

钝叶酢浆草花粉活力测定与贮藏温度研究

陆雯文¹, 修美玲², 吴沙沙^{1*}

(1. 福建农林大学 风景园林与艺术学院 福建省观赏植物种质资源创新与应用工程技术研究中心 海峡花卉产业高地, 福州 350002; 2. 上海植物园, 上海 200231)

摘要: 为提高钝叶酢浆草杂交育种的效率, 该研究以 6 个钝叶酢浆草品种花粉为实验材料, 采用离体萌发法, 通过正交试验筛选适宜花粉萌发的培养条件; 采用 TTC 染色法、醋酸洋红染色法、I₂-KI 染色法和亚历山大染色法测定花粉活力, 与离体萌发法测定结果进行对比, 评估各染色方法的可靠性; 在常温 (28 °C)、4 °C、-20 °C、-80 °C 温度分别贮藏花粉 0、1、2、5、10、15、20、25、30、40、50、60 d, 检测不同温度对花粉活力的影响, 确定最佳的花粉贮藏温度。结果表明: (1) 钝叶酢浆草花粉离体萌发的最适培养条件为 20 g·L⁻¹ 琼脂+100 g·L⁻¹ 蔗糖+200 mg·L⁻¹ 硼酸+200 mg·L⁻¹ 氯化钙, 温度 25 °C, 时间 4 h。(2) 离体萌发法能够有效测定钝叶酢浆草花粉活力, 各染色方法与之对比发现, TTC 染色法不能使花粉染色, I₂-KI 染色法和醋酸洋红染色法测定结果显著高于离体萌发法, 亚历山大染色法测定结果与离体萌发法无显著差异, 可以快速、准确地测定花粉活力。(3) 在不同温度下钝叶酢浆草花粉活力下降的速度为常温>4 °C>-20 °C>-80 °C, 最佳贮藏温度为-80 °C。该研究结果可为钝叶酢浆草人工授粉、杂交育种及花粉收集贮藏提供理论依据, 有效解决花期不遇、异地授粉等问题。

关键词: 钝叶酢浆草, 花粉活力, 离体萌发, 亚历山大染色法, 贮藏温度

中图分类号: Q945 **文献标志码:** A

Pollen vitality and storage temperature study of *Oxalis obtusa*

LU Wenwen¹, XIU Meiling², WU Shasha^{1*}

(1. College of Landscape Architecture and Art, Fujian Agriculture and Forestry University, The Innovation and Application Engineering Technology Research Center of Ornamental Plant Germplasm Resources in Fujian Province, Straits Flower Industry Highland, Fuzhou 350002; 2. Shanghai Botanical Garden, Shanghai 200231)

Abstract: To improve the hybrid-breeding efficiency in *Oxalis obtusa*, this study identified the culture conditions for optimal germination of *O. obtusa* pollen *in vitro*, established an efficient pollen vitality staining method, and investigated optimal pollen storage temperature for six cultivars. An orthogonal experiment was used to screen the culture conditions suitable for pollen germination. Different pollen viability staining method including TTC staining, Aceto-carmin staining, I₂-KI staining, and Alexander staining, were carried out and results were compared with those of the *in vitro* germination assay to evaluate their reliability. To determine the effect of temperatures on pollen vitality and an optimal pollen storage temperature, the pollens stored at different temperatures (28 °C, 4 °C, -20 °C, and -80 °C) for different period (0, 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60 d) were assayed. The results suggest: (1) The optimal culture condition for the *in vitro* germination of *O. obtusa* pollens is 20 g·L⁻¹ agar+100 g·L⁻¹ sucrose+200 mg·L⁻¹ H₃BO₃+200 mg·L⁻¹ CaCl₂, at 25 °C for 4 h. (2) The *in vitro* germination method significantly affect the pollen vitality of *O. obtusa*. It is found that the pollen vitality ratio determined by I₂-KI staining or Aceto-carmin staining is significantly higher than that determined by *in vitro* germination method. The TTC staining procedure does not work on *O. obtusa*. The Alexander staining revealed a pollen vitality ratio that has no significant difference from that by the *in vitro* germination method. (3) The decline rates of the *O. obtusa* pollen viability at different temperature are ordered as: room temperature > 4 °C >

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 32471958); 福建农林大学 2021 年度乡村振兴服务团队项目 (No. 11899170151)。

第一作者: 陆雯文 (2001—), 硕士研究生, 主要从事园林植物与应用研究, (E-mail) 19126093196@163.com。

***通信作者:** 吴沙沙, 博士, 教授, 研究方向为园林植物资源与应用研究, (E-mail) shashawu1984@126.com。

-20 °C > -80 °C. To summarize, this study systematically studied the optimal culture conditions for the *in vitro* germination of *O. obtusa* pollens and determined that the Alexander method is the most efficient and accurate staining method for pollen viability, and the optimal storage temperature is -80 °C. This research established important theoretical basis to improve artificial pollination, hybrid breeding, pollen collection and pollen storage of the *O. obtusa*, which can potentially solve the problem of missing flowering period for cross pollination.

Key words: *Oxalis obtusa*, pollen viability, *in vitro* germination, Alexander staining method, storage temperature

钝叶酢浆草(*Oxalis obtusa* Jacq)简称“OB 酢”,是酢浆草科(Oxalidaceae)酢浆草属(*Oxalis*)植物,是秋酢浆草类中品种资源最为丰富的一种(许巧贤等, 2021),广泛分布于非洲纳米比亚等地区(李娜等, 2022)。和大多数原产于南非的物种一样,钝叶酢浆草也是在秋季种植,冬、春季节生长开花,夏季休眠。其花期长达半年的时间,最早可在12月开花,盛花期为2—4月,4月底至5月逐渐休眠;它的花期相对较晚,冬季至初春才会陆续绽放,被归类为晚花类(唐小云等, 2023)。钝叶酢浆草掌状复叶由3片心形小叶组成,花单生,多为粉色、砖红色、橙色、黄色或白色,几乎涵盖了所有暖色系,在不同的温度和温差下,花色会有所变化。钝叶酢浆草品种繁多,花色丰富,植株小巧紧凑,花量大,具有较高的观赏价值,适合盆栽和地被种植,具有较大的园艺开发价值(许巧贤等, 2021)。钝叶酢浆草的自然结实率较低,多以种球繁殖为主,要想开发其园艺价值,必须通过杂交育种进行品种创新。但是钝叶酢浆草为异型花柱,并且部分品种存在生殖隔离(Krejčíková et al., 2013),还有花期不遇等问题,造成了钝叶酢浆草杂交育种工作存在一定的困难。

花粉作为遗传物质的载体(刘帅和彭方仁, 2023),包含父本所有的遗传信息且具有较强的遗传保守性(刘帅和彭方仁, 2023; 张琪等, 2024),其活力的高低直接影响到杂交育种的结果(俞芹等, 2018)。而钝叶酢浆草是典型的三型花柱植物,包括长花柱型、中花柱型和短花柱型3种类型,存在上、下两轮雄蕊(Marco&Arroyo, 2024)。不同花柱类型的植株,其花粉活力存在差异;同一种/品种上、下两轮的花粉活力也存在差异(宋费玲等, 2021)。因此,为了提高钝叶酢浆草杂交育种的效率,对其花粉活力的检测是十分必要的。钝叶酢浆草还存在花期不遇、异地授粉等问题,而低温贮藏是保存花粉活力的常见方法,可以延长花粉寿命,为杂交育种解决时空限制问题(肖玉菲等, 2021)。因此,研究钝叶酢浆草花粉的最佳贮藏温度对其杂交育种工作十分重要。

目前,关于酢浆草属花粉的研究多集中在花粉形态学方面,杨德奎和吴晓霞(2004)、陈明林等(2007)都对酢浆草属花粉形态特征进行观察,Lopez和Rosenfeldt(2016)对南美洲特有的13种酢浆草进行花粉形态研究,陈生煜等(2024)对14种酢浆草属植物花粉形态及表面纹饰进行观测,这些研究为酢浆草的分类学研究提供了一定基础。但在花粉生理学方面的研究相对匮乏,贾文庆等(2010)利用离体培养法筛选出了最适合红花酢浆草(*Oxalis corymbosa*)花粉萌发的培养基;Tsai等(2010)使用荧光变色反应来测定台湾红花酢浆草的花粉活力,发现其活力非常低;宋费玲等(2021)采用I₂-KI法和TTC法测定6个品种的酢浆草属植物花粉的活力,发现TTC染色液对花粉的染色效果不显色。这些初步发现未能形成系统结论,关于钝叶酢浆草花粉的研究几乎处于空白阶段,其离体萌发的最适培养条件尚未知,能快速、准确测定其活力的方法尚不明确,也未见其关于贮藏的研究,严重阻碍了育种工作的展开。

本研究以6个钝叶酢浆草品种的花粉为实验材料,这6个品种均花量大,花期长,花喉大,适合取粉。通过L₂₅(5³)正交试验筛选出钝叶酢浆草花粉离体萌发的最佳培养条件;使用TTC染色法、I₂-KI染色法、醋酸洋红染色法和亚历山大染色法检测花粉活力,并与离体萌发法测定结果进行对比分析;分别检测在常温(28 °C)、4 °C、-20 °C、-80 °C贮藏温度下的花粉活力。拟探讨以下问题:(1)钝叶酢浆草花粉离体萌发的最佳培养条件及不同因素如何影响其萌发率;(2)能够高效、准确测定钝叶酢浆草的花粉活力的染色方法;(3)钝叶酢浆草的最佳贮藏温度。旨在提高测定钝叶酢浆草花粉活力的效率及杂交育种效率,解决花期不遇、异地授粉等问题,为钝叶酢浆草的育种工作提供理论基础。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

选择浙江省东阳市玉米研究所酢浆草属植物种质资源圃的6个钝叶酢浆草品种(表1),于2023年2—3月正值钝叶酢浆草花期时,选择长势良好且无病虫害、开花旺盛的植株,用镊子摘取当天开放的花朵,用小刷子将上、下轮花粉分别收集到硫酸纸上,再倒入2 mL离心管中备用。

表1 实验材料

序号 No.	品种 Variety	花柱类型 Floral morph
1	‘面纱’ <i>O. obtusa</i> ‘Veil’	短花柱型 Short style type
2	‘极光’ <i>O. obtusa</i> ‘Aurora’	中花柱型 Mid style type
3	‘红心皇后’ <i>O. obtusa</i> ‘Red Queen’	长花柱型 Long style type
4	‘蜡笔’ <i>O. obtusa</i> ‘Crayon’	短花柱型 Short style type
5	‘阳光’ <i>O. obtusa</i> ‘Sunshine’	中花柱型 Mid style type
6	‘甜心’ <i>O. obtusa</i> ‘Honey’	长花柱型 Long style type

1.2 试验方法

1.2.1 最佳培养基配方的筛选

前期预实验的结果表明,在只含有不同浓度的蔗糖、硼酸或氯化钙的固体培养基中,蔗糖、硼酸、氯化钙的最适浓度分别为150 g·L⁻¹、200 mg·L⁻¹、200 mg·L⁻¹。为探究蔗糖、硼酸、氯化钙及其交互作用对花粉萌发的影响,在此基础上进行3因素5水平(表2)共25组合的L₂₅(5³)正交试验。以‘面纱’花粉为实验材料,取上、下轮花粉备用。用小刷子将花粉均匀散落于凹玻片凹处的培养基表面,将凹玻片置于装有湿滤纸的培养皿中,在25℃人工气候箱中恒温培养4 h后,利用光学生物显微镜观察花粉的萌发情况,以花粉管长度大于花粉粒直径的情况视为萌发(Dafni & Firmage, 2000)。每个处理设置3个重复,每个重复观察5个视野,每个视野至少统计50粒花粉。花粉萌发率计算公式如下:

$$\text{花粉萌发率}(\%) = \frac{\text{已萌发的花粉数}}{\text{统计花粉粒总数}} \times 100 \text{ (胡适宜, 1993)}。$$

表2 正交试验因素水平L₂₅(5³)

Table 2 Orthogonal test design factors and levels

水平 Level	因素 Factor		
	蔗糖 Sucrose (g·L ⁻¹)	硼酸 H ₃ BO ₃ (mg·L ⁻¹)	氯化钙 CaCl ₂ (mg·L ⁻¹)
1	0	0	0
2	50	50	50
3	100	100	100
4	150	200	200
5	300	300	300

1.2.2 最适培养条件的筛选

以‘面纱’花粉为实验材料,将培养基分别置于20℃、25℃、30℃、35℃这4个温度条

件下培养 4 h，计算萌发率，确定钝叶酢浆草花粉萌发的最适培养温度。在最适培养温度下分别培养花粉 1、2、3、4、5、6 h，确定最适的培养时间。

1.2.3 花粉染色与花粉离体萌发

以‘面纱’（短花柱）、‘极光’（中花柱）、‘红心皇后’（长花柱）的花粉为实验材料，基于代谢活性、内含物和细胞完整性等不同判断标准，采用 TTC 染色法（江鸣涛，2016）、醋酸洋红染色法（付强等，2020）、I₂-KI 染色法（张超仪，2012）和亚历山大染色法（王士泉，2020）共 4 种染色方法来测定花粉活力。

同时，采用 1.2.1 和 1.2.2 获得的最佳培养基和最适培养条件进行花粉离体培养，将得到的花粉萌发结果与花粉染色结果进行比较。

1.2.4 花粉低温贮藏

以‘蜡笔’（短花柱）、‘阳光’（中花柱）、‘甜心’（长花柱）的花粉为实验材料。将新鲜花粉装入 2 mL 离心管中，每管花粉量为 1/10 离心管体积，在室内通风使花粉自然阴干。干燥后将花粉放在以下 4 种环境条件下贮藏：常温（28 °C）、4 °C、-20 °C、-80 °C。为更好体现花粉活力下降的趋势及长期贮藏的稳定性，在贮藏 0、1、2、5、10、15、20、25、30、40、50、60 d 时，取出花粉进行离体培养，计算萌发率，其中-20 °C 贮藏的花粉用自来水冲洗解冻，-80 °C 贮藏的花粉用 37 °C 水浴解冻。

2 结果与分析

2.1 钝叶酢浆草花粉活力培养条件的筛选

2.1.1 最佳培养基配方的筛选

蔗糖、硼酸、氯化钙 L₂₅(5³) 正交试验结果表明，各处理对‘面纱’上、下轮花粉的影响存在一定的差异。其中 14 号处理的上、下两轮花粉的萌发率均显著高于其他处理，分别为 30.78% 和 27.62%；8 号处理和 19 号处理的花粉萌发率也较高且花粉萌发率相同，上轮花粉萌发率为 25.65%，下轮花粉萌发率为 24.75%（表 3）。结果表明，蔗糖、硼酸和氯化钙的协同作用可能对花粉萌发具有重要影响。

表 3 钝叶酢浆草‘面纱’花粉正交试验的萌发率

Table 3 Germination rate of *Oxalis obtusa* ‘Veil’ pollen in orthogonal design experiment

编号 No.	蔗糖 Sucrose (g·L ⁻¹)	硼酸 H ₃ BO ₃ (mg·L ⁻¹)	氯化钙 CaCl ₂ (mg·L ⁻¹)	上轮花粉萌发率 Upper pollen germination rate (%)	下轮花粉萌发率 Lower pollen germination rate (%)
1	0	0	0	0.00±0.00m	0.00±0.00j
2	0	50	50	5.95±0.57ijk	6.03±0.84efghi
3	0	100	100	4.45±0.68jkl	4.49±1.26ghij
4	0	200	200	1.47±0.38m	2.08±0.62lhj
5	0	300	300	7.82±1.50ghij	6.18±0.46efghi
6	50	0	50	5.06±0.71ijkl	4.18±0.65ghij
7	50	50	100	11.46±1.72efg	10.49±0.51cde
8	50	100	200	25.65±1.54b	24.75±0.57a
9	50	200	300	3.2±0.36klm	3.84±1.87hij
10	50	300	0	7.73±2.97ghijk	6.10±1.07efghi
11	100	0	100	18.72±0.36c	19.02±8.02b
12	100	50	200	15.02±2.63cde	13.84±0.61c
13	100	100	300	13.25±3.86def	11.97±2.56cd
14	100	200	0	30.78±0.56a	27.62±1.17a
15	100	300	50	12.63±2.22def	10.04±2.72cdef
16	150	0	200	6.39±4.34hijk	8.89±7.23defg
17	150	50	300	10.42±1.86fgh	7.98±0.76defgh

18	150	100	0	16.14±4.72cd	13.54±2.62c
19	150	200	50	25.65±1.54b	24.75±0.57a
20	150	300	100	5.58±3.65ijkl	4.64±1.45ghi
21	300	0	300	6.75±1.46hijk	7.89±0.64defgh
22	300	50	0	4.41±1.75jkl	7.68±0.97defgh
23	300	100	50	4.44±1.58jkl	4.89±0.70ghi
24	300	200	100	6.69±4.95hijk	5.30±1.11fghi
25	300	300	200	9.42±1.06fghi	8.16±1.36defgh

注：同一列内不同字母表示在 $P<0.05$ 水平上有显著差异；花粉萌发率数值为平均值±标准偏差。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences at the $P<0.05$ level. Values for pollen germination rate are means ±standard deviation.

采用极差分析量化蔗糖、硼酸和氯化钙对‘面纱’花粉萌发率的影响，其中极差 K 值越大表明该因素影响程度越高。结果表明，蔗糖在 K3 水平（蔗糖浓度为 $100 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ）时对‘面纱’上、下轮花粉萌发率的影响最大，硼酸和氯化钙对其的最大影响均在 K4 水平，浓度均为 $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ （表 4）。极差 R 值能够体现各因素对实验结果的作用程度，R 值越大表明影响程度越显著。结果表明，实验 3 因素对‘面纱’上、下轮花粉萌发率的影响具有一致性，对其影响程度关系为蔗糖>氯化钙>硼酸。

表 4 不同因素对钝叶酢浆草‘面纱’花粉萌发影响的极差分析

Table 4 Range analysis on effects of different factors on pollen germination of *Oxalis obtusa* ‘Veil’

种类	处理	蔗糖	硼酸	氯化钙
Species	Treatment	Sucrose ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	H_3BO_3 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	CaCl_2 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
上轮花粉 Upper pollen	K1	19.69	36.92	28.24
	K2	53.10	47.26	48.45
	K3	90.40	63.93	40.01
	K4	64.18	67.79	82.25
	K5	31.71	43.18	60.13
	R	14.14	6.17	10.80
下轮花粉 Lower pollen	K1	18.78	39.98	27.21
	K2	49.36	46.02	44.04
	K3	82.49	59.64	38.29
	K4	59.80	63.59	82.38
	K5	33.92	35.12	52.43
	R	12.74	5.69	11.03

在极差分析基础上进行方差分析，进一步明确各因子的显著性。蔗糖浓度对钝叶酢浆草‘面纱’上下轮花粉萌发率均产生极显著影响，氯化钙影响显著，而硼酸影响不显著（表 5）。根据 F 值排序，影响程度从强到弱依次为蔗糖、氯化钙、硼酸，与极差分析结果一致。

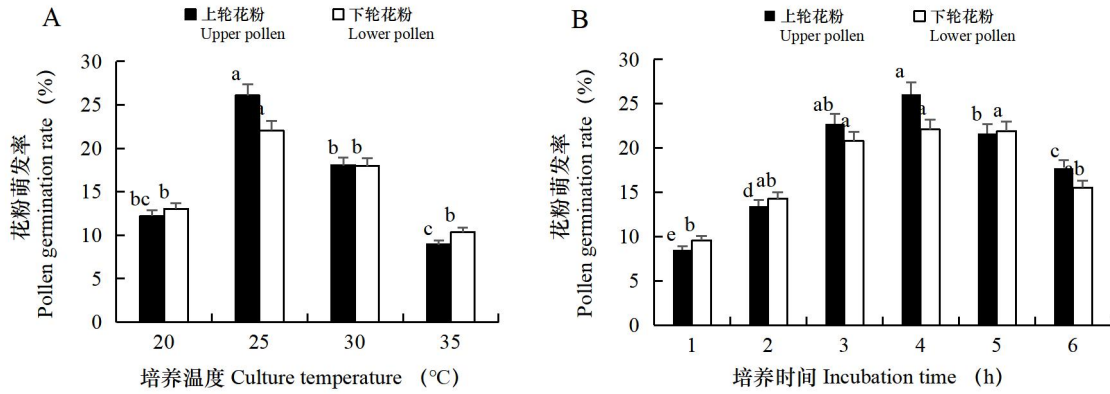
表 5 不同因素对钝叶酢浆草‘面纱’花粉萌发影响的方差分析

Table 5 Variance analysis on effects of different factors on pollen germination of *Oxalis obtusa* ‘Veil’

种类	因素	平方和	自由度	均方	F 值	显著性
Species	Factor	SS	DF	MS	F value	Significance
上轮花粉 Upper pollen	蔗糖 Sucrose	286.73	4	71.68	38.24	$P<0.01$
	硼酸 H_3BO_3	16.05	4	4.01	2.15	$P>0.05$
	氯化钙 CaCl_2	90.12	4	22.53	12.06	$P<0.05$
	误差 Error	116.14	62	1.87		
下轮花粉 Lower pollen	蔗糖 Sucrose	270.5	4	67.63	34.87	$P<0.01$
	硼酸 H_3BO_3	15.8	4	3.95	2.04	$P>0.05$
	氯化钙 CaCl_2	85.3	4	21.33	11	$P<0.05$
	误差 Error	120	62	1.94		

2.1.2 最适培养条件的筛选

不同培养温度和时间对‘面纱’花粉萌发的影响存在显著性差异。当温度为 25 °C 时，‘面纱’上、下轮花粉的萌发率均达到最大值，分别为 26.09 % 和 22.07 %，显著高于其他 3 种温度处理（图 1：A）。温度过高或过低均会抑制花粉的生理活性，影响其萌发能力。从培养时间来看，培养时间过短花粉不能完全萌发，过长则易导致花粉管衰老或破裂。对于上轮花粉而言，培养 3、4、5 h 时花粉萌发率显著高于其他时间处理，其中 4 h 又显著高于 5 h，二者与 3 h 之间差异不显著；对于下轮花粉而言，花粉萌发率在培养 3、4、5 h 时显著高于 1 h（图 1：B）。结果表明，‘面纱’花粉最佳离体萌发统计时间为 4 h。



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P < 0.05$). The same below.

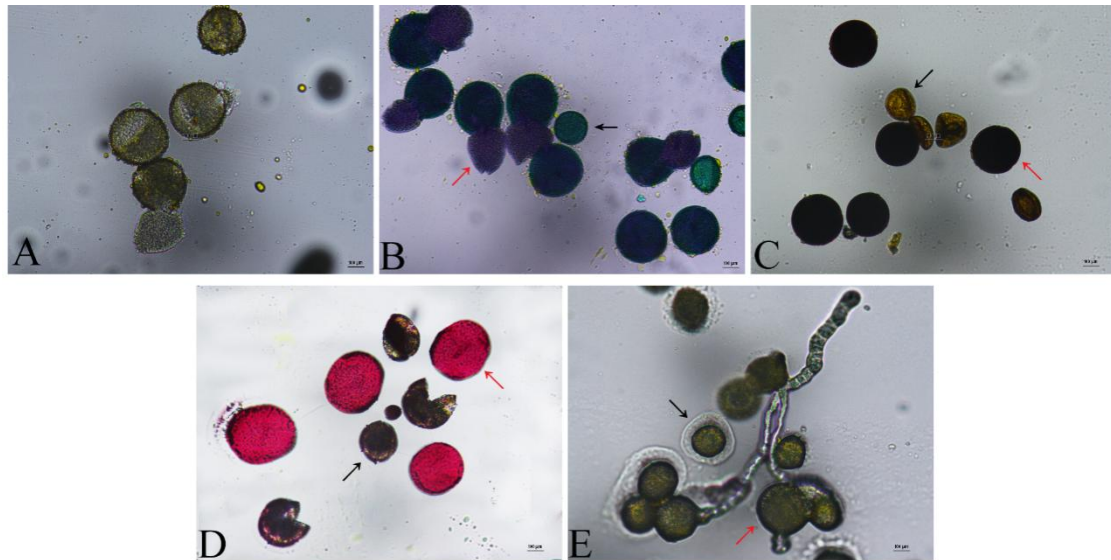
图 1 不同培养条件对钝叶酢浆草‘面纱’花粉萌发的影响

Fig. 1 Effects of different culture conditions on *in vitro* pollen germination of *Oxalis obtusa* ‘Veil’

2.2 钝叶酢浆草花粉染色法与离体萌发法

从 4 种染色方法的测定结果可以看出，除了 TTC 染色法（图 2：A），其余 3 种染色方法均能使钝叶酢浆草花粉着色（图 2：B、C、D），且染色后能够明显区分有活力花粉和无活力花粉。从花粉离体萌发的测定结果可以看出，此方法能够直接准确观察到花粉管是否萌发、生长，从而有效判断花粉的活力状态（图 2：E）。

亚历山大染色法具有很好的染色效果，在室温下染色 1.5 h 即可观察结果且容易辨别，把有活力花粉的原生质染成红色，花粉壁染成绿色，把无活力花粉的原生质和花粉壁染成绿色（图 2：B）。I₂-KI 染色法的染色效果较为明显，淀粉遇碘后变成蓝色，有活力花粉被染成蓝黑色，无活力或活力较弱的花粉呈黄褐色（图 2：C）。醋酸洋红染色法的染色效果也较为明显，有活力花粉被染成红色，无活力或活力较弱的花粉不变色（图 2：D）。但是实验过程中发现，醋酸洋红染色法若染色超过 10 min，几乎所有花粉均呈现红色，此时无法获得准确的数据，因此，此方法不适合用于钝叶酢浆草花粉活力的测定。



红色箭头示有活力花粉；黑色箭头示无活力花粉。A. TTC 染色法；B. 亚历山大染色法；C. I₂-KI 染色法；D. 醋酸洋红染色法；E. 离体萌发法；标尺=100μm。

Red arrow: viable pollen; black arrow: inviable pollen. A. TTC staining method; B. Alexander staining method; C. I₂-KI staining method; D. Aceto-carmin staining method; E. *In vitro* germination; Bar=100 μm.

图 2 5 种方法测定的花粉活力

Fig. 2 Pollen viability tested by five methods

将‘面纱’、‘极光’和‘红心皇后’上、下轮花粉的 3 种染色结果与离体萌发培养结果进行比较，发现 4 种方法的测定结果存在差异，且每个方法测定的结果均显示上轮花粉活力略高于下轮花粉活力（表 6）。分析可得，醋酸洋红染色法和 I₂-KI 染色法测定的花粉活力显著高于离体培养法的花粉萌发率，说明醋酸洋红和 I₂-KI 不能很好区分有活力花粉和无活力花粉，均把部分无活力花粉染色。亚历山大染色法除‘极光’下轮花粉外，其余染色结果均与离体萌发结果差异不显著，略高于离体萌发法。

表 6 4 种方法测得的 3 个钝叶酢浆草品种花粉活力结果比较

Table 6 Pollen viability comparison of three *Oxalis obtusa* varieties tested by four different methods

上/下轮花粉 Upper/Lower pollen	品种 Varieties	离体萌发法 <i>Vitro</i> germination method (%)	染色法 Staining method (%)		
			碘-碘化钾 I ₂ -KI staining method	醋酸洋红 Aceto-carmin staining method	亚历山大 Alexander staining method
上轮花粉 Upper pollen	‘面纱’ <i>O. obtusa</i> ‘Veil’	28.10±0.95b	84.06±3.02a	85.41±3.26a	32.06±3.01b
	‘极光’ <i>O. obtusa</i> ‘Aurora’	25.45±2.39c	82.64±5.40a	56.90±8.44b	37.12±4.74c
	‘红心皇后’ <i>O. obtusa</i> ‘Red Queen’	32.00±0.81c	89.37±2.25a	77.65±2.12b	33.49±2.71c
下轮花粉 Lower pollen	‘面纱’ <i>O. obtusa</i> ‘Veil’	24.82±1.38b	81.61±1.97a	80.10±1.31a	27.24±1.08b
	‘极光’ <i>O. obtusa</i> ‘Aurora’	21.59±0.32d	71.36±5.57a	50.58±6.74b	32.39±1.86c
	‘红心皇后’ <i>O. obtusa</i> ‘Red Queen’	27.21±2.66c	86.51±3.25a	68.52±5.24b	31.87±2.08c

注：同一行内不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平上有显著差异；花粉活力数值为平均值±标准偏差。

Note: Different letters in the same row indicate significant differences at the $P < 5\%$ level; values for pollen viability are means ± standard deviation.

2.3 不同贮藏条件下钝叶酢浆草花粉活力

随着贮藏时间的延长，‘甜心’、‘阳光’和‘蜡笔’的花粉活力均逐渐下降。不同温度下花粉活力大体呈此趋势： $-80\text{ }^{\circ}\text{C} > -20\text{ }^{\circ}\text{C} > 4\text{ }^{\circ}\text{C} > \text{常温}$ ，表明高温会加速花粉代谢使其快速失去活性，

低温能抑制代谢延缓活力衰退。在常温贮藏条件下，‘甜心’、‘阳光’和‘蜡笔’的花粉活力均在 0—10 d 内快速下降，于 20 d 或 30 d 内失去活性，表明在自然环境下，花粉的寿命为 20 d 或 30 d；在 4 °C 贮藏条件下，花粉活力下降显著，在 5 d 内花粉活力下降迅速，于 60 d 内完全失去活性；在 -80 °C 和 -20 °C 的贮藏条件下，贮藏 60 d 时花粉均具有活性（图 3-图 8）。在 -20 °C 条件下，‘甜心’花粉活力在 5 d 内下降最快，5—40 d 趋于稳定，又在 40 d 后下降加快（图 3、图 4）；‘阳光’花粉活力在 1—5 d 呈上升趋势（图 5、图 6），可能是由于后熟作用或是抗逆机制的原因；‘蜡笔’花粉活力大体呈匀速下降的趋势（图 7、图 8）。在 -80 °C 条件下，花粉活力总体趋于稳定，呈现缓慢下降的趋势，贮藏 60 d 时‘甜心’、‘阳光’和‘蜡笔’的花粉活力均最高，大于其他 3 个贮藏条件。

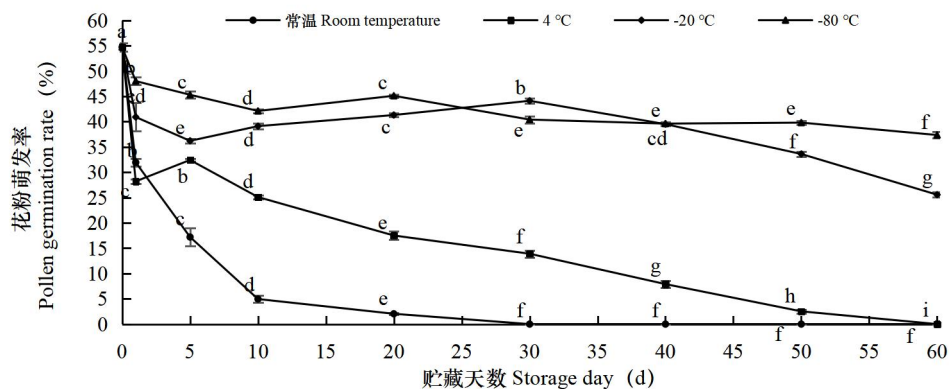


图 3 ‘甜心’上轮花粉贮藏效果

Fig. 3 The storage effect of upper pollen of *Oxalis obtusa* ‘Honey’

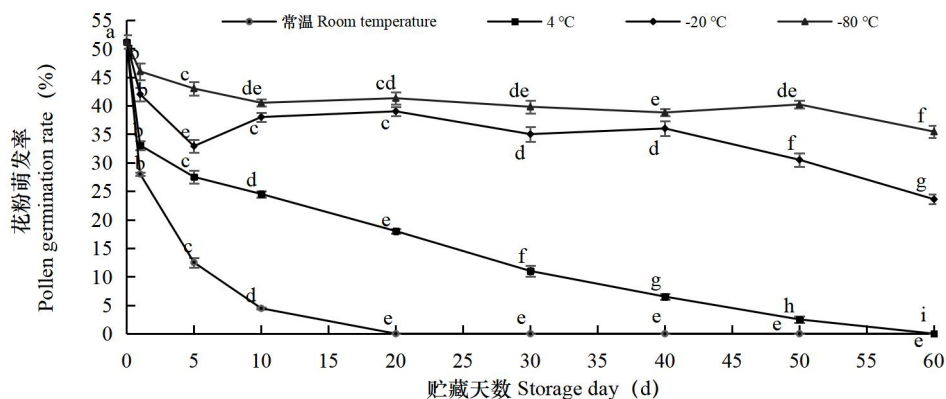


图 4 ‘甜心’下轮花粉贮藏效果

Fig. 4 The storage effect of lower pollen of *Oxalis obtusa* ‘Honey’

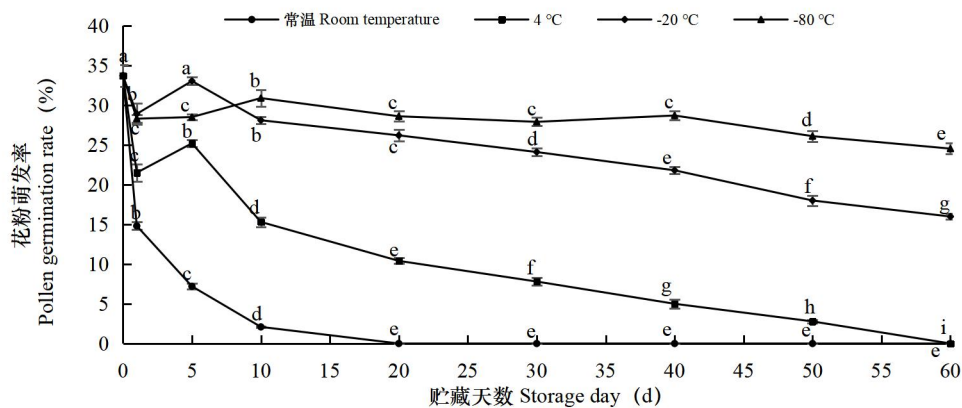


图 5 ‘阳光’上轮花粉贮藏效果

Fig. 5 Storage effect of upper pollen of *Oxalis obtusa* ‘Sunshine’

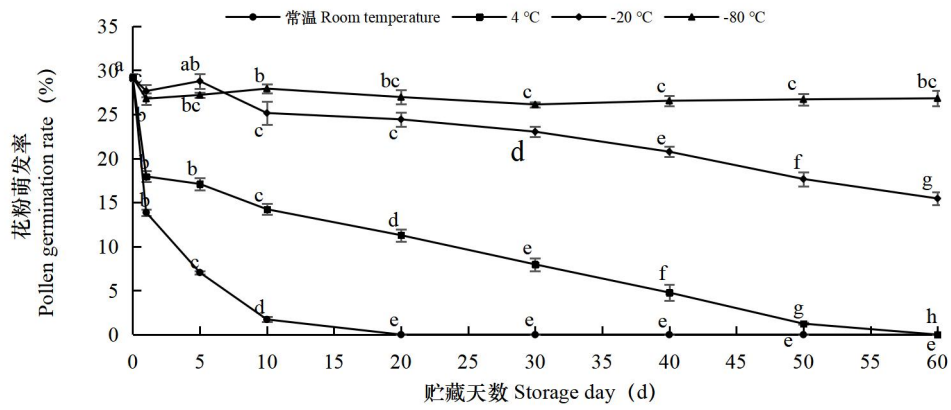


图 6 ‘阳光’ 下轮花粉贮藏效果

Fig. 6 Storage effect of lower pollen of *Oxalis obtusa* ‘Sunshine’

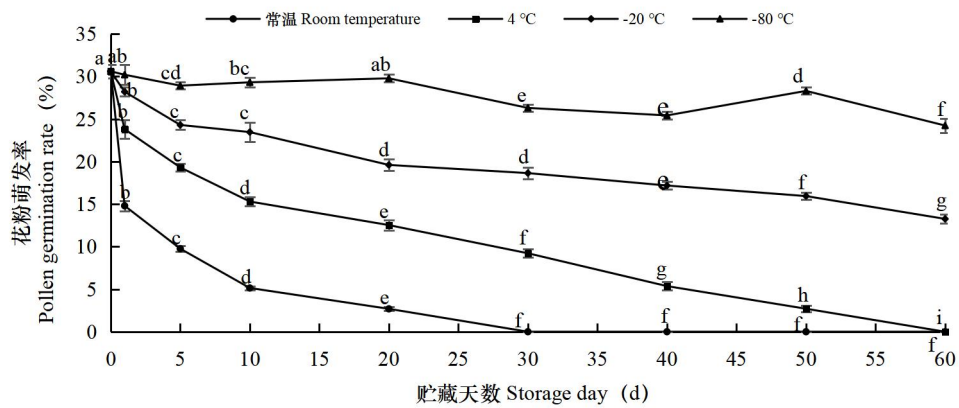


图 7 ‘蜡笔’ 上轮花粉贮藏效果

Fig. 7 Storage effect of upper pollen of *Oxalis obtusa* ‘Crayon’

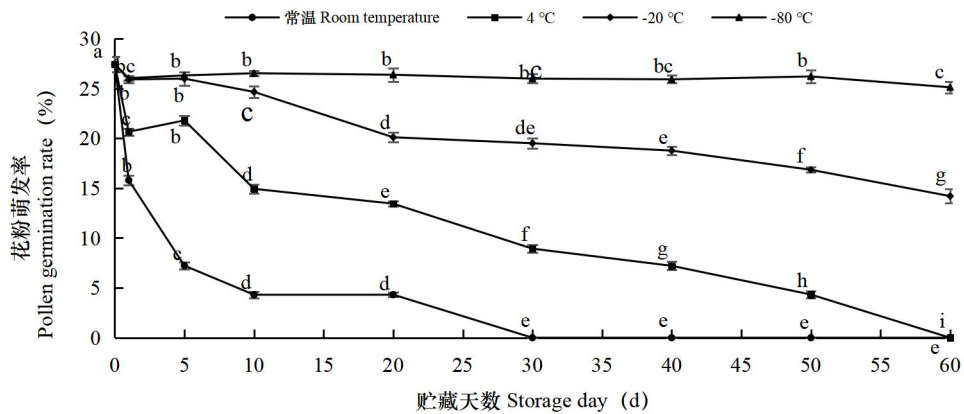


图 8 ‘蜡笔’ 下轮花粉贮藏效果

Fig. 8 Storage effect of lower pollen of *Oxalis obtusa* ‘Crayon’

3 讨论与结论

花粉活力是指花粉细胞具有正常发育、生长以及完成授粉过程的能力，其受遗传因素与外界环境共同调节。目前，花粉活力测定方法主要包括染色法和离体萌发法。染色法操作简便、快速，反映的是花粉的营养含量或代谢状况，与花粉自身特性密切相关，如花粉内各种酶的活性，花粉的发育状态，花粉壁的厚度等。相比之下，离体萌发法虽然操作复杂、耗时长，但能够真实反映花粉萌发的情况，测定的数据科学可靠，适用于大多数植物花粉活力的测定（刘帮龙等，2011）。因此，选择合适的花粉活力测定方法对于研究结果的准确性至关重要。

在花粉离体培养萌发的实验中，糖类物质、硼酸和钙对花粉萌发有着重要作用（裘建宇，2012；宋杰等，2018）。本研究正交试验结果表明，蔗糖对‘面纱’花粉萌发率的影响最显著，这一现象在南酸枣(*Choerospondias axillaris*)（张薇等，2024）、陆川油茶(*Camellia vietnamensis*)（肖玉菲等，2021）、辣木(*Moringa oleifera*)（普天磊等，2022）等植物中出现。蔗糖为花粉萌发提供能量支持（龚双姣等，2012），还能调节渗透压，防止花粉过度吸水而破裂或失水造成质壁分离（贾文庆等，2010）。因此，对大部分植物花粉来说，蔗糖是离体培养基中最关键的碳源。硼酸能够促进糖分的吸收与代谢，引导胞外 Ca^{2+} 进入细胞，参与果胶物质的合成，是促进花粉萌发的关键物质（蔡昭艳等，2021）。钙能够调控花粉管极性生长，显著影响花粉萌发和生长（刘洁云等，2021）。徐斌等（2015）研究发现，随着 Ca^{2+} 浓度的增加，杜鹃红山茶(*Camellia azalea*)花粉萌发率逐渐下降，其在无氯化钙培养基中萌发率最高，可能是因为其花粉内 Ca^{2+} 浓度较高，花粉萌发时不需要外源 Ca^{2+} 来促进萌发。而在本研究中，‘面纱’花粉在 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 氯化钙浓度下萌发效果最佳，表明其花粉内 Ca^{2+} 含量较低，需从外界环境中摄取 Ca^{2+} ，以促进花粉管的极性生长。

在染色法测定花粉活力的实验中，TTC 染色法未能使钝叶酢浆草花粉着色，类似现象在花生(*Arachis hypogaea*)（王金塔等，2022）、风铃木(*Handroanthus spp.*)（张捷等，2024）、连翘(*Forsythia suspensa*)（杨延红等，2021）等的花粉研究中也出现过，这可能与其花粉细胞壁阻碍染液渗透、代谢活性较低或呼吸产生的脱氢酶含量不足有关，具体原因有待研究。 $\text{I}_2\text{-KI}$ 染色法依据花粉内淀粉的含量来判断花粉活力，适合大叶相思(*Acacia auriculiformis*)（詹妮和黄烈健，2016）、卵叶海桑(*Sonneratia ovata*)（任飞艳等，2021）等花粉淀粉含量较高的植物。本研究中 $\text{I}_2\text{-KI}$ 染色法测定的花粉活力显著高于离体萌发法，表明钝叶酢浆草花粉的淀粉含量不低，且无活力花粉中的淀粉并未随细胞衰亡而迅速水解。醋酸洋红染色法的测定结果也显著高于离体萌发法，且随着染色时间变长，染成红色的花粉数量增加，很难有效判断花粉活力，这与红花酢浆草的染色效果相似（贾文庆等，2010）。醋酸洋红能与花粉细胞核内的 DNA 结合而使其显色，一般情况下有活力细胞具有完整细胞核，但已衰亡、退化或机械损伤的花粉粒，其细胞核在短期内可能并未完全溶解，被染成红色，从而导致了假阳性结果(Lata et al., 2018)。亚历山大染色法效果较好，与离体萌发结果最为接近。亚历山大染色法同时检测细胞膜的完整性与质体活性，能较好观察有/无活力花粉。有活力花粉中的细胞质的被染成红色、花粉壁被染成绿色，无活力花粉的细胞膜破裂，花粉呈绿色，衰败中的花粉呈红绿叠加的状态。或许是排除了在衰败中损伤的花粉细胞，使得其结果与离体萌发法差异不显著。

本研究进一步揭示了钝叶酢浆草花粉活力的多样性，既存在于品种间，也存在于花内不同轮雄蕊间。本研究选取的 6 个品种的花粉活力排序为‘甜心’（长花柱）>‘阳光’（中花柱）>‘红心皇后’（长花柱）>‘蜡笔’（短花柱）>‘面纱’（短花柱）>‘极光’（中花柱），这一结果表明，花粉活力与花柱类型相关性不大，但由于实验样本量有限，需进一步扩大样本量以验证这一结论。与本研究结果不同的是，宋费玲等（2021）在对 6 个酢浆草品种进行花粉活力测定时发现，花粉活力从大到小排序为中花柱型>长花柱型>短花柱型，但此研究有关花柱类型的样本同样太少。每个品种上、下轮花粉活力也存在差异，且上轮花粉活力普遍高于下轮。这一现象与王佳（2021）在野牡丹(*Melastoma candidum*)、紫薇(*Lagerstroemia indica*)和腊肠树(*Cassia fistula*)这 3 种具有异型雄蕊的植物中的发现相吻合，即不同组雄蕊花粉成分存在差异，长雄蕊花粉活力普遍高于短雄蕊。这表明在具有多轮雄蕊的植物中，不同位置花药的功能分化可能是一种进化趋势。对于钝叶酢浆草而言，这种存在现象可能是因为上轮花粉位于花冠筒外部，更容易进行传粉，而下轮花粉位于花冠筒内部，传粉较为困难。从生理方面来说，这种活力的差异还可能是因为两轮花粉在发育过程中积累的营养物质不同，或是表达的基因存在差异，具体原因需进一步研究。

花粉保持活力的时间长短与遗传和环境因素有关，可以通过调节花粉湿度、降低温度等方法来延长花粉寿命（肖玉菲等，2021）。低温贮藏是保持花粉活力的常用方法。本研究表明，钝叶酢浆草花粉贮藏温度越低，花粉活力越高，最佳贮藏温度为 $-80 \text{ }^\circ\text{C}$ ，这与思茅松(*Pinus kesiya var. langbianensis*)（付强等，2021）、陆川油茶（肖玉菲等，2021）的研究结果一致。

一般情况下,贮藏温度越低,花粉寿命越长,在超低温(小于-180 °C)下贮藏,花粉代谢活动几乎没有,可实现花粉长期贮藏(王金花等, 2022)。但超低温贮藏可能引发不可逆冰晶损伤及复温胁迫,所以钝叶酢浆草花粉是否适合超低温贮藏还需进一步实验。此外,花粉含水量也是影响贮藏效果的重要因素,未来可进一步研究新鲜花粉与干燥花粉在-80 °C条件下的活力差异。

综上所述,本文首次系统研究了钝叶酢浆草花粉离体萌发的最适培养条件: 20 g·L⁻¹ 琼脂+100 g·L⁻¹ 蔗糖+200 mg·L⁻¹ 硼酸+200 mg·L⁻¹ 氯化钙,温度 25 °C,时间 4 h。然而花粉萌发还与培养基 pH、培养湿度、光照等因素有关,后续研究可进一步探讨这些因素的作用。在染色法测定花粉活力方面,TTC 染色法、I₂-KI 染色法和醋酸洋红染色法均不适用于钝叶酢浆草,亚历山大染色法是能高效、准确测定钝叶酢浆草花粉活力的方法,可直接用于父本选择、活力评估等。其最佳贮藏温度为-80 °C,使建立花粉种质资源库成为可能,为品种创新提供资源保障。本研究结果为钝叶酢浆草人工授粉、杂交育种及花粉贮藏提供了重要的理论依据,并为解决花期不遇问题提供了有效方案。

参考文献

- CAI ZY, DONG L, WANG XM, et al., 2021. Effects of medium pH and sucrose, boric acid and PEG- 4000 on *in vitro* germination of passion fruit pollen[J]. *Molecular Plant Breeding*, 19(21): 7274-7281. [蔡昭艳, 董龙, 王小媚, 等, 2021. 培养基 pH 值及蔗糖、硼酸、PEG-4000 对百香果花粉体外萌发的影响[J]. *分子植物育种*, 19(21): 7274-7281.]
- CHENML, LIU DY, LI SS, 2007. Observation of micromorphological characters of five species in *Oxalis*[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 16(3): 7-18. [陈明林, 刘登义, 李珊珊, 2007. 酢浆草属 5 种植物的微形态特征观察[J]. *植物资源与环境学报*, 16(3): 7-18.]
- CHEN SY, TANG XY, XIAO Y, et al., 2024. Pollen morphology and phylogenetic relationship of 14 *Oxalis* species[J]. *Guihaia*, 44(4): 682-698. [陈生煜, 唐小云, 肖云, 等, 2024. 14 种酢浆草属植物花粉形态及其亲缘关系分析[J]. *广西植物*, 44(4): 682-698.]
- DAFNI A, FIRMAGE D, 2000. Pollen viability and longevity: practical, ecological and evolutionary implications[J]. *Plant Systematics and Evolution*, 222(1/4): 113-132.
- FU Q, CHEN W, LI J, et al., 2020. Selection of measurements on pollen viability in *Pinus kesiya* var. *langbianensis*[J]. *Journal of West China Forestry Science*, 49(3): 7-13. [付强, 陈伟, 李江, 等, 2020. 思茅松花粉活力测定方法研究[J]. *西部林业科学*, 49(3): 7-13.]
- FU Q, CHEN W, LI J, et al., 2021. Effects of Different Storage Temperatures and Time on Pollen Viability of *Pinus kesiya* var. *langbianensis*[J]. *Guangxi Forestry Science*, 50(4): 386-390. [付强, 陈伟, 李江, 等, 2021. 不同贮藏温度和时间对思茅松花粉活力的影响[J]. *广西林业科学*, 50(4): 386-390.]
- GONG SJ, MA TW, LIU Q, 2012. Effects of culture medium composition and culture conditions on pollen germination and pollen tube growth of *Chimonanthus praecox*[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 32(6): 1254-1260. [龚双姣, 马陶武, 刘强, 2012. 培养基组分及培养条件对蜡梅花粉萌发及花粉管生长的影响[J]. *西北植物学报*, 32(6): 1254-1260.]
- HU SY, 1993. Experimental methods of plant embryology (Part 1) determination of pollen vitality[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, (2): 60-62. [胡适宜, 1993. 植物胚胎学实验方法 (一)花粉生活力的测定[J]. *植物学通报*, 11(2): 60-62.]
- JIA WQ, LIU HC, YOU Y, et al., 2010. A study on the characteristics of pollen germination of *Oxalis corymbosa*[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 49(5): 1136-1139, 1145. [贾文庆, 刘会超, 尤扬, 等, 2010. 红花酢浆草花粉萌发及贮藏特性的研究[J]. *湖北农业科学*, 49(5): 1136-1139, 1145.]
- JIANG MT, 2016. Hybridization breeding technics of several species of *Melastoma* Linn.[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [江鸣涛, 2016. 几种野牡丹属植物杂交育种技术研究[D]. 福州: 福建农林大学]

- KREJČÍKOVÁ J, SUDOVÁ R, LUČANOVÁ M, et al., 2013. High ploidy diversity and distinct patterns of cytotype distribution in a widespread species of *Oxalis* in the Greater Cape Floristic Region[J]. *Annals of Botany*, 111(4): 641-649.
- LATA S, SHARMA G, GARG S, et al., 2018. Pollen viability, germination and stigma receptivity studies in different strawberry cultivars[J]. *Agricultural Research Journal*, 55(4): 627-632.
- LI N, ZHANG XQ, ZHU HJ, et al., 2022. Research on quantitative taxonomy about flower color phenotypes of 30 *Oxalis obtusa* cultivars[J]. *Seed*, 41(10): 95-100. [李娜, 章晓琴, 祝恒均, 等, 2022. 30 种钝叶酢浆草花色表型数量分类研究[J]. *种子*, 41(10): 95-100.]
- LIU BL, ZHANG XH, GAN YM, et al., 2011. Detection methods of pollen viability of wild *Dichondra repens*[J]. *Pratacultural Science*, 28(11): 1941-1944. [刘帮龙, 张晓慧, 干友民, 等, 2011. 野生马蹄金花粉生活力检测方法比较[J]. *草业科学*, 28(11): 1941-1944.]
- LIU JY, WU YY, MU HF, et al., 2021. Medium screening for *in vitro* germination and storage conditions of yellow passion fruit pollen[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 34(8): 1699-1704. [刘洁云, 吴艳艳, 牟海飞, 等, 2021. 黄百香果花粉离体培养基筛选及贮藏试验[J]. *西南农业学报*, 34(8): 1699-1704.]
- LIU S, PENG FR, 2023. Comparison of detection methods for pollen viability of *Carya illinoensis*[J]. *Non-wood Forest Research*, 41(2): 110-119. [刘帅, 彭方仁, 2023. 薄壳山核桃花粉活力测定方法比较[J]. *经济林研究*, 41(2): 110-119.]
- LOPEZ A, ROSENFELDT S, 2016. *Oxalis* section *Alpinae* (Oxalidaceae): orbicule diversity and pollen grain morphology[J]. *Turkish Journal of Botany*, 40(6): 637-644.
- PU TL, HAN XQ, LUO HY, et al., 2022. Pollen of *Moringa oleifera*: Germination *in vitro*[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 38(9): 66-70. [普天磊, 韩学琴, 罗会英, 等, 2022. 辣木花粉离体萌发研究[J]. *中国农学通报*, 38(9): 66-70.]
- MARCO DE, ARROYO MTK, 1998. The Breeding System of *Oxalis squamata*, a Tristylous South American Species[J]. *Botanica Acta*, 111(6): 497-504.
- QIU JY, 2012. Studies on the mechanisms of sugar on bulb pollen germination and cryopreservation [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University. [裘建宇, 2012. 糖在球根花卉花粉萌发及低温保存过程中的作用机制[D]. 南京: 南京林业大学.]
- REN FY, CHEN X, WANG SQ, 2021. Comparative study on the determination methods of pollen viability of *Sonneratia ovata*[J]. *Seed*, 40(3): 35-39. [任飞艳, 陈显, 王士泉, 2021. 卵叶海桑花粉活力测定方法的比较研究[J]. *种子*, 40(3): 35-39.]
- SONG FL, XU QX, SHI LM, et al., 2021. Determination of pollen vitality of 6 *Oxalis* varieties[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Science*, 62(1): 80-82. [宋费玲, 许巧贤, 石丽敏, 等, 2021. 6 个酢浆草品种花粉活力的测定[J]. *浙江农业科学*, 62(1): 80-82.]
- SONG J, XU F, ZHANG L, et al., 2018. Optimization of medium components for pollen of *Rosa hybrida* var. *Minimain vitro* germination[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 46(3): 320-324. [宋杰, 许凤, 张露, 等, 2018. 微型月季花粉离体萌发培养基组分的优化[J]. *山西农业科学*, 46(3): 320-324.]
- TANG XY, XU LH, CHANG JC, et al., 2023. Fruit set of cross-breeding in *Oxalis obtusa*[J]. *Journal of West China Forestry Science*, 52(4): 116-122, 128. [唐小云, 徐莲欢, 常健超, 等, 2023. 钝叶酢浆草品种间杂交结实性分析[J]. *西部林业科学*, 52(4): 116-122, 128.]
- TSAI MY, CHEN SH, KAO WY, 2010. Floral morphs, pollen viability, and ploidy level of *Oxalis corymbosa* DC. in Taiwan[J]. *Botanical Studies*, 51: 81-88.
- WANG J, 2021. Comparative study on pollen heterozygosity of heterozygous stamen plants[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences. [王佳, 2021. 异型雄蕊植物花粉异型性的比较研究[D]. 北京: 中国科学院大学.]
- WANG JH, ZHANG JQ, CHENG LQ, et al., 2022. Comparative study on pollen vitality

- determination of peanut by different methods[J]. Seed, 41(8): 126-130. [王金花, 张健琴, 成良强, 等, 2022. 不同方法测定花生花粉活力的比较研究[J]. 种子, 41(8): 126-130.]
- WANG SQ, 2020. Comparison of methods for measuring the vitality of *Paeonia szechuanica* in Sichuan province [J]. Journal of Tropical Crops, 41(1): 57-62. [王士泉, 2020. 四川牡丹花粉生活力测定方法的比较[J]. 热带作物学报, 41(1): 57-62.]
- XIAO YF, MA JL, CAI Y, et al., 2021. Pollen storage and germination conditions *in vitro* of *Camellia vietnamensis*[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 42(7): 1971-1980. [肖玉菲, 马锦林, 蔡娅, 等, 2021. 陆川油茶花粉贮藏和离体萌发条件研究[J]. 热带作物学报, 42(7): 1971-1980.]
- XU B, PENG LX, PAN W, et al., 2015. Comparative study on the determination methods of pollenvitality of *Camellia azalea*[J]. Northern Horticulture, (13): 88-90. [徐斌, 彭莉霞, 潘文, 等, 2015. 杜鹃红山茶花粉活力测定方法的比较研究[J]. 北方园艺, 39(13): 88-90.]
- XU QX, SHI LM, SONG FL, et al., 2021. Investigation and analysis of horticultural traits of fall-planted *Oxalis obtusa*[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 62(2): 334-335, 420. [许巧贤, 石丽敏, 宋费玲, 等, 2021. 秋植钝叶酢浆草的园艺学性状调查分析[J]. 浙江农业科学, 62(2): 334-335, 420.]
- YANGDK, WU XX, 2004. Studies on pollen morphology of *Oxalis* from Shandong[J]. Guihaia, 24(2): 128-129, 196. [杨德奎, 吴晓霞, 2004. 山东酢浆草属花粉形态的研究[J]. 广西植物, 24(2): 128-129, 196.]
- YANG YH, SONG GQ, DONG H, et al., 2021. Determination of pollen vitality and *in vitro* germination of pollen in *Forsythia suspensa*[J]. Northern Horticulture, (10): 112-117. [杨延红, 宋桂全, 董慧, 等, 2021. 连翘花粉离体萌发及活力测定[J]. 北方园艺, 45(10): 112-117.]
- YU Q, WANG QY, WANG NH, et al., 2018. Pollen germination characteristics of four *Magnolia* species[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 35(3): 505-510. [俞芹, 王倩颖, 王宁杭, 等, 2018. 4种木兰属植物花粉萌发特性[J]. 浙江农林大学学报, 35(3): 505-510.]
- ZHAN N, HUANG LJ, 2016. Conditions for *in vitro* germination and testing method for pollen viability of *Acacia auriculiformis*[J]. Scientia Silvae Sinicae, 52(2): 67-73. [詹妮, 黄烈健, 2016. 大叶相思花粉离体萌发适宜条件及活力检测方法[J]. 林业科学, 52(2): 67-73.]
- ZHANG CY, 2012. Study on cross compatibility of *Rhododendron* L.[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University. [张超仪, 2012. 杜鹃花属植物杂交亲和性研究[D]. 南京: 南京林业大学.]
- ZHANG J, YIN CC, MENG JX, et al., 2024. Studies on pollen viability and stigma receptivity in *Handroanthus* spp. [J/OL]. Molecular Plant Breeding: 1-7 [2025-10-29]. <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20240306.1630.007>. [张捷, 殷陈陈, 孟景祥, 等, 风铃木花粉活力及柱头可授性测定的研究 [J/OL]. 分子植物育种: 1-7[2025-11-12]. <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20240306.1630.007>.
- ZHANG Q, WANG XX, LI JJ, et al., 2024. Research progress on corn pollen vitality[J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, (9): 18-23, 50. [张琪, 王小星, 李建军, 等, 2024. 玉米花粉活力研究进展[J]. 现代农业科技, 53(9): 18-23, 50.]
- ZHANG W, JIANG SY, WANG Y, et al., 2024. *In vitro* germination and rapid detection of pollen viability for *Choerospondias axillaris*[J]. Journal of Jiangxi Agricultural University, 46(4): 935-943. [张薇, 蒋诗音, 王燕, 等, 2024. 南酸枣花粉离体萌发及活力快速测定[J]. 江西农业大学学报, 46(4): 935-943.]