤养分空间分异与地形因子相关性研究. 资源科学, 2013, 35(12): 2434-2443.
[39] 辛明志, 陶炼, 樊胜, 艾炳伟, 闫淼, 王珏, 韩明玉, 张东. 纬度和海拔对主要苹果品种花芽分化期的影响. 园艺学报, 2019, 46(4): 761-774.
[40] 邵周玲, 周文佐, 李凤, 周新尧, 杨帆. 2003—2018 年米仓山地区植被物候时空变化及对气候的响应. 生态学报, 2021, 41(9): 3701-3712.
[41] Ruiz D, Egea J, Salazar J A, Campoy J A. Chilling and heat requirements of Japanese plum cultivars for flowering. Scientia Horticulturae, 2018, 242: 164-169.
[42] 王连喜, 陈怀亮, 李琪, 余卫东. 植物物候与气候研究进展. 生态学报, 2010, 30(2): 447-454.
[43] 白洁, 葛全胜, 戴君虎, 王英. 西安木本植物物候与气候要素的关系. 植物生态学报, 2010, 34(11): 1274-1282.
[44] 张婵, 安宇梦, Yun JÄSCHKE, 王林林, 周知里, 王力平, 杨永平, 段元文. 青藏高原及周边高山地区的植物繁殖生态学研究进展. 植物生态学报, 2020, 44(1): 1-21.
[45] 李海东, 任宗昕, 吴之坤, 许琨, 王红. 二型花柱植物海仙花报春花部性状随地理梯度的变异. 生物多样性, 2015, 23(6): 747-758.
[46] 王一峰, 靳洁, 侯宏红, 赵博, 曹家豪, 李筱姣. 川西风毛菊花期资源分配随海拔的变化. 植物生态学报, 2015, 39(9): 901-908.
[47] 陈文年, 陈发军, 谢玉华, 王淯, 段辉国, 齐泽民. 暗紫贝母的物候和鳞茎在海拔梯度上的变化. 草业学报, 2012, 21(5): 319-324.
[48] 程冬梅, 张丽, 韦红飞, 江新凤, 周赛霞, 张志勇, 彭焱松. 庐山不同海拔茶树光合响应差异研究. 茶叶科学, 2019, 39(4): 447-454.
[49] 周驿之, 程艳霞, 樊莹, 易磊. 长白山不同海拔白桦幼苗移栽至同一生境的光合及反射光谱特性. 生态学报, 2018, 38(14): 5109-5119.
[50] 翟朝阳, 陈高安, 杨新峰, 司洪章, 刘立强. 微地形对大西沟野杏幼苗生境的气候和土壤温湿度的影响. 中国农学通报, 2019, 35(27): 114-120.
[51] 高阳, 赵文吉, 高明亮, 胡冬, 隗有龙. 北京山区植物优势种群分布及与环境因子的关系. 湖北农业科学, 2014, 53(21): 5099-5104.