

不同花椒种质的花粉生活力分析及人工授粉对坐果率的影响

董育公

(杨凌职业技术学院,陕西 杨陵 712100)

摘要:对4个国内外花椒优良种质的雄株花粉生活力进行初步测定,并对6个不同种质花椒进行人工授粉,计算坐果率,了解不同种质间人工授粉对花椒坐果率的影响,探究授粉与花椒产量提升间的相关性,以期为椒农生产生活提供理论支持。以供试4个花椒种质的雄株花粉为试验材料,利用TTC染色法对不同条件及不同贮藏时间下花粉生活力进行测定。选取晴朗高温天气,随机选取6个供试种质雌株各100花序,记录花序中小花数量。坐果期记录果实数量,计算坐果率。结果表明,花粉生活力在不同品种间存在极显著差异($P \leq 0.01$)。其中凤县花椒花粉生活力最低(2.03%),‘朝仓’花椒花粉生活力最高(55.98%)。花椒花粉最适贮藏温度为 -80°C ,且花椒花粉生活力随贮藏时间增加而逐渐下降。其中,凤县花椒耐贮性较差,‘朝仓’花椒耐贮性较好。对花椒进行授粉后发现,‘朝仓’花椒在未授粉时坐果率极低,坐果率提升最明显(80.43%)。在国内花椒中,凤县花椒坐果率提升较大(10.89%)。在花椒种间杂交试验中,‘朝仓’花椒花粉对其余品种花椒坐果率均存在抑制作用,国内花椒种质花粉对‘朝仓’花椒授粉时,‘朝仓’花椒不坐果。不同花椒种质的花粉生活力存在差异,但花椒属植物花粉生活力均处于较低水平。 -80°C 为花椒花粉最适贮藏温度,且花粉生活力随贮藏时间下降。花椒授粉后坐果率与花粉生活力关联性不显著,导致坐果率变化的具体原因仍需进一步分析。‘朝仓’花椒可能与国内花椒种质远缘不亲和,存在生殖隔离。

关键词:花椒;花粉生活力;授粉;坐果率

中图分类号:S949.752

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2024)02-0085-06

Pollen Vitalization Analysis of Different *Zanthoxylum* Germplasms and Effect of Artificial Pollination on Fruit Setting Rate

DONG Yu-gong

(Yangling Vocational and Technical College, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: Taking the fruit setting rate as an assessment index, artificial pollination was conducted with 6 *Zanthoxylum* germplasms collected at home and abroad. Pollen vitalities of 4 excellent male species in 6 *Zanthoxylum* germplasms was preliminarily measured to understand the effect of artificial pollination between different germplasms on the fruit setting, and the correlation between pollination and the increase of the fruit yield to provide theoretical support for the *Zanthoxylum* production. The pollens of the male plants of 4 *Zanthoxylum* germplasms were used as test materials, and the pollen vitality was determined under different conditions and different storage time by using TTC staining method. In addition, 100 inflorescences of each female plant of 6 germplasms were randomly selected in sunny and hot weather, and the number of florets in the inflorescences was recorded. The number of fruits was recorded during the fruiting period, and the fruiting rate was calculated. The results showed that there were highly significant differ-

收稿日期:2023-09-07 修回日期:2023-11-21

基金项目:中央财政林业科技推广示范项目(SLTG[2019]03)。

第一作者:董育公,高级经济师。研究方向:林业技术与推广。E-mail:chenshi_0404@126.com

ences in pollen vitality among different germplasms ($P \leq 0.01$). *Z. bungeanum* 'Fengxian' was the lowest (2.03%), and 'Chaocang' pollen was the highest (55.98%). The optimum storage temperature of *Zanthoxylum* pollen was $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, and the vitality of *Zanthoxylum* pollen gradually decreased with the increase of storage time. *Z. bungeanum* 'Fengxian' had poorer storability, and 'Chaocang' had better storability. It was found that 'Chaocang' had a very low fruit setting rate when not pollinated, and the fruit setting rate increased most significantly after pollination (80.43%). Among the domestic *Zanthoxylum* varieties, 'Fengxian' showed a greater increase in fruit setting (10.89%). In the interspecific hybridization experiment, 'Chaocang' pollen showed inhibited effect on the fruit setting rate of the other varieties. No fruit setting was found when 'Chaocang' was pollinated. It is concluded that there are differences in pollen vitality of different germplasms of *Zanthoxylum*, but the pollen vitality of *Zanthoxylum* plants is generally at low level. The optimal storage temperature for *Zanthoxylum* pollen was $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, and the pollen vitality decreased with storage time. The correlation between fruit setting rate and pollen vitality after pollination was not significant, and the specific reasons for the changes in fruit setting rate still need to be further analyzed. 'Chaocang' may be distantly unrelated to domestic *Zanthoxylum* germplasms, and reproductive isolation exists.

Key words: *Zanthoxylum bungeanum*; pollen vitality; pollination; fruit setting rate

花椒 (*Zanthoxylum bungeanum*) 是芸香科 (Rutaceae) 花椒属 (*Zanthoxylum* L.) 植物, 是一种兼具食用、药用和观赏价值的重要经济树种^[1]。花椒在中国、日本等东亚国家分布较为广泛, 世界范围内花椒属植物约有 250 种, 其中在我国有 41 种, 种质资源丰富^[2-4]。同时, 作为推动农业经济发展、改善生态环境、增加农民收入的重要树种, 花椒被列入国家“十三五”规划经济树种之一。

花粉是种子植物体的雄性生殖细胞 (即雄配子体), 含有大约 20% 的蛋白质, 37% 的碳水化合物, 4% 的脂肪和 3% 的矿物质^[5-6]。植物花粉生活力是指花粉具有存活、生长、萌发或发育的能力。花粉与植物的品种改良及遗传育种有着很密切的联系, 花粉生活力的大小直接关系到植物杂交育种的成败^[7]。

在生产实践中发现, 花椒落花落果现象十分严重, 花序的自然坐果率仅为 11.2%^[8-9]。花椒低产低效, 严重影响农业经济发展。有研究认为造成花椒落花落果的主要原因在于土肥管理不到位, 或由于气候等原因造成无法授粉或授粉不充分^[10-11]。但花椒属无融合生殖植株^[12]。即植株无需受精即可形成种子, 且种子基因型与母本一致, 后代与母本具有相同的遗传物质^[13-14]。无融合生殖在固定母本的优良性状并稳定遗传的同时, 也给传统杂交育种带来了一定阻碍^[15-16]。如花椒育种周期长, 后代变异率低, 育种方式主要依赖嫁接和扦插等, 这些问题直接影响了椒农的生产生活和花椒的产业发展。但在田间生产中发现, 与雄株距离较近的花椒雌株产量明显优于园内其余雌株, 但花椒产量的提升是否与授粉有关未见系统研究。本研究对收集到的几个国内外花椒优良品种雄株花粉生活力进行了初步测

定, 并对不同品种花椒进行人工授粉并计算坐果率, 分析了解不同花椒种质间人工授粉对花椒坐果率产生的影响。以期为椒农生产生活及花椒产业发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验材料均来自陕西省彬州市优质丰产栽培示范基地 ($107^{\circ}49' - 108^{\circ}22'E, 34^{\circ}51' - 35^{\circ}17'N$)。地处陕西省中西部, 黄土高原西南边缘。属暖温带大陆性季风气候, 四季冷暖干湿分明, 冬长夏短, 寒暑极端, 春季较早, 山地小气候明显。自然条件适宜多种经济树种的生长。

1.2 试验材料

以臭椒、武都花椒、凤县花椒、野花椒、竹叶花椒及日本花椒‘朝仓’等 6 个国内外花椒种质为研究对象 (表 1)。其中, 雄株为野花椒雄株、凤县花椒雄株、竹叶花椒雄株及日本‘朝仓’花椒雄株 (不同花椒种质雌株开花及雄株散粉时间标注于编号后)。

1.3 花粉生活力测定

将收集的花粉放入采样瓶中, 贴上标签以区分不同种质。将采样瓶分别置于室温 ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$)、 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 4 种温度下贮藏, 每种贮藏条件设 3 次生物学重复, 分别于贮藏 0、10、20、30、90、180 d 时测定花粉生活力。花粉生活力采用 TTC 染色法测定, 染色后在低倍显微镜下观察, 具生活力或生活力较强的花粉呈红色或紫红色, 无生活力或生活力较弱的花粉呈淡黄色或无色。每种花椒花粉观察 5 个视野, 记录不同贮藏条件下花粉的生活力差异并分析测定结果。

表 1 供试花椒种质性别分化及开花时间

Table 1 Thesex differentiation of tested *Zanthoxylum* germplasms and flowering time

种质	编号	
	雄株	雌株
野花椒 (<i>Zanthoxylum simulans</i> Hance)	XZH (2022/4/20—2022/5/8)	CZH (2022/5/2—2022/5/15)
凤县花椒 (<i>Zanthoxylum bungeanum</i> Fengxian)	XFX (2022/4/28—2022/5/9)	CFX (2022/5/2—2022/5/16)
武都花椒 (<i>Zanthoxylum bungeanum</i> Wudu)	/	CWD (2022/4/23—2022/5/12)
臭椒 (<i>Zanthoxylum bungeanum</i> Maxim.)	/	CZB (2022/4/28—2022/5/6)
竹叶花椒 (<i>Zanthoxylum anthoxylum</i>)	XZA (2022/5/4—2022/5/16)	CZA (2022/5/2—2022/5/20)
‘朝仓’花椒 (<i>Zanthoxylum anthoxylum</i> ‘Chaocang’)	XCC (2022/4/23—2022/5/7)	CCC (2022/4/26—2022/5/11)

1.4 不同花椒种质人工授粉

以野花椒雄株、凤县花椒雄株、竹叶花椒雄株及日本‘朝仓’花椒雄株为授粉树。随机抽取长势相近,无病虫害的臭椒、武都花椒、凤县花椒、野花椒、竹叶花椒及日本花椒‘朝仓’雌株各 100 花序,记录花序中小花数量。选取晴天,高温天气进行人工授粉,授粉后及时套袋,于坐果期记录果实数量,计算坐果率。

坐果率=果实数/小花数×100%

2 结果与分析

2.1 不同种质花椒花粉生活力差异

取少数花粉于载玻片上,加 1~2 滴 0.5% TTC 溶液(将 0.5 g TTC 溶于水中,并定容至 100 mL),将制片于 35 ℃ 恒温箱中放置 15 min。制片在显微镜低倍视野下观察,每个花椒品种观察 5 个视野,取平均值(保留整数)。

表 2 不同种质花椒花粉生活力

Table 2 Different germplasms of *Zanthoxylum* pollen vitality

种质	数量		
	总花粉数量	有生活力花粉数量	花粉生活力(%)
XZH	218	10	4.59**
XFX	296	6	2.03**
XZA	246	12	4.88**
ZCC	184	103	55.98**

注:**表示差异极显著(P≤0.01)。

统计结果表明(表 2),花粉生活力指标在 4 个不同种质花椒花粉中存在极显著差异(P≤0.01)。其中,日本‘朝仓’花椒雄株花粉生活力最高(55.98%),凤县花椒雄株花粉生活力最低,仅为 2.03%。

2.2 不同贮藏条件下花椒花粉生活力差异

将不同种质的花椒花粉分别置于室温(25 ℃)、4、-20、-80 ℃ 4 种条件下贮藏,并于贮藏 0、10、20、30、90、180 d 时测定花粉生活力。结果表明(图 1—图 4),不同种质花椒花粉在不同贮藏条件下存在生活力差异。

对野花椒花粉生活力测定的结果表明(图 1),在贮藏 10 d 时,-80 ℃ 贮藏条件下花粉生活力较其他贮藏条件下更强(4.38%)。而其余贮藏条件下,花粉生活力相对较弱。在贮藏时间达到 90 d 后,花粉生活力下降趋势较 10、20、30 d 条件下更明显,且室温下贮藏的花粉生活力消失。在贮藏时间达到 180 d 时,-80 ℃ 条件下花粉生活力也仅有 2.73%,这表明了花椒花粉生活力随贮藏时间增加而逐渐降低。

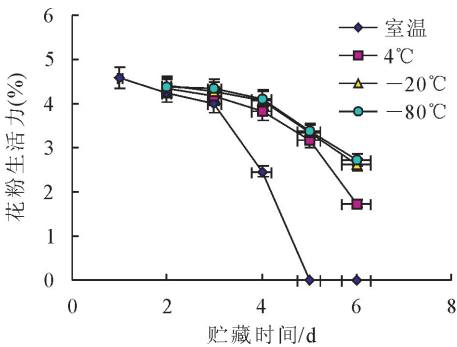


图 1 不同贮藏条件下野花椒花粉生活力随贮藏时间的变化
Fig. 1 Variation of pollen vitality in *Zanthoxylum simulans* Hance under different storage conditions over storage time

对凤县花椒花粉生活力测定的结果表明(图 2),凤县花椒花粉生活力总体偏低。花粉生活力随贮藏时间增加而下降,且生活力下降速率较快,室温条件下当贮藏时间达到 30 d 时花粉生活力降低至 0,这表明凤县,花椒的花粉较不耐贮藏(花粉衰退速率为 74.88%)。当贮藏条件达到 180 d 时,-80 ℃ 条件下花粉生活力表现最好(0.84%),4 ℃ 及-20 ℃ 条件下次之(分别为 0.25%、0.51%)。结果表明,凤县花椒花粉贮藏的最适条件为-80 ℃。

对竹叶花椒的测定结果表明(图 3),竹叶花椒花粉生活力较野花椒和凤县花椒稍强(4.88%)。花粉生活力随贮藏条件和贮藏时间的变化与野花椒较为一致。在贮藏时间为 180 d 时,-80 ℃ 条件下花粉生活力最强(2.84%)。竹叶花椒花粉在室温条件下贮藏,当贮藏时间达到 90 d 时仍有 0.22% 的活

力,表明竹叶花椒花粉耐贮性较好,生活力较强,且-80℃条件为竹叶花椒花粉最适贮藏条件。

对‘朝仓’花椒的花粉生活力测定结果表明(图4),‘朝仓’花椒花粉生活力最高(55.98%)。与其他品种花椒一致,‘朝仓’花椒花粉在-20℃贮藏条件下,当贮藏时间达到90 d后,花粉生活力下降较快(90 d时生活力为43.87%,180 d时生活力为26.84%)。而当贮藏时间达到180 d时,-80℃条件下花粉生活力仍有33.24%,这表明-80℃条件为‘朝仓’花椒花粉贮藏的最佳条件。同时,‘朝仓’花椒花粉生活力下降速率较其他品种更低(44.18%),表明‘朝仓’花椒花粉耐贮藏性较高。

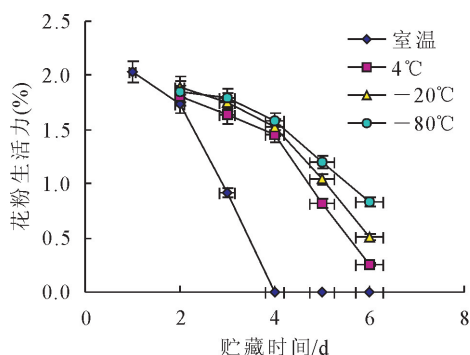


图2 不同贮藏条件下凤县花椒花粉生活力随贮藏时间的变化

Fig. 2 Variation of pollen vitality in *Z. bungeanum* 'Fengxian' under different storage conditions over storage time

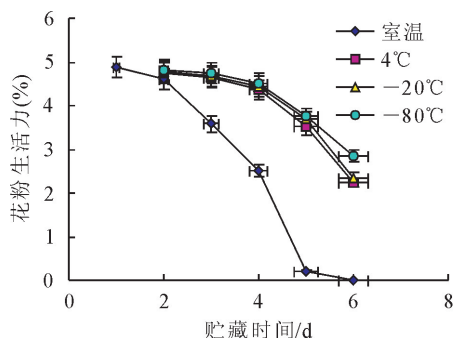


图3 不同贮藏条件下竹叶花椒花粉生活力随贮藏时间的变化

Fig. 3 Variation of pollen vitality in *Z. anthoxylum* under different storage conditions over storage time

2.3 花椒人工授粉后坐果率差异

以野花椒雄株、凤县花椒雄株、竹叶花椒雄株及日本‘朝仓’花椒雄株为授粉树,对其本品种雌株进行授粉处理。每品种选取100花序,于坐果期记录果实数量,计算平均坐果率。结果表明(表3),‘朝仓’花椒较为特殊,在未经授粉时坐果率仅有2.02%,而授粉后坐果率达到82.45%,坐果率差异较其他品种最大(80.43%)。在其他品种中,野花椒授粉后坐果率最低(70.58%),凤县花椒授粉后坐果率最高(83.14%)。对比未授粉时坐果率,供试品种

在授粉后坐果率均有显著提升。其中凤县花椒坐果率差异最大(10.89%),竹叶花椒次之(8.97%),野花椒授粉前后坐果率差异最小(6.16%)。

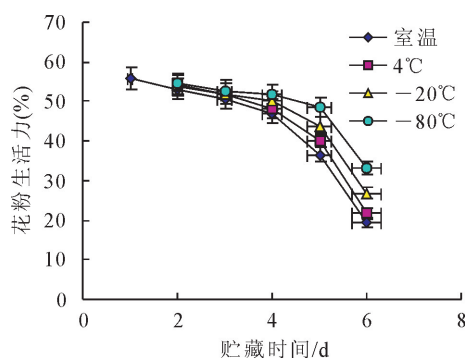


图4 不同贮藏条件下‘朝仓’花椒花粉生活力随贮藏时间的变化

Fig. 4 Variation of pollen vitality in *Z. anthoxylum* 'Chaocang' under different storage conditions over storage time

2.4 花椒种间杂交后坐果率差异

种间杂交(interspecies mating)指的是异种生物体通过杂交产生杂种子代的手段,属于远缘杂交的一种^[17]。种间杂交有将不同品种亲本的优良性状传递给杂种子代的可能,但同时存在杂交不易成功或得到的杂种子代无生育力等问题^[18]。

在对花椒不同种质进行种间杂交试验,结果表明(表4),不同种质花椒间杂交后的花椒坐果率均存在不同变异。当野花椒雄株为授粉树时,除‘朝仓’花椒(坐果率降低至0,差异为-2.02%)和竹叶花椒(-0.62%)外,其余品种花椒坐果率均有不同程度提升。其中,在种间杂交中,臭椒坐果率提升比率最大(6.32%),由65.84%提升至72.16%。凤县花椒坐果率变化最小(4.73%)。

当凤县花椒雄株作为授粉树时,‘朝仓’花椒坐果率同样降低至0(下降2.02%),其余品种花椒坐果率均表现出上升趋势。其中,武都花椒坐果率由70.49%提升至76.84%,增加了6.35%的坐果率。竹叶花椒的坐果率仅提升2.57%(68.88%~71.23%)。以竹叶花椒花粉对其余品种进行授粉时,‘朝仓’花椒坐果率由原来的2.02%降低至1.84%,降低了0.18%。其余品种坐果率均有提升,其中臭椒坐果率变化最大(3.67%),凤县花椒坐果率差异最小(0.71%)。

‘朝仓’花椒作为授粉树对其他品种进行种间杂交时,所有供试品种(除‘朝仓’花椒)坐果率均较未授粉前更低,其中变化最大的是凤县花椒(-31.29%),变化最小的为野花椒(-10.14%)。这可能说明,‘朝仓’花椒与国内主栽花椒品种间远缘不亲和,存在生殖隔离现象。

表 3 花椒人工授粉后坐果率差异

Table 3 Difference in reseat rate after artificial pollination of *Zanthoxylum* %

品种	坐果率		
	未授粉坐果率	授粉后坐果率	坐果率差异
野花椒 (<i>Z. simulans</i> Hance)	64.42	70.58	6.16
凤县花椒 (<i>Z. bungeanum</i> Fengxian)	72.25	83.14	10.89
竹叶花椒 (<i>Z. anthoxylum</i>)	68.66	77.63	8.97
‘朝仓’花椒 (<i>Z. anthoxylum</i> ‘Chaocang’)	2.02	82.45	80.43

表 4 花椒种间杂交后坐果率差异

Table 4 Difference in reseat rate between *Zanthoxylum* interspecies mating %

品种	坐果率								
	CZH			CFX			CWD		
	未授粉	授粉	差异	未授粉	授粉	差异	未授粉	授粉	差异
XZH	64.42	70.58	6.16	72.25	76.98	4.73	70.49	75.96	5.47
XFx		68.24	3.82		83.14	10.89		76.84	6.35
XZA		66.58	2.16		72.96	0.71		73.14	2.65
XCC		54.28	−10.14		40.96	−31.29		42.58	−27.91

品种	坐果率								
	CZB			CZA			CCC		
	未授粉	授粉	差异	未授粉	授粉	差异	未授粉	授粉	差异
XZH	65.84	72.16	6.32	68.66	68.04	−0.62	2.02	0	−2.02
XFx		70.98	5.14		71.23	2.57		0	−2.02
XZA		69.51	3.67		77.63	8.97		1.84	−0.18
XCC		46.25	−19.59		51.04	−17.62		82.45	80.43

3 讨论

花粉是指具有生殖作用的雄性配子,花粉的活力直接影响植物的受精作用,较高的花粉活力可以提高植物的结实率和育种成效^[19-20]。在 4 个供试品种雄株中,花粉生活力均存在极显著水平差异($P\leq0.01$)(表 1)。其中‘朝仓’花椒花粉生活力最高(55.98%),凤县花椒花粉生活力最低(2.03%)。结果表明,花椒花粉的活力在不同品种间均存在差异,但花椒属植物花粉活力都较低,这与陈亚兵^[21]的研究结果较为接近,并与大多数研究结果较为一致。但在本研究中,竹叶花椒的花粉生活力(4.88%)与张海霞^[22]使用 TTC 溶液染色法对竹叶花椒花粉生活力进行测定的结果存在一定差异。这可能与试验地距离及试验地小气候条件等因素有关^[23]。

在花粉耐贮藏性方面,研究结果表明(图 1—图 4),各品种花椒花粉生活力均随时间增加而逐渐下降,这与王翔等^[24]对耐冬山茶(*Camellia japonica* L.)的研究得出的结论一致。除‘朝仓’花椒与竹叶花椒外,其余花椒品种花粉生活力在室温下贮藏 90 d 时均降低至 0。‘朝仓’花椒在贮藏 180 d 后花

粉生活力仍有 33.24%,且花粉生活力衰退速率较其他品种更低(44.18%),说明‘朝仓’花椒花粉耐贮藏性较好,这与毕君等^[25]的研究结果大体一致。凤县花椒花粉生活力衰退速率较高(74.88%),且在室温条件下贮藏 30 d 时花粉生活力降低至 0,表明凤县花椒花粉耐贮藏性较差。这与杜忠席^[26]、陈亚兵^[21]的研究结果较为一致。对不同贮藏条件下花粉生活力进行测定时发现,在相同贮藏时间下,−80℃为 4 个供试品种花椒花粉的最适贮藏温度。这与王兵益等^[27]在对滇牡丹(*Paeonia delavayi* Franch.)的花粉进行贮藏研究的结论相一致。

在授粉与花椒品种坐果率的探究中,结果表明,‘朝仓’花椒在授粉后坐果率提升最为明显(80.43%),且在未授粉时坐果率仅有 2.02%,可能说明‘朝仓’花椒雌雄异株,坐果需要经过人工授粉过程。这与杨应连等^[8]及毕君^[28]的研究结果相一致。而在国内花椒主栽品种中,在授粉后花椒坐果率均有不同程度提升,其中凤县花椒坐果率提升 10.89%,竹叶花椒提升 8.97%,野花椒仅提升 6.16%坐果率,对比花粉生活力,凤县花椒花粉生活力仅为 2.03%,却表现出较好的授粉坐果率差异,表明花粉生活力并不是导致授粉后坐果率增加的主

要因素,而对花椒进行人工授粉后坐果率出现差异的原因仍需进一步探究。这与李梦钗等^[29]对国内花椒品种进行人工授粉研究得出的结论存在一定差异,可能是由于李梦钗等^[29]选用的品种为八月红、七月黄等,与本研究花椒品种存在差异导致的。

费希同^[12]研究表明花椒属于无融合生殖,一般不易进行杂交育种。在花椒种间杂交实验中,结果表明(表4),除‘朝仓’花椒外,其余花椒种间杂交均会导致品种坐果率的提升,但种间杂交坐果率提升程度均低于种内杂交。值得一提的是,‘朝仓’花椒在种间杂交表现中,对其余供试国内主栽花椒品种坐果率均产生反向作用。同时,在用国内花椒品种花粉对‘朝仓’花椒进行授粉时,‘朝仓’花椒坐果率均趋近于0。这可能是由于‘朝仓’花椒与国内花椒品种远缘不亲和,存在生殖隔离。这与李梦钗等^[29]研究结果也并不一致,可能是由于品种不同引起的研究结果差异。

4 结论

本研究对4个不同种质花椒的花粉生活力及耐贮性进行了分析,并对6个国内外花椒种质进行授粉试验,对坐果率进行统计分析。

不同花椒种质的花粉生活力存在极显著差异,其中‘朝仓’花椒花粉生活力最高(55.98%),凤县花椒花粉生活力最低(2.03%)。

花椒花粉生活力随贮藏时间增加而逐渐下降,且花椒花粉贮藏最适条件为-80℃。国内花椒品种均在贮藏30~90 d时花粉活力消失,其中凤县花椒在贮藏30 d时花粉生活力消失,且花粉生活力下降速率较快,耐贮性较差。‘朝仓’花椒花粉在最适贮藏温度下,贮藏180 d时仍有生活力(33.24%),耐贮性较好。

‘朝仓’花椒雌雄异株,授粉后坐果率增加明显,可能说明‘朝仓’花椒的坐果过程需要人工授粉。国内花椒中,凤县花椒授粉后坐果率提升较其他稍高(10.89%)。但结合各种质花椒花粉生活力数据,授粉后坐果率提升与花粉生活力关联性不强,导致这种结果的具体原因仍需进一步深入研究。

在对花椒进行种间杂交试验中发现,‘朝仓’花椒花粉对其余国内花椒种质坐果率存在抑制作用,且国内花椒花粉对‘朝仓’花椒进行授粉时,‘朝仓’花椒不坐果。这可能说明了,‘朝仓’花椒与国内花椒种质远缘不亲和,存在生殖隔离。

参考文献:

[1] 曾京京.我国花椒的栽培起源和地理分布[J].中国农史,2000

(4):68-75.

- [2] FENG S, LIU Z, HU Y, et al. Genomic analysis reveals the genetic diversity, population structure, evolutionary history and relationships of Chinese pepper[J]. Horticulture Research, 2020, 7(1): 158.
- [3] 侯娜.花椒多层次种质资源遗传变异分析[D].杨陵:西北农林科技大学,2019.
- [4] 李建红,张水华,孔令会.花椒研究进展[J].中国调味品,2009, 34(2): 28-31, 35.
- [5] 张孟琴,孙亚真,范一霖.牡丹花粉营养成分评价及相关性分析[J].食品研究与开发,2018, 39(15): 154-160.
- [6] 刘梦培,杜红岩,傅大立,等.抗寒西伯利亚杏花粉特性及其相关分析[J].西北林学院学报,2015, 30(2): 111-115, 185.
LIU M P, DU H Y, FU D L, et al. Pollen characteristics and correlation of *Armeniaca sibirica* with cold-resistance [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(2): 111-115, 185. (in Chinese)
- [7] 李川,辜夕容,姚小华,等.3个薄壳山核桃无性系花粉活力与显微结构比较研究[J].江西农业大学学报,2012, 34(2): 324-328, 350.
LI C, GU X R, YAO X H, et al. A comparative study on the viability and microstructure of 3 pecans (*Carya illinoensis*) clone pollen[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2012, 34(2): 324-328, 350. (in Chinese)
- [8] 杨应连,陈翠莲.花椒落花落果防治技术[J].甘肃林业科技, 1997(4): 49-50.
- [9] 赵红茹,姚忙珍,白国玲.渭南花椒低产低效原因及改造技术[J].防护林科技,2017(3): 106-107, 109.
- [10] 张娣.花椒良种选育及丰产栽培技术思考[J].南方农业, 2018, 12(2): 44, 46.
- [11] 原双进,张振南,王云芳,等.花椒良种选育研究[J].西北林学院学报,2006(2): 84-86, 156.
YUAN S J, ZHANG Z N, WANG Y F, et al. On selecting and Breeding for superior varieties of *Zanthoxylum bungeanum* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006(2): 84-86, 156. (in Chinese)
- [12] 费希同.花椒无融合生殖特性分析及关键基因的功能验证[D].杨陵:西北农林科技大学,2021.
- [13] 李育栋.花椒的结果与种子的遗传规律[J].林业科技通讯, 1996(10): 40.
- [14] FEI X, SHI Q, QI Y, et al. ZbAGL11, a class D MADS-box transcription factor of *Zanthoxylum bungeanum*, is involved in sporophytic apomixis[J]. Horticulture Research, 2021, 8(1): 23.
- [15] 蔡雪,孙德兰,邢树平.花椒珠心胚的超微结构及珠心细胞ATP酶的细胞化学定位[J].西北植物学报,2002, 22(4): 312-313.
CAI X, SUN D L, XING S P. Ultrastructure of nucellar embryo and cytochemical localization of ATPase activity in nucellar cell of *Zanthoxylum bungeanum* [J]. Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin., 2002, 22(4): 312-313. (in Chinese)
- [16] 王星斗,王文君,任媛媛,等.花椒育种研究进展[J].世界林业研究,2022, 35(5): 31-36.

(下转第181页)

- [27] 姚帅臣,王景升,丁陆彬,等. 拉萨河谷草地群落数量分类与排序[J]. 生态学报, 2018, 38(13): 4779-4788.
- [28] 刘玉祯,刘文亨,冯斌,等. 坡向和海拔对高寒山地草甸植被分布格局特征的影响[J]. 草地学报, 2021, 29(6): 1166-1173.
LIU Y Z, LIU W T, FENG B, *et al.* Effects of slope aspect and elevation on vegetation distribution pattern of alpine mountain meadow[J]. Acta Agrestia Sinica, 2021, 29(6): 1166-1173. (in Chinese)
- [29] 赵婷婷,赵成章,康满萍,等. 祁连山北坡灌木群落数量分类与排序[J]. 生态学杂志, 2021, 40(3): 731-739.
ZHAO T T, ZHAO C Z, KANG M P, *et al.* Numerical classification and ordination of shrub communities on the north slope of Qilian Mountains[J]. Chinese Journal of Ecology, 2021, 40(3): 731-739. (in Chinese)
- [30] 罗建武,韵晋琦,朱彦鹏,等. 太白山太白红杉林数量分类[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(4): 1-7, 38.
LUO J W, YUN J Q, ZHU Y P, *et al.* Classification and ordination of *Larix chinensis* communities in Mt. Taibai[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(4): 1-7, 38. (in Chinese)
- [31] 王德君,韩国君,高智辉,等. 甘肃莲花山植物群落物种多样性对海拔梯度的响应[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(6): 96-102.
WANG D J, HAN G J, GAO Z H, *et al.* Response of community species diversity elevation gradient in the Lianhuashan Nature Reserve[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(6): 96-102. (in Chinese)
- [32] 孙双红,朱宾宾,鲁海涛,等. 林窗对呼伦贝尔沙地樟子松人工林物种多样性的影响[J]. 森林工程, 2023, 39(2): 47-56.
- [33] 王超,樊琳琳,杨健,等. 不同经营措施对冀北山地油松林分水源涵养功能的影响[J]. 林业与生态科学, 2023, 38(1): 1-7.
Wang C, Fan L L, YANG J, *et al.* Study on the influence of forest management on the water conservation capacity of *Pinus tabulaeformis* in mountain area of northern Hebei Province[J]. Forestry and Ecological Sciences, 2023, 38(1): 1-7. (in Chinese)
- [34] 曲波,苗艳明,张钦弟,等. 山西五鹿山植物物种多样性及其海拔梯度格局[J]. 植物分类与资源学报, 2012, 34(4): 376-382.
QU B, MIAO Y M, ZHANG Q D, *et al.* Plant diversity and its elevational gradient patterns in Wulu Mountain, Shanxi, China[J]. Plant Diversity and Resources, 2012, 34(4): 376-382. (in Chinese)
- [35] 朱源,康慕谊,江源,等. 贺兰山木本植物群落物种多样性的海拔格局[J]. 植物生态学报, 2008(3): 574-581.
ZHU Y, KANG M Y, JIANG Y, *et al.* Altitudinal pattern of species diversity in woody plant communities of mountain Helan, Northwestern China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2008(3): 574-581. (in Chinese)
- [36] 周成军,巫志龙,周新年,等. 择伐强度对杉阔混交人工林生长及林下植被物种多样性的影响[J]. 森林工程, 2023, 39(1): 46-53, 62.
- [37] 陈云,王海亮,韩军旺,等. 小秦岭森林群落数量分类、排序及多样性垂直格局[J]. 生态学报, 2014, 34(8): 2068-2075.
CHEN Y, WANG H L, HAN J W, *et al.* Numerical classification, ordination and species diversity along elevation gradients of the forest community in Xiaoqinling[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(8): 2068-2075. (in Chinese)

(上接第 90 页)

- [17] Ortega-Albero N, González-Orenga S, Vicente O, *et al.* Responses to salt stress of the interspecific hybrid *Solanum in-sanum* × *Solanum melongena* and its parental species[J]. Plants, 2023, 12(2): 295.
- [18] NGUEMA NDOUTOUMOU P, TOUSSAINT A, BAUDOIN J P. Embryo abortion and histological features in the interspecific cross between *Phaseolus vulgaris* L. and *P. coccineus* L. [J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2007, 88(3): 329-332.
- [19] 魏永忠. 板栗花粉活力测定方法比较[J]. 四川林业科技, 2017, 38(3): 100-101.
- [20] 郭娟,邱帅,刘华红,等. 4 种冬青属植物花粉离体培养基筛选和贮藏条件的研究[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(6): 118-126.
GUO J, QIU S, LIU H H, *et al.* Research on medium screening for *in Vitro* germination and storage conditions of 4 *Ilex* species[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(6): 118-126. (in Chinese)
- [21] 陈亚兵. 花椒不同品种物候规律比较及花粉特性研究[D]. 杨陵:西北农林科技大学, 2022.
- [22] 张海霞. 藤椒花器结构及无融合生殖特性[D]. 雅安:四川农业大学, 2017.
- [23] 王梦,康永祥,王富,等. 黄帝陵古侧柏花粉生活力及其保存方法的研究[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(6): 133-139.
WANG M, KANG Y X, WANG F, *et al.* Viability and storage methods of ancient *Platycladus orientalis* pollen in Huangdi Mausoleum[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(6): 133-139. (in Chinese)
- [24] 王翔,刘庆华,王奎玲,等. 耐冬山茶(*Camellia japonica* L.) 花粉活力和柱头可授性研究[J]. 西南农业学报, 2008(4): 1078-1080.
- [25] 毕君,赵京献,王春荣,等. 国内外花椒研究概况[J]. 经济林研究, 2002(1): 46-48.
- [26] 杜忠席. 竹叶花椒花粉活力及授粉成效研究[D]. 雅安:四川农业大学, 2020.
- [27] 王兵益,王伟,丁开宇. 滇牡丹花粉贮存方法的探索[J]. 云南大学学报:自然科学版, 2001, 23(Supp. 1): 109-110, 112.
WANG B Y, WANG W, DING K Y. Tissue culture of *Lilium nepalense* D. Don[J]. Journal of Yunnan University: Natural Science Edition, 2001, 23(Supp. 1): 109-110, 112. (in Chinese)
- [28] 毕君. 山椒栽培机理及关键技术研究[D]. 南京:南京林业大学, 2009.
- [29] 李梦钗,赵京献,秦素洁,等. 人工授粉对不同花椒品种座果率的影响[J]. 陕西农业科学, 2022, 68(10): 25-27.