网络出版时间:2025-09-10 DOI:10.13207/j.jnwafu.2026.03.007

6 种酿酒葡萄花粉活力及贮藏条件研究

任福仙,何思怡,马田,郑梦鑫,房玉林,曾青青
(西北农林科技大学 葡萄酒学院,陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 【目的】测定 6 种酿酒葡萄花粉活力并探究其适宜的贮藏条件,为解决酿酒葡萄杂交育种中花期不遇等问题提供参考。【方法】以赤霞珠、美乐、霞多丽、爱格丽、媚丽、雷司令等 6 个酿酒葡萄品种花粉为试材,通过正交试验研究蔗糖、硼酸、硝酸钙质量浓度对葡萄花粉离体萌发的影响,筛选 6 种酿酒葡萄花粉萌发的最佳离体培养基。采用离体萌发法分析各葡萄品种在最佳离体培养基下贮藏温度和贮藏时间对酿酒葡萄花粉活力的影响。【结果】正交试验结果表明,6 种酿酒葡萄花粉萌发率的极差值均以蔗糖最大,蔗糖质量浓度对 6 种酿酒葡萄花粉的萌发均有显著影响,而硼酸和硝酸钙质量浓度只对赤霞珠花粉的萌发有显著影响。6 种酿酒葡萄花粉在各自最佳离体培养基下的萌发率由高到低依次为雷司令(88.35%)>爱格丽(85.26%)>霞多丽(68.75%)>美乐(66.75%)>媚丽(49.85%)>赤霞珠(48.74%)。贮藏试验结果表明,贮藏 3 d 时,赤霞珠、美乐、爱格丽、雷司令花粉在 25 ℃下的萌发率最高,分别为 17.79%,30.80%,19.43%和 30.79%,而霞多丽、媚丽花粉在 4 ℃下的萌发率最高,分别为 12.26%和 12.76%;贮藏 7 d 时,赤霞珠、美乐、霞多丽花粉在 25 ℃下的萌发率最高,分别为 10.48%,12.48%和 6.35%,爱格丽、雷司令花粉在-80 ℃下的萌发率最高,分别为 13.23%和 16.26%,媚丽花粉在不同温度下的萌发率均低于 6%;贮藏 11 d 时,赤霞珠、美乐、霞多丽、媚丽花粉在不同温度下的萌发率均低于 6%,爱格丽、雷司令在-80 ℃条件下的萌发率最高,分别为 10.27%和 8.76%;贮藏 15 d 时,雷司令花粉在-80 ℃下的萌发率(7.40%)最高,其余品种花粉在不同温度下的萌发率均低于 6%;贮藏 30 d 时,6 种酿酒葡萄花粉在不同温度下的萌发率均低于 6%。【结论】培养基中蔗糖对葡萄花粉离体萌发的影响大于硼酸和硝酸钙,不同贮藏温度下的花粉萌发率均随贮藏时间的延长而降低。6 种酿酒葡萄花粉在短时间(3 d 之内)贮藏时的适宜贮藏温度为 25 或 4 ℃;较长时间(7~15 d)贮藏时,媚丽花粉活力过低,赤霞珠、美乐、霞多丽花粉的适宜贮藏温度为 25 ℃且贮藏时间不超过 7 d,爱格丽与雷司令花粉的适宜贮藏温度为-80 ℃且爱格丽花粉的贮藏时间不宜超过 11 d;6 种酿酒葡萄花粉均不适宜 30 d 的长期贮藏。

[关键词] 酿酒葡萄;花粉活力;离体培养;花粉贮藏;贮藏条件
[中图分类号] S663.1 [文献标志码] A [文章编号] 1671-9387(2026)03-0065-07

Pollen viability and storage conditions of six wine grape varieties

REN Fuxian, HE Siyi, MA Tian, ZHENG Mengxin, FANG Yulin, ZENG Qingqing
(*College of Enology, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: 【Objective】 This study aimed to determine the pollen viability and identify optimal storage conditions for six wine grape varieties, providing a reference for solving the problem of asynchronous flowering in wine grape crossbreeding. 【Method】 Pollen from six wine grape varieties, namely Cabernet Sauvignon, Merlot, Chardonnay, Ecolly, Meili, and Riesling, was used as test materials. An orthogonal experi-

[收稿日期] 2024-11-29 [修回日期] 2025-02-04
[基金项目] 陕西省自然科学基础研究计划项目(2023-JC-QN-0251);国家重点研发计划项目(2019YFD1002502);国家农业产业技术体系项目(CARS-29);宁夏回族自治区重大研发计划项目(2020BCF01003)
[作者简介] 任福仙(1998-),女,山西孝义人,在读硕士,主要从事葡萄栽培研究。E-mail: fuxianren@nwafu.edu.cn
[通信作者] 房玉林(1973-),男,河南兰考人,教授,博士,博士生导师,主要从事酿酒葡萄品质发育与调控、葡萄种质资源等研究。E-mail: fangyulin@nwafu.edu.cn
曾青青(1992-),女,陕西西安人,副教授,博士,硕士生导师,主要从事葡萄栽培、酿酒葡萄种质资源、品质调控研究。E-mail: qingqingzeng@nwafu.edu.cn

mental design was employed to investigate the effects of sucrose, boric acid, and calcium nitrate mass concentrations on in vitro germination of grape pollen, identifying the optimal culture medium for. The *in vitro* germination method was used to analyze the effects of storage temperature and storage time on pollen activity of wine grapes under the optimal *in vitro* culture medium.【Result】Orthogonal experiments revealed that sucrose exhibited the highest range values for pollen germination rates across all six varieties. Sucrose concentration had a significant effect on the pollen germination of six wine grape varieties, while boric acid and calcium nitrate concentrations only had a significant effect on the pollen germination of Cabernet Sauvignon. The pollen germination rates of six wine grape varieties under the their optimal in vitro culture medium, ranked from highest to lowest, are as follows: Riesling (88.35%)>Ecolly (85.26%)>Chardonnay (68.75%)>Merlot (66.75%)>Meili (49.85%)>Cabernet Sauvignon (48.74%). Storage tests showed that after 3 days, the highest pollen germination rates were observed at 25 ℃ in Cabernet Sauvignon (17.79%), Merlot (30.80%), Ecolly(19.43%), and Riesling(30.79%), while Chardonnay (12.26%) and Meili(12.76%) demonstrated peak germination rates at 4 ℃. After 7 days of storage, the highest pollen germination rates were observed at 25 ℃ in Cabernet Sauvignon(10.48%), Merlot(12.48%), and Chardonnay (6.35%), while Ecolly (13.23%) and Riesling (16.26%) showed maximum germination rates at −80 ℃, and the Meili pollen germination rates remained below 6% at different temperatures. After 11 days, the pollen germination rates of Cabernet Sauvignon, Merlot, Chardonnay and Meili were lower than 6% at different temperatures, whereas the germination rates of Ecolly(10.27%) and Riesling(8.76%) were the highest at −80 ℃. After 15 days of storage, the pollen germination rate of Riesling (7.40%) was the highest at −80 ℃ while all other varieties maintained rates below 6% at different temperatures. After 30 days of storage, all six varieties displayed germination rates below 6% at different temperatures.【Conclusion】Sucrose exerted a greater influence on *in vitro* pollen germination than boric acid and calcium nitrate, with pollen germination rates declining at different storage temperatures as storage time extended. For short-term storage (within 3 d), 25 ℃ or 4 ℃ proved optimal for all six varieties. During extended storage (7−15 d), Meili pollen maintained critically low viability; Cabernet Sauvignon, Merlot and Chardonnay were best stored at 25 ℃ for up to 7 d; Ecolly and Riesling were best stored at −80 ℃, with Ecolly pollen recommended for storage time no more than 11 d. None of the pollen from six wine grape varieties was suitable for long-term storage of 30 days.

Key words: wine grape; pollen viability; *in vitro* culture; pollen storage; storage conditions

葡萄(*Vitis vinifera* L.)是世界上种植面积最广的果树之一,目前全球种植面积超过 700 万 hm^2,其中 80%用于酿酒,具有极高的经济价值[1-2]。酿酒葡萄的品质决定了葡萄酒的风味和品质[3],目前我国主栽酿酒葡萄品种大多由国外引进,缺少有影响力且适应本国风土的自育品种[4]。通过杂交育种选育优质的中国本土酿酒葡萄品种能有效提高中国葡萄酒的市场竞争力[4],高活力的花粉是杂交育种成功的重要保障[5],目前常用的花粉活力测定方法有 TTC 染色法[6]、I_2-KI 染色法[5]和离体萌发法[7]等,其中离体萌发法是检测花粉活力最可靠有效的方法[7]。而花粉离体萌发率取决于花粉本身的活力和离体培养基成分[8]。李桂荣等[9]对火焰无核葡萄进行了离体萌发试验,筛选出的最佳培养基为蔗糖 250 g/L+硼酸 0.08 g/L+硝酸钙 0.05 g/L,萌发率为 22.22%,其中培养基成分对花粉离体萌发的影响程度依次表现为蔗糖>硼酸>硝酸钙。前人对葡萄花粉的研究主要集中在同一培养条件下,忽略了不同种质间的差异性,难以体现不同品种的真实花粉活力。因此,研究蔗糖、硼酸和硝酸钙质量浓度对花粉萌发的影响,筛选葡萄花粉离体萌发的最适培养基,探究不同酿酒葡萄品种的花粉活力对提高葡萄杂交育种的成功率至关重要。

自然条件下,不同地区及不同品种的葡萄花期常常并不一致[10],花粉的贮藏能在一定时间内保持花粉活力,解决杂交过程中的时空障碍[11]。贮藏温度和时间均会影响花粉的寿命[12-13]。有研究表明,低温有利于花粉活力的保持[7]。因此,研究花粉贮

藏条件对酿酒葡萄杂交育种具有重要意义。贺普超[14]认为，当葡萄的花粉萌发率＞6％时即可正常用于葡萄杂交育种。目前对酿酒葡萄的研究多集中在栽培、酿造及果实品质等方面[15]，对其花粉活力检测和花粉贮藏的研究较少[1]。为此，本试验以贮藏后花粉萌发率是否超过 6％作为该花粉能否用于杂交育种的标准，以赤霞珠、美乐、霞多丽、爱格丽、媚丽、雷司令等 6 种常见酿酒葡萄的花粉为研究对象，采用花粉离体萌发法探究贮藏温度和时间对花粉活力的影响，以期获得不同酿酒葡萄品种花粉的适宜贮藏技术，进而为酿酒葡萄杂交育种工作奠定基础。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验地点位于陕西省杨凌农业高新技术产业示范区曹新庄试验农场（108.03° E，34.26° N），当地平均海拔 530 m，年平均气温 12.9 ℃，平均年降水量 637.6 mm，属大陆性季风型半湿润气候，四季分明，日照充足。

供试材料为酿酒葡萄赤霞珠、美乐、霞多丽、爱格丽、媚丽和雷司令，均采用篱架单干双臂式树形。于 2024 年 5 月份在花冠帽微绽时收集花序，置于硫酸纸上自然散粉，阴干 24 h 后用 75 μm 细胞筛过滤杂质，收集花粉于含有硅胶的青霉素小瓶中备用。

1.2　试验方法

1.2.1　*花粉萌发最佳培养基的筛选*　以采集的供试 6 种酿酒葡萄花粉为试材，探究蔗糖（A）、硼酸（B）、硝酸钙（C）3 个因素对葡萄花粉离体萌发的影响，按 $L_{16}(4^3)$ 正交表设计 3 因素 4 水平正交试验，共 16 个处理（表 1）。吸取 200 μL 配制好的培养基滴在单凹载玻片上，用毛笔将花粉均匀撒在培养基上，将载玻片置于含有湿润滤纸的培养皿中，于 25 ℃恒温箱中培养 3 h 后观察花粉萌发情况，每处理重复 3 次，每重复观察 3 个视野，每个视野花粉总数不少于 50 粒。以花粉管的长度大于花粉粒直径作为萌发标准[16]，统计花粉萌发情况并计算萌发率，通过方差分析和极差分析筛选不同品种葡萄花粉萌发的最佳培养基。花粉萌发率计算公式为：花粉萌发率＝（视野内萌发花粉数/视野内花粉总数）×100％[7]。

表 1　蔗糖、硼酸、硝酸钙 3 个因素对葡萄花粉离体萌发影响的 $L_{16}(4^3)$ 正交试验设计表

Table 1　Orthogonal experimental design table of $L_{16}(4^3)$ for the effects of sucrose, boric acid, and calcium nitrate on *in vitro* germination of grape pollen

处理 Treatment	因素 Factor A 蔗糖/(g·L⁻¹) Sucrose	B 硼酸/(g·L⁻¹) Boric acid	C 硝酸钙/(g·L⁻¹) Calcium nitrate	处理 Treatment	因素 Factor A 蔗糖/(g·L⁻¹) Sucrose	B 硼酸/(g·L⁻¹) Boric acid	C 硝酸钙/(g·L⁻¹) Calcium nitrate
1	100	0.04	0.000	9	200	0.04	0.050
2	100	0.06	0.025	10	200	0.06	0.075
3	100	0.08	0.050	11	200	0.08	0.000
4	100	0.10	0.075	12	200	0.10	0.025
5	150	0.04	0.025	13	250	0.04	0.075
6	150	0.06	0.000	14	250	0.06	0.050
7	150	0.08	0.075	15	250	0.08	0.025
8	150	0.10	0.050	16	250	0.10	0.000

1.2.2　*贮藏条件对花粉活力的影响*　将收集的酿酒葡萄赤霞珠、美乐、霞多丽、爱格丽、媚丽和雷司令花粉分别于 25 ℃恒温箱和 4，－20，－80 ℃冰箱内贮藏，在贮藏 3，7，11，15，30 d 时取样，将花粉均匀撒在所筛选的最佳培养基上，于 25 ℃恒温培养 3 h 后统计萌发率，每处理重复 3 次。

1.3　数据处理

采用 Image J 软件统计视野内的花粉总数和花粉萌发数，采用 Excel 软件对试验数据进行处理与分析，使用 SPSS 软件进行方差分析，采用 Duncan's 法进行多重比较（$P<0.05$）。

2　结果与分析

2.1　花粉离体萌发最佳培养基的筛选

培养基中不同质量浓度蔗糖、硼酸、硝酸钙对葡萄花粉离体萌发影响的正交试验结果见表 2。由表 2 可知，赤霞珠花粉在第 4 处理组的萌发率最高，为 48.74％，与第 3 处理组差异不显著但显著高于其他处理组；美乐花粉在第 16 处理组的萌发率最高，为 66.75％，显著高于其他处理组；霞多丽花粉在第 11 处理组的萌发率最高，为 68.75％，与第 15 处理组差异不显著而显著高于其他处理组；爱格丽花粉在

第 6 处理组的萌发率(83.51%)最高,与第 8 处理组差异不显著而显著高于其他处理组;媚丽花粉在第 11 处理组的萌发率(50.25%)最高,与第 6,10 处理组差异不显著而显著高于其他处理组;雷司令花粉在第 7 处理组的萌发率(85.56%)最高,与第 5,12 处理组差异不显著而显著高于其他处理组。

表 2 蔗糖、硼酸和硝酸钙质量浓度对酿酒葡萄花粉萌发率影响的正交试验结果

Table 2 Results of orthogonal experiment on the effects of sucrose, boric acid and calcium nitrate mass concentrations on the germination rate of pollen of wine grape %

处理 Treatment	花粉萌发率 Pollen germination rate					
	赤霞珠 Cabernet Sauvignon	美乐 Merlot	霞多丽 Chardonnay	爱格丽 Ecolly	媚丽 Meili	雷司令 Riesling
1	7.75±1.32 ef	7.74±1.07 i	15.36±2.66 g	14.93±0.82 jk	19.68±2.78 hi	41.06±2.39 e
2	11.10±0.36 de	3.72±0.81 j	10.64±1.93 h	18.36±0.53 hij	16.37±2.09 i	45.01±2.74 de
3	44.00±2.03 a	3.61±1.03 j	16.56±1.91 g	17.28±2.33 ij	18.11±2.89 hi	40.60±4.86 e
4	48.74±2.48 a	4.73±0.91 j	16.94±1.70 g	23.59±3.63 fgh	23.85±1.92 gh	46.74±2.84 de
5	10.12±1.86 de	33.43±2.72 def	39.00±1.79 de	56.00±4.46 c	33.00±3.47 def	85.61±1.71 a
6	14.80±1.00 c	27.34±1.85 g	42.60±3.11 de	83.51±1.84 a	46.87±3.94 ab	77.28±4.25 b
7	19.08±3.58 b	19.80±2.64 h	29.83±3.43 f	70.94±3.75 b	30.68±3.52 ef	85.86±1.09 a
8	20.21±2.68 b	40.38±3.66 c	35.63±2.01 ef	82.66±0.74 a	36.57±4.25 cde	71.93±3.97 b
9	8.49±0.47 def	33.00±1.91 def	50.25±2.91 c	26.86±4.86 efg	39.21±3.50 cd	59.35±3.26 c
10	11.53±2.01 cd	37.93±1.71 cd	58.00±2.63 b	28.98±2.74 def	49.85±3.65 a	52.24±3.92 cd
11	9.96±1.40 de	32.61±0.96 ef	68.75±3.19 a	32.28±1.55 de	50.25±1.23 a	58.17±4.49 c
12	8.18±1.73 def	32.00±2.47 ef	48.93±3.54 c	35.57±2.44 d	41.24±2.74 bc	84.12±2.09 a
13	7.85±1.32 ef	36.53±3.31 cde	32.19±4.78 f	9.42±3.61 l	35.95±4.05 cde	30.99±1.71 f
14	5.59±0.36 f	29.78±1.47 fg	50.89±2.15 c	11.49±1.87 kl	28.44±4.99 fg	17.65±3.02 h
15	6.62±1.45 f	56.80±1.51 b	67.59±0.84 a	21.20±3.02 ghi	19.73±2.03 hi	24.42±4.08 g
16	7.80±0.71 ef	66.75±0.99 a	54.38±3.86 bc	21.54±1.62 ghi	20.40±1.98 hi	14.98±2.55 h

注:同列数据后标不同小写字母表示同一葡萄品种不同培养基之间萌发率差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters after data in the same column indicate significant differences in germination rates among different media for the same grape variety ($P<0.05$).

对赤霞珠、美乐、霞多丽、爱格丽、媚丽和雷司令 6 种葡萄花粉萌发率的正交试验结果进行极差分析,结果见表 3。

表 3 6 种葡萄花粉萌发率正交试验结果的极差分析

Table 3 Range analysis on the results of orthogonal tests on pollen germination rate of six grape varieties %

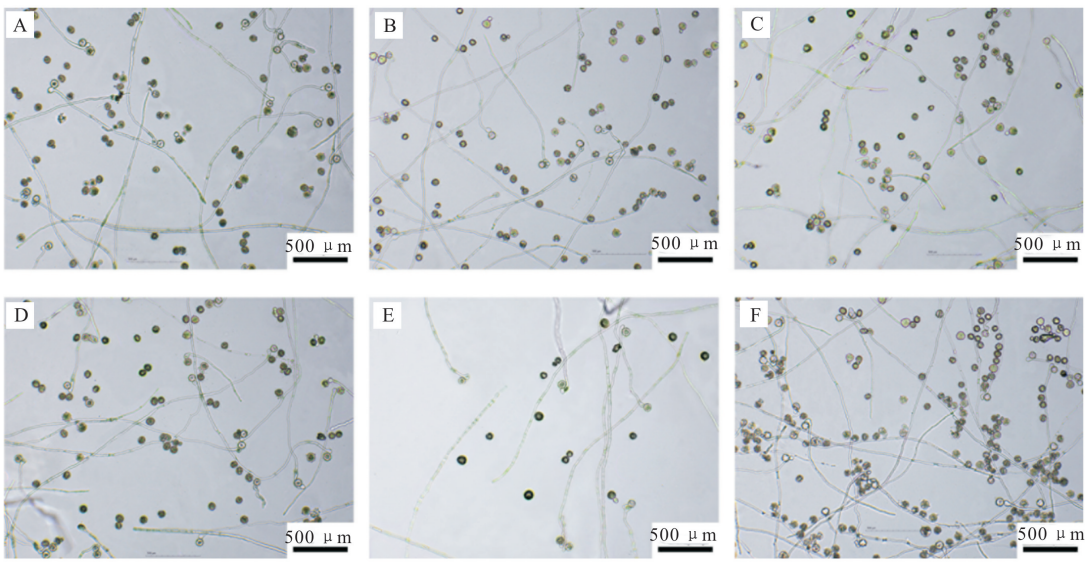
因素 Factor	平均值与极差 Average and range	花粉萌发率 Pollen germination rate					
		赤霞珠 Cabernet Sauvignon	美乐 Merlot	霞多丽 Chardonnay	爱格丽 Ecolly	媚丽 Meili	雷司令 Riesling
蔗糖 Sucrose	K_1	27.90 a	4.95 c	14.88 c	18.54 c	19.50 d	43.35 c
	K_2	16.05 b	30.24 b	36.77 b	73.27 a	36.78 b	80.17 a
	K_3	9.54 bc	33.88 b	56.48 a	30.92 b	45.14 a	63.47 b
	K_4	6.97 c	47.46 a	51.26 a	15.91 c	26.13 c	22.01 d
	R	20.93	42.51	41.60	57.36	25.64	58.16
硼酸 Boric acid	K_1	8.55 b	27.67 a	34.20 a	26.80 a	31.96 a	54.25 a
	K_2	10.75 ab	24.69 a	40.54 a	35.58 a	35.38 a	48.04 a
	K_3	19.92 a	28.21 a	45.69 a	35.42 a	29.69 a	52.26 a
	K_4	21.23 a	35.97 a	38.97 a	40.84 a	30.52 a	54.44 a
	R	12.68	11.28	11.49	14.04	5.69	6.40
硝酸钙 Calcium nitrate	K_1	10.07 bc	33.61 a	45.27 a	38.06 a	34.30 a	47.87 a
	K_2	9.01 c	31.49 a	41.54 a	32.78 a	27.59 a	59.79 a
	K_3	19.57 ab	26.69 a	38.34 a	34.57 a	30.58 a	47.38 a
	K_4	21.80 a	24.75 a	34.24 a	33.23 a	35.08 a	53.96 a
	R	12.79	8.86	11.03	5.28	7.49	12.41

注:K_i($i=1\sim4$)为同一因素不同水平观测值的平均值;R 为极差;同列数据后的不同小写字母表示同一因素不同水平间差异显著($P<0.05$)。

Note: K_i($i=1-4$)is the average of the observed values at different levels of the same factor; R is the range; Different lowercase letters after the data indicate significant differences between different levels of the same factor ($P<0.05$).

由表 3 可知，6 种葡萄花粉萌发过程中，蔗糖的极差值（R）均为最大，表明蔗糖是不同花粉萌发率的最大影响因素。赤霞珠花粉萌发率随蔗糖质量浓度的增加呈下降趋势，在蔗糖质量浓度为 100 g/L 时萌发率最高；美乐花粉萌发率随蔗糖质量浓度的增加呈上升趋势，在蔗糖质量浓度为 250 g/L 时萌发率最高；霞多丽、爱格丽、媚丽、雷司令花粉萌发率均随蔗糖质量浓度的增加呈先上升后下降的趋势，分别在蔗糖质量浓度为 200，150，200，150 g/L 时花粉萌发率达到最高。硼酸质量浓度除了对赤霞珠花粉的萌发存在显著影响外，对其他品种花粉的萌发均无显著影响，赤霞珠、美乐、爱格丽、雷司令、霞多丽和媚丽的花粉分别在硼酸质量浓度为 0.10，0.10，0.10，0.10，0.08，0.06 g/L 时萌发率最大。硝酸钙质量浓度对赤霞珠花粉的萌发存在显著影响，对其他品种花粉的萌发影响不显著；赤霞珠、美乐、霞多丽、爱格丽、媚丽和雷司令花粉分别在硝酸钙质量浓度为 0.075，0，0，0，0.075，0.025 g/L 时萌发率最大。由极差分析结果可得，赤霞珠花粉离体萌发的最佳培养基为 100 g/L 蔗糖＋0.10 g/L 硼酸＋0.075 g/L 硝酸钙，萌发率为 48.74%；美乐花粉的最佳培养基为 250 g/L 蔗糖＋0.10 g/L 硼酸，萌发率为 66.75%；霞多丽花粉的最佳培养基为 200 g/L 蔗糖＋0.08 g/L 硼酸，萌发率为 68.75%；媚丽花粉的最佳培养基为 200 g/L 蔗糖＋0.06 g/L 硼酸＋0.075 g/L 硝酸钙，萌发率为 49.85%；爱格丽花粉的最佳培养基为 150 g/L 蔗糖＋0.10 g/L 硼酸；雷司令花粉的最佳培养基为 150 g/L 蔗糖＋0.10 g/L 硼酸＋0.025 g/L 硝酸钙。其中，赤霞珠、美乐、霞多丽和媚丽花粉的最佳培养基分别为正交试验第 4，16，11 和 10 处理组，爱格丽和雷司令花粉的最佳培养基并未出现在正交试验组合中。对正交试验极差分析获得的爱格丽、雷司令花粉离体萌发最佳培养基进行验证，结果得到爱格丽、雷司令在最佳培养基时花粉萌发率分别为 85.26%和 88.35%，均高于正交试验的各处理组。

6 个酿酒葡萄品种花粉在最佳培养基下的萌发结果如图 1 所示。



A 赤霞珠；B 美乐；C 霞多丽；D 爱格丽；E 媚丽；F 雷司令。

A. Cabernet Sauvignon；B. Merlot；C. Chardonnay；D. Ecolly；E. Meili；F. Riesling.

图 1　不同葡萄品种花粉在各自最佳培养基下的萌发情况

Fig. 1　Pollen germination of different grape varieties in their respective optimal media

2.2　贮藏条件对花粉活力的影响

不同贮藏温度和贮藏时间对赤霞珠、美乐、霞多丽、爱格丽、媚丽和雷司令 6 种葡萄花粉活力的影响如图 2 所示。由图 2 可知，不同贮藏温度下花粉萌发率均随贮藏时间的延长而降低。贮藏 3 d 时，赤霞珠、美乐、爱格丽、雷司令花粉在 25 ℃条件下萌发率最高，分别为 17.79%，30.80%，19.43%和 30.79%；霞多丽、媚丽花粉在 4 ℃条件下萌发率最高，分别为 12.26%和 12.76%。贮藏 7 d 时，赤霞珠、美乐、霞多丽花粉在 25 ℃条件下萌发率最高，分别为 10.48%，12.48%和 6.35%；爱格丽、雷司令花粉在－80 ℃条件下萌发率最高，分别为 13.23%和 16.26%；媚丽花粉在不同温度下萌发率均低于 6%。贮藏 11 d 时，赤霞珠、美乐、霞多丽、媚丽花粉在不同温度下萌发率均低于 6%；爱格丽、雷司令在－80 ℃条件下萌发率最高，分别为 10.27%和

8.76%。贮藏 15 d 时,雷司令花粉在-80 ℃条件下萌发率最高,为 7.40%;其余葡萄品种花粉在不同温度下的萌发率均低于 6%。贮藏 30 d 时,6 种酿酒葡萄花粉在不同温度下的萌发率均低于 6%。综上可知,6 种酿酒葡萄花粉短时间(3 d 之内)贮藏时的适宜贮藏温度为 25 ℃或 4 ℃。较长时间(11～15 d)贮藏时,媚丽花粉活力过低,赤霞珠、美乐、霞多丽花粉的适宜贮藏温度为 25 ℃且贮藏时间不超过 7 d;爱格丽、雷司令花粉的适宜贮藏温度为-80 ℃,且爱格丽花粉贮藏时间不宜超过 11 d;6 种酿酒葡萄花粉均不适宜 30 d 的长期贮藏。

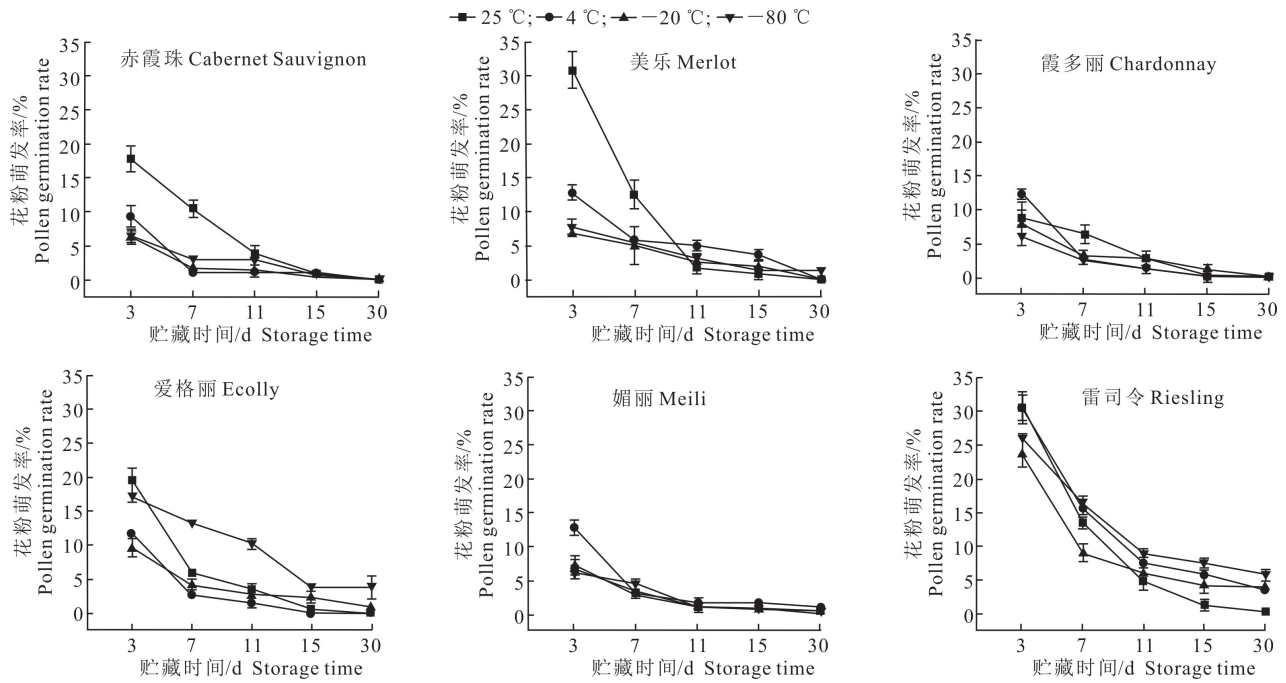


图 2 贮藏温度和贮藏时间对 6 种葡萄花粉活力的影响

Fig. 2 Effects of storage temperature and storage time on pollen viability of six grape varieties

3 讨论与结论

3.1 离体萌发培养基对花粉活力的影响

离体培养法是目前测定花粉活力最准确、最有效的方法,花粉的离体萌发需要多种成分参与。蔗糖是花粉萌发所必需的营养物质,其能维持细胞内外渗透压,促进花粉的萌发和生长[7]。已有研究表明,同一植物不同品种花粉最适离体萌发培养基的蔗糖质量浓度存在一定差异[8]。本研究中,赤霞珠、爱格丽、雷司令、霞多丽、媚丽和美乐花粉离体萌发培养基中的最适蔗糖质量浓度分别为 100,150,150,200,200 和 250 g/L,这可能是不同品种间遗传特性的差异所致。

硼酸可以与蔗糖形成络合物,提高糖的吸收和代谢,从而促进花粉管的伸长生长,缺失硼元素会造成植物花而不实、蕾而不花现象,甚至会导致花粉管破裂[17-19]。不同植物种类花粉萌发和生长所需的最适硼酸质量浓度并不相同,柳树花粉适宜的硼酸质量浓度为 1 g/L[13],甘蔗花粉萌发的最适硼酸质量浓度为 100 g/L[20]。本研究中,赤霞珠花粉在硼酸质量浓度为 0.10 g/L 时萌发率最大,与硼酸质量浓度为 0.06 和 0.08 g/L 时的萌发率差异不显著,但显著高于 0.04 g/L 硼酸时的萌发率,表明高质量浓度硼酸可以促进赤霞珠花粉的萌发;但硼酸质量浓度对其他 5 种葡萄品种的花粉萌发无显著影响,其中美乐、爱格丽、雷司令花粉均在硼酸质量浓度为 0.10 g/L 时的萌发率最高,霞多丽花粉在 0.06 g/L 时萌发率最高,媚丽花粉在 0.06 g/L 时萌发率最高。

钙离子是花粉萌发的必需元素,对花粉的极性生长具有重要意义[7]。项艳艳等[16]的研究表明,硝酸钙质量浓度对蓝冠等西番莲花粉萌发影响不显著。本研究中,赤霞珠花粉在硝酸钙质量浓度为 0.075 g/L 时萌发率最高,与硝酸钙质量浓度为 0.050 g/L 时的萌发率差异不显著,但显著高于硝酸钙质量浓度为 0 和 0.025 g/L 时的萌发率。硝酸钙质量浓度对其他 5 种葡萄品种的花粉萌发无显著影响,其中美乐、霞多丽、爱格丽、媚丽和雷司令花粉分别在硝酸钙质量浓度为 0,0,0,0.075 和 0.025

g/L 时萌发率最高。

3.2　贮藏条件对花粉活力的影响

有研究表明，不同品种葡萄花粉的贮藏温度和贮藏时间存在一定差异[21-22]。贺超普[14]研究认为，当葡萄的花粉萌发率＞6%时即可正常用于葡萄杂交育种。因此，本研究将贮藏后的葡萄花粉萌发率是否超过 6%作为贮藏条件是否适宜的评判标准。本试验表明，6 种酿酒葡萄花粉在短时间（3 d 之内）贮藏时的适宜贮藏温度为 25 或 4 ℃；较长时间（11～15 d）贮藏时，媚丽花粉活力过低，赤霞珠、美乐、霞多丽花粉的适宜贮藏温度为 25 ℃且贮藏时间不超过 7 d，爱格丽、雷司令花粉的适宜贮藏温度为－80 ℃且爱格丽花粉贮藏时间不超过 11 d；6 种酿酒葡萄花粉均不适宜 30 d 的长期贮藏。本研究结论与李玉玲等[22]对火焰无核等葡萄花粉的研究结果相似。

低温贮藏能维持葡萄花粉长时间的生活力[12]。本研究发现，在花粉贮藏 3 d 时，赤霞珠、美乐、爱格丽、雷司令葡萄的花粉在 25 ℃条件下的生活力较高。其原因可能是：采摘花序时，花粉细胞尚未完全成熟，低温条件破坏了花粉细胞的生理结构，25 ℃的温度条件促进了花粉的生理成熟；低温导致花粉内源激素的变化，从而降低了花粉萌发率[23]。后续可通过半薄切片观察花粉的发育时期，采用高效液相色谱-串联质谱法测定花粉内源激素，进一步探究赤霞珠、美乐、爱格丽和雷司令花粉在 25 ℃条件下贮藏 3 d 时生活力较高的原因。

[参考文献]

[1] PEREIRA M R，RIBEIRO H，CUNHA M，et al. Comparison of pollen quality in *Vitis vinifera* L. cultivars[J]. Scientia Horticulturae，2018，227：112-116.

[2] 石雷，刘政安，王利军，等. 发展特色资源植物助力美丽中国建设[J]. 中国科学院院刊，2023，38(12)：1856-1865.
SHI L，LIU Z A，WANG L J，et al. Developing characteristic resource plants to build a beautiful China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences，2023，38(12)：1856-1865.

[3] 曹炜玉，路文鹏，舒楠，等. 葡萄酒风味物质及其影响因素研究进展[J]. 中国酿造，2022，41(5)：1-7.
CAO W Y，LU W P，SHU N，et al. Research progress on wine flavor substances and their influencing factors[J]. China Brewing，2022，41(5)：1-7.

[4] 谢军，王荣，徐美隆，等. 酿酒葡萄香宝馨与赤霞珠正反交后代果实性状遗传变异分析[J]. 果树学报，2023，40(8)：1509-1522.
XIE J，WANG R，XU M L，et al. Analysis of genetic tendency of fruit traits in the reciprocal hybrids of wine grape Chambourcin and Cabernet Sauvignon[J]. Journal of Fruit Science，2023，40(8)：1509- 1522.

[5] 刘帅，彭方仁. 薄壳山核桃花粉活力测定方法比较[J]. 经济林研究，2023，41(2)：110-119.
LIU S，PENG F R. Comparison of detection methods for pollen viability of *Carya illinoinensis*[J]. Non-wood Forest Research，2023，41(2)：110-119.

[6] 吴斌，王加志，邢文婷，等. 西番莲属 25 个种（品种）花粉活力检验方法筛选及其花粉活力和柱头可授性比较分析[J]. 果树学报，2024，41(10)：1947-1960.
WU B，WANG J Z，XING W T，et al. Screening of pollen viability test methods and comparative analysis of pollen viability and stigma acceptability from 25 species of *Passiflora* L.[J]. Journal of Fruit Science，2024，41(10)：1947-1960.

[7] 殷陈陈，张捷，孟景祥，等. 风铃木花粉萌发最适培养基及贮藏条件的筛选[J]. 西北农林科技大学学报（自然科学版），2024，52(11)：94-101，112.
YIN C C，ZHANG J，MENG J X，et al. Optimization of culture media and storage for germination of *Handroanthus* spp. pollen[J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed)，2024，52(11)：94-101，112.

[8] 刘国宇，王庆，张文波，等. 4 种绣球花粉离体萌发研究[J]. 西北农业学报，2024，33(9)：1681-1689.
LIU G Y，WANG Q，ZHANG W B，et al. Pollen germination *in vitro* of four hydrangea species[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica，2024，33(9)：1681-1689.

[9] 李桂荣，朱自果，李力，等. 火焰无核葡萄花粉离体萌发试验[J]. 西北林学院学报，2012，27(6)：93-97.
LI G R，ZHU Z G，LI L，et al. Studies on pollen germination of *Vitis vinifera* cv. flame seedless *in vitro*[J]. Journal of Northwest Forestry University，2012，27(6)：93-97.

[10] 刘佳，刘晓，陈建. 巨玫瑰葡萄花粉生活力研究[J]. 西南农业学报，2014，27(5)：2115-2118.
LIU J，LIU X，CHENG J. Study on viability of Jumeigui grape pollen[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences，2014，27(5)：2115-2118.

[11] 朱杨帆，欧景莉，刘映，等. 不同温度条件下两种贮藏方式对阳桃花粉活力的影响[J]. 果树学报，2024，41(12)：2512-2517.
ZHU Y F，OU J L，LIU Y，et al. Effects of two storage methods on pollen viability of Carambola (*Aver-rhoa carambola* L.) under different temperature conditions[J]. Journal of Fruit Science，2024，41(12)：2512-2517.

[12] 苗卫东，王萌，井朋伟，等. 不同葡萄品种花粉生活力测定与贮藏条件[J]. 北方园艺，2021(24)：23-31.
MIAO W D，WANG M，JING P W，et al. Pollen viability and storage conditions of different grape cultivars[J]. Northern Horticulture，2021(24)：23-31.

[13] 郭冰娟，高杰. 不同培养基和贮藏温度对柳树花粉萌发率与花粉活力的影响[J]. 天津农林科技，2024(2)：1-3.
GUO B J，GAO J. Effect of different culture media and storage temperatures on the germination rate and pollen vitality of willow pollen[J]. Science and Technology of Tianjin Agriculture and Forestry，2024(2)：1-3.

（下转第 91 页）

HU L J，HANG X N，MA L J，et al. Effects of different fertilization levels on ornamental traits and photosynthetic pigments of *Brassica oleracea* under mushroom residue cultivation substrate[J]. South China Agriculture，2022，16(23)：15-18.

[27] 熊靓，龚伟，王景燕，等. 配方施肥对汉源葡萄青椒叶片光合特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2019，47(1)：79-89.
XIONG L，GONG W，WANG J Y，et al. Effects of formulated fertilization on photosynthetic characteristics of ‘Hanyuan Putao Qingjiao’[J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed)，2019，47(1)：79-89.

[28] 李亚麒，陈林，唐军荣，等. 施肥对云南松苗木-土壤氮、磷、钾化学计量比的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2024，52(3)：40-50.
LI Y Q，CHEN L，TANG J R，et al. Effect of fertilization on stoichiometric ratio of nitrogen，phosphorus and potassium in *Pinus yunnanensis* seedling and soil[J]. Journal of Northwest A&F University(Nat Sci Ed)，2024，52(3)：40-50.

[29] 赵嫦妮，徐德禄，李志辉. 配方施肥对赤皮青冈容器苗生长的影响[J]. 中南林业科技大学学报，2013，33(5)：22-25.
ZHAO C N，XU D L，LI Z H. Effects of formulated fertilization on growth *Cyclobalanopsis gilva* container seedlings[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology，2013，33(5)：22-25.

[30] 张娜娜. 施肥对紫穗槐幼苗生长、生理及营养元素的影响[D]. 黑龙江牡丹江：牡丹江师范学院，2022.
ZHANG N N. Effects of fertilization on growth，physiology and nutrient elements of *Amorpha fruticosa* seedlings[D]. Mudanjiang，Heilongjiang：Mudanjiang Normal University，2022.

[31] 杨志坚，冯金玲，吴小慧，等. 氮磷钾施肥对闽楠幼苗营养元素吸收与利用的影响[J]. 生态学杂志，2021，40(4)：998-1011.
YANG Z J，FENG J L，WU X H，et al. Effects of N，P，and K fertilization on nutrient uptakes and utilizations of *Phoebe bournei* seedlings[J]. Chinese Journal of Ecology，2021，40(4)：998-1011.

[32] 张明锦，陈良华，张健，等. 干旱胁迫和施肥对巨能草生物量及C、N、P积累与分配的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2016，44(9)：105-112.
ZHANG M J，CHEN L H，ZHANG J，et al. Effect of drought stress and fertilization on accumulation and partitioning of biomass，C，N and P of *Puelia sinese* Roxb[J]. Journal of Northwest A&F University(Nat Sci Ed)，2016，44(9)：105-112.

（责任编辑：窦春蕊）

（上接第 71 页）

[14] 贺普超. 葡萄学[M]. 北京：中国农业出版社，1999.
HE P C. Grape science[M]. Beijing：China Agricultural Publisher，1999.

[15] MANSOUR G，GHANEM C，MERCENARO L，et al. Effects of altitude on the chemical composition of grapes and wine：a review[J]. OENO One，2022，56(1)：227-239.

[16] 项艳艳，黄伟杰，赖江龙，等. 西番莲种质资源花粉活力鉴定方法探究[J]. 福建农业学报，2024，39(3)：302-309.
XIANG Y Y，HUANG W J，LAI J L，et al. Determination of viability of passion fruit pollens[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences，2024，39(3)：302-309.

[17] 张晓莹，傅巧娟，赵福康，等. 大花蕙兰花粉贮藏与离体萌发研究[J]. 浙江农业学报，2019，31(9)：1502-1508.
ZHANG X Y，FU Q J，ZHAO F K，et al. Study on preservation and germination of *Cymbidium hybridum* pollen[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis，2019，31(9)：1502-1508.

[18] 曾丽霞，艾应伟. 硼对花粉生物化学功能影响的研究进展[J]. 中国土壤与肥料，2008(3)：9-11.
ZENG L X，AI Y W. Effect of boron on the biochemical function of pollen[J]. China Soil and Fertilizer，2008(3)：9-11.

[19] FRAGALLAH S A D A，LIN S，LI N，et al. Effects of sucrose，boric acid，pH，and incubation time on in vitro germination of pollen and tube growth of Chinese fir (*Cunnighamial lanceolata* L.)[J]. Forests，2019，10(2)：102.

[20] 常海龙，张伟，陈俊吕，等. 甘蔗花粉离体萌发研究[J]. 热带作物学报，2019，40(10)：2068-2075.
CHANG H L，ZHANG W，CHEN J L，et al. Sugarcane pollen germination *in vitro*[J]. Chinese Journal of Tropical Crops，2019，40(10)：2068-2075.

[21] 李桂荣，朱自果，鲁晓晓，等. 葡萄花粉不同贮藏条件下生活力的鉴定[J]. 吉林农业科学，2015，40(2)：92-96.
LI G R，ZHU Z G，LU X X，et al. Determination of grape pollen viability under different storage conditions[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences，2015，40(2)：92-96.

[22] 李玉玲，王勇，苏来曼·艾则孜，等. 不同葡萄品种花粉活力测定及适宜贮藏温度筛选[J]. 江西农业学报，2022，34(8)：13-16.
LI Y L，WANG Y，SULEYMAN A Z Z，et al. Pollen viability of different grape varieties and suitable storage temperature screening[J]. Acta Agriculturae Jiangxi，2022，34(8)：13-16.

[23] 王玖瑞，刘孟军，梁海永. 枣树单花不同开放阶段花粉萌发率和内源激素的变化[J]. 园艺学报，2005(4)：677-679.
WANG J R，LIU M J，LIANG H Y. Changes of pollen germination rate and endogenous hormones during single flower opening of Chinese jujube[J]. Acta Horticulturae Sinica，2005(4)：677-679.

（责任编辑：温晓平）