

# 西藏野生宽叶韭花粉离体萌发特性研究

段双双 徐湖 张子骏 马晓帆 王忠红\*

(西藏农牧大学 植物科学学院, 西藏林芝 860000)

**摘要** 为明确野生宽叶韭花粉的离体萌发特性, 以西藏宽叶韭花粉为研究对象, 先使用单因素试验初筛花粉离体萌发培养需要的适宜光照条件、温度、时间以及培养基中蔗糖、硼酸、氯化钙的适宜质量浓度范围, 再利用正交试验检验各成分之间的交互作用对花粉萌发的影响, 筛选出花粉离体萌发的最适培养基。结果表明, 25 °C下暗培养1 h, 更利于花粉萌发; 单因素试验结果表明, 适宜宽叶韭花粉萌发的培养基中蔗糖质量浓度为100~150 g/L, 硼酸质量浓度为100~150 mg/L, 氯化钙质量浓度为0~50 mg/L。试验中, 蔗糖100 g/L、硼酸100 mg/L、氯化钙0 mg/L下花粉萌发率是最高, 为57.39%, 蔗糖100 g/L、硼酸200 mg/L、氯化钙150 mg/L下花粉萌发率是最低, 为34.26%; 蔗糖50 g/L、硼酸100 mg/L、氯化钙0 mg/L下的花粉管最长, 达40.76 μm, 蔗糖150 g/L、硼酸200 mg/L、氯化钙150 mg/L时的花粉管最短, 仅19.11 μm。综上所述, 宽叶韭花粉离体萌发最佳培养条件为25 °C下暗培养1 h, 最佳培养基组合为蔗糖100 g/L + 硼酸100 mg/L + 氯化钙0 mg/L。

**关键词** 宽叶韭; 花粉; 离体萌发; 培养基

中图分类号: S647

文献标志码: A

文章编号: 2096-4781 (2025) 06-0739-09

DOI: 10.19707/j.cnki.jpa.2025.06.007

## A Study of the In Vitro Germination Characteristics of Wild *Allium hookeri* Pollen in Xizang

DUAN Shuangshuang, XU Hu, ZHANG Zijun, MA Xiaofan, WANG Zhonghong\*

(Plant Sciences College, Xizang Agriculture & Animal Husbandry University, Linzhi, Xizang 860000, China)

**Abstract:** To investigate the in vitro germination characteristics of wild *Allium hookeri* pollen, this study focused on Xizang *A. hookeri* pollen. First, single-factor experiments were conducted to preliminarily identify optimal light conditions, temperature, incubation time, and suitable concentration ranges of sucrose, boric acid, and calcium chloride in the culture medium for pollen germination. Subsequently, orthogonal experiments were employed to evaluate the interactive effects of these components on pollen germination and to screen for the optimal medium formulation. The results showed that dark conditions were more conducive to pollen germination, the optimal germination temperature was 25 °C, and the optimal culture time was 1 h. The results of single factor test showed that sucrose concentration was 100~150 g/L, boric acid concentration was 100~150 mg/L and calcium chloride concentration was 0~50 mg/L in the suitable medium for *A. hookeri* pollen germination. In the orthogonal test, the highest pollen germination rate was 57.39% under sucrose 100 g/L, boric acid 100 mg/L and calcium chloride

收稿日期: 2025-03-19

作者简介: 段双双 (1998-), 女, 汉族, 重庆人, 硕士生。研究方向: 主要从事园艺植物种质资源创新利用方面的研究。

通信作者: 王忠红 (1980-), 男, 汉族, 宁夏人, 硕士, 教授。研究方向: 主要从事园艺植物种质资源创新利用方面的研究。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32360758); 西藏自治区自然科学基金项目 (XZ202001ZR0013G)。

0 mg/L, and the lowest pollen germination rate was 34.26% under sucrose 100 g/L, boric acid 200 mg/L and calcium chloride 150 mg/L. The pollen tube under the conditions of sucrose 50 g/L, boric acid 100 mg/L and calcium chloride 0 mg/L was the longest (40.76  $\mu\text{m}$ ), while the pollen tube under the conditions of sucrose 150 g/L, boric acid 200 mg/L and calcium chloride 150 mg/L was the shortest (19.11  $\mu\text{m}$ ). Platyphylla, while high concentration of calcium chloride could inhibit it. In conclusion, the optimal culture conditions for in vitro germination of *A. hookeri* pollen were dark culture at 25 °C for 1 h, and the optimal medium combination was sucrose 100 g/L + boric acid 100 mg/L + calcium chloride 0 mg/L.

**Key words:** *Allium hookeri*; Pollen; Germination in vitro; Culture medium

宽叶韭 (*Allium hookeri* Thwaites) 是百合科葱属粗根组多年生草本植物, 鳞茎圆柱状, 具粗壮的根, 8月至9月开花结果。主要分布于中国四川、云南西北部和西藏东南部, 以及斯里兰卡、不丹和印度北部, 生于海拔1 500~4 000 m的湿润山坡或林下<sup>[1,2]</sup>, 部分地区的人会将其作为蔬菜食用。相关研究表明, 宽叶韭具有2倍体、3倍体以及4倍体居群<sup>[3-5]</sup>, 而在7个二倍体居群中发现花粉母细胞减数分裂时染色体不能进行正常配对, 因此虽然能开花但是不能结实<sup>[3,4,6,7]</sup>, 这一类群只能靠无性繁殖扩大居群<sup>[3,4,7]</sup>。有研究发现, 西藏宽叶韭具有有性繁殖和分蘖无性繁殖2种繁殖方式, 开放授粉和套袋自交均能结实<sup>[8]</sup>, 可进行杂交育种研究。

花粉是植株进行杂交育种的父本材料, 而杂交育种与新品种研发常遇到花期不遇和花粉活力不够导致的植物结实率低等问题<sup>[9]</sup>, 这就需要对花粉进行采集和活力测定。测定花粉活力主要有染色法、离体萌发法、活体萌发法及授粉结实法等<sup>[10]</sup>。花粉离体萌发法通过筛选适宜的培养基和培养温度来模拟花粉在柱头上的萌发条件, 从而测定花粉萌发花粉管的能力<sup>[11]</sup>, 在植物杂交育种研究中应用十分普遍。具有易于观察计数、培养条件可定量控制、数据准确等优点, 成为测定花粉活力最可靠有效的方法<sup>[12]</sup>, 花粉离体萌发法的缺点是受培养条件的影响较大, 不同植物所需的培养基成分及其质量浓度和培养温度差异较大<sup>[13]</sup>。因此, 探究花粉离体萌发适宜的培养温度、时间及培养基成分及配比等条件, 是测定植物花粉活力的基础<sup>[14]</sup>。

西藏拥有丰富的植物资源<sup>[15]</sup>, 产于西藏的野生宽叶韭是当地特色的野菜<sup>[16,17]</sup>, 研究其花粉离体萌发特性有利于未来葱属植物花粉活性、杂交育种等探究试验的进行。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

试验时间为2024年8月25日至28日, 以采集于西藏农牧学院实习农场野生葱属植物资源圃的野生宽叶韭花粉为材料。花药采集时间为2024年8月25日9:00~11:00 am, 选择生长旺盛、较少或无病虫害植株上的已开放小花的花药, 将形态饱满、发育较好的未开裂花药取下, 置于铺有硫酸纸的培养皿内于干燥通风处待其散粉, 每次试验至少选取50粒花药。试验培养基成分选择天津市致远化学试剂有限公司的分析纯蔗糖、硼酸及氯化钙。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 试验设计

本研究由多组试验构成。

(1) 光照处理组。设黑暗处理和光照处理，黑暗处理用锡箔纸对培养皿进行包裹，与光照处理在25℃培养箱内同时培养1 h。

(2) 温度处理组。培养温度设为18℃、22℃、25℃和28℃，用质量浓度为100 g/L蔗糖、100 mg/LH<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>和100 mg/LCaCl<sub>2</sub>的培养基，按1 h进行培养。

(3) 时间处理组。培养时间分别为0.5 h、1 h、1.5 h和2 h，用质量浓度为100 g/L蔗糖、100 mg/LH<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>和100 mg/LCaCl<sub>2</sub>的培养基，在25℃下进行培养。

(4) 培养基处理组。分单一培养基处理试验（表1）和混合培养基处理试验（表2），均在最适宜的温度（25℃）、时间（1 h）和黑暗环境下进行培养。

所有试验处理均设置3次重复（即3个玻片）。

表1 蔗糖、硼酸、氯化钙单因素试验设计

Tab.1 Single-factor experimental design of sucrose, boric acid, and calcium chloride

处理	蔗糖/g·L <sup>-1</sup>	硼酸/mg·L <sup>-1</sup>	氯化钙/mg·L <sup>-1</sup>
CK(清水)	0	0	0
1	50	50	50
2	100	100	100
3	150	150	150
4	200	200	200

表2 不同培养基三因素三水平正交试验

Tab.2 Three-factor three-level orthogonal design of different medium components

处理	蔗糖/g·L <sup>-1</sup>	硼酸/g·L <sup>-1</sup>	氯化钙/g·L <sup>-1</sup>
T <sub>1</sub>	50	100	0
T <sub>2</sub>	50	150	50
T <sub>3</sub>	50	200	150
T <sub>4</sub>	100	100	0
T <sub>5</sub>	100	150	50
T <sub>6</sub>	100	200	150
T <sub>7</sub>	150	100	0
T <sub>8</sub>	150	150	50
T <sub>9</sub>	150	200	150

### 1.2.2 花粉萌发培养与观测方法

采用液体培养基离体培养法进行花粉培养，具体方法如下：采集的花药散粉后将其抖动混合后，在凹玻片中央滴2~3滴液体培养基，用镊子和解剖针将花粉取出放至凹玻片的液体培养基中，将花粉搅散均匀（不同处理取花粉前镊子、解剖针及手均使用酒精消毒），后将载玻片放入装有浸湿滤纸的培养皿内，于恒温培养箱中进行培养，在显微镜下观察花粉萌发情况，花粉管长度大于等于花粉粒直径视为萌发。每个玻片随机观察5个视野，每个视野花粉粒统计不少于40粒。

花粉萌发率 = 萌发花粉粒数/每个视野观察总花粉数 × 100%<sup>[15]</sup>。

### 1.3 数据分析

采用DPS18.10软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 宽叶韭花粉离体萌发的适宜条件

#### 2.1.1 光环境对花粉离体萌发的影响

由表3可知, 黑暗条件下宽叶韭花粉萌发率达45.17%, 花粉管长度达25.36 μm, 萌发率显著 ( $p < 0.05$ ) 高于光照培养, 花粉管长度极显著 ( $p < 0.01$ ) 高于光照培养。说明黑暗条件更适于宽叶韭花粉离体萌发, 但光照下亦有一定的萌发率。

表3 光照条件对宽叶韭花粉离体萌发的影响

Tab.3 Effects of light conditions on the in vitro germination of *Allium hookeri* pollen

处理	花粉萌发率/%	花粉管长度/μm
光照	33.38 ± 1.93 b	18.66 ± 0.78 bB
黑暗	45.17 ± 2.97 a	25.36 ± 0.68 aA

注: 同列数据后标不同小写字母表示在 $p \leq 0.05$ 水平差异显著, 大写字母表示在 $p \leq 0.01$ 水平差异显著。

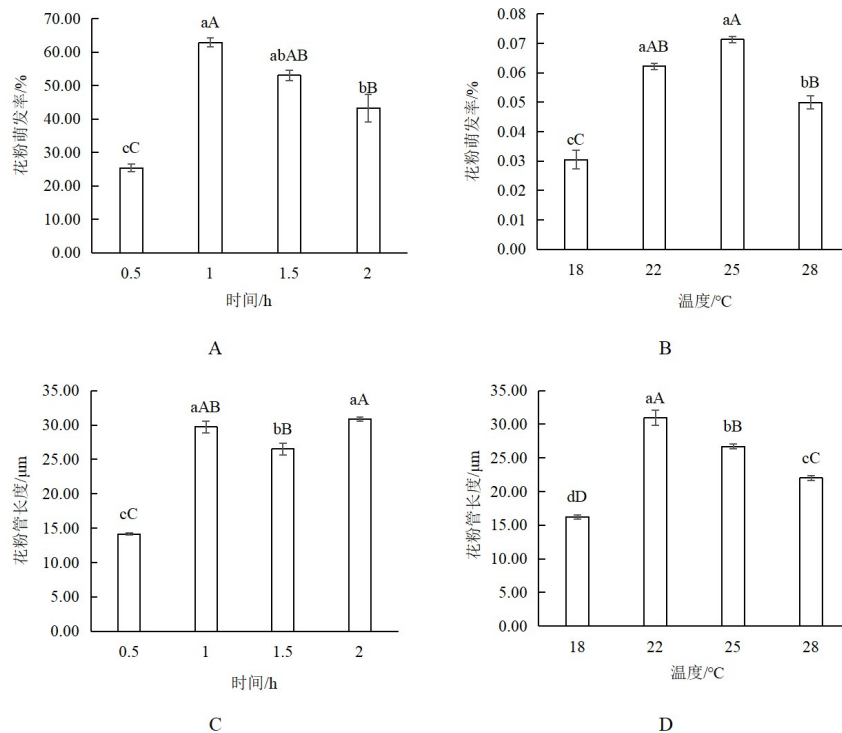


图1 不同培养温度、时间对宽叶韭花粉萌发率及花粉管长度的影响

Fig.1 Effects of different culture temperature and time on in vitro germination of *Allium hookeri* pollen

#### 2.1.2 培养温度与时间对花粉离体萌发的影响

从图1-A和B可知, 宽叶韭花粉离体萌发率随培养时间的增长, 呈现出先升高再降低的变化趋势, 在1 h时萌发率最高, 达到62.94%, 1.5 h次之, 2 h较低, 出现时间延长萌发率下降的原因, 可能是部分花

粉的花粉管在现有试验条件下萌发时间较长时出现颜色变化或其他原因导致在低倍显微镜观察时观察不到(图2),但0.5 h最低,仅为25.41%,且方差分析表明,萌发1 h的萌发率极显著( $p < 0.01$ )高于0.5 h的,说明宽叶韭花粉离体萌发在1 h左右即达到较高萌发率。花粉管长度在0.5 h最短,仅为14.15  $\mu\text{m}$ ,1 h和2 h的最高,在30.85  $\mu\text{m}$ 左右,亦说明在萌发1 h左右即可达到花粉管最长状态,超过1 h有可能出现观察不到的现象。

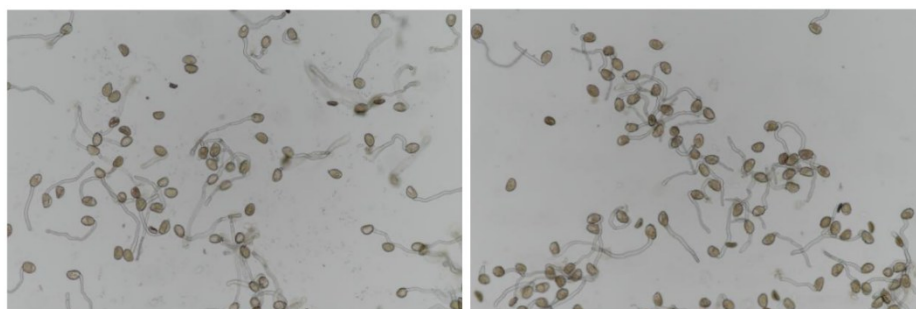


图2 萌发的宽叶韭花粉

Fig.2 Germination of *Allium hookeri* pollen

图1-C和D可知,温度对宽叶韭花粉离体萌发率及花粉管长度均有明显影响。最适宜的萌发温度为25  $^{\circ}\text{C}$ ,此时萌发率可达71.35%,22  $^{\circ}\text{C}$ 的萌发率亦较高,28  $^{\circ}\text{C}$ 下较低但高于18  $^{\circ}\text{C}$ 的萌发率。不同温度下的萌发率呈现出显著或极显著性的差异,说明宽叶韭花粉离体萌发的最佳温度范围应该在25  $^{\circ}\text{C}$ 左右。花粉管的长度与萌发率有类似变化趋势,但22  $^{\circ}\text{C}$ 的长度极显著( $p < 0.01$ )高于25  $^{\circ}\text{C}$ 的,说明从花粉管长度来看,22  $^{\circ}\text{C}$ 左右的温度是较适宜温度,18  $^{\circ}\text{C}$ 的较低温度和28  $^{\circ}\text{C}$ 的较高温度均不利于花粉管的生长。

## 2.2 不同培养基对宽叶韭花粉离体萌发的影响

### 2.2.1 蔗糖、硼酸、氯化钙单一培养基对宽叶韭花粉离体萌发的影响

由图3可知,与清水处理(对照)相比较,蔗糖、硼酸、氯化钙的各浓度处理均对宽叶韭花粉离体萌发有促进作用,萌发率远高于对照的0.27%、花粉管长度远高于对照的12.62  $\mu\text{m}$ 。

在不同浓度蔗糖处理下,花粉离体萌发率随蔗糖质量浓度的升高呈现先上升后下降的趋势,在100 g/L时萌发率(55.48%)最高,150 g/L次之(55.32%),50 g/L下较低但高于200 g/L下的萌发率(34.54%)。方差分析显示,100 g/L和150 g/L之间无差异,均与对照和200 g/L下的萌发率有极显著性差异,与50 g/L下的萌发率有显著性差异。花粉管长度与萌发率有相同的变化趋势,但150 g/L时花粉管最长(29.45  $\mu\text{m}$ ),且与其他处理间有极显著性差异;低浓度和较高浓度处理的接近,但均极显著长于对照,说明蔗糖溶液在50~200 g/L范围内对宽叶韭花粉离体萌发促进作用明显,综合萌发率和花粉管长度看,150 g/L是最佳处理浓度。

在不同浓度硼酸处理下,花粉离体萌发率随硼酸质量浓度的升高呈上升趋势,但中、较高及高浓度间差异未达显著性水平;花粉管长度则随硼酸质量浓度的升高呈先增长后缩短的趋势,且中、较高浓度的处理极显著长于高浓度的处理,综合表明100~150 mg/L的硼酸质量浓度是宽叶韭花粉离体萌发的较适宜浓度。

在不同浓度氯化钙处理下,花粉萌发率及花粉管长度均随 $\text{CaCl}_2$ 质量浓度的升高而下降,50 mg/L的

低浓度有利于花粉萌发和花粉管的生长，中、较高和高浓度下虽然能够促进花粉萌发，但对花粉管长度没有明显促进作用。综合表明50 mg/L左右是氯化钙对宽叶韭花粉离体萌发最适宜的培养浓度。

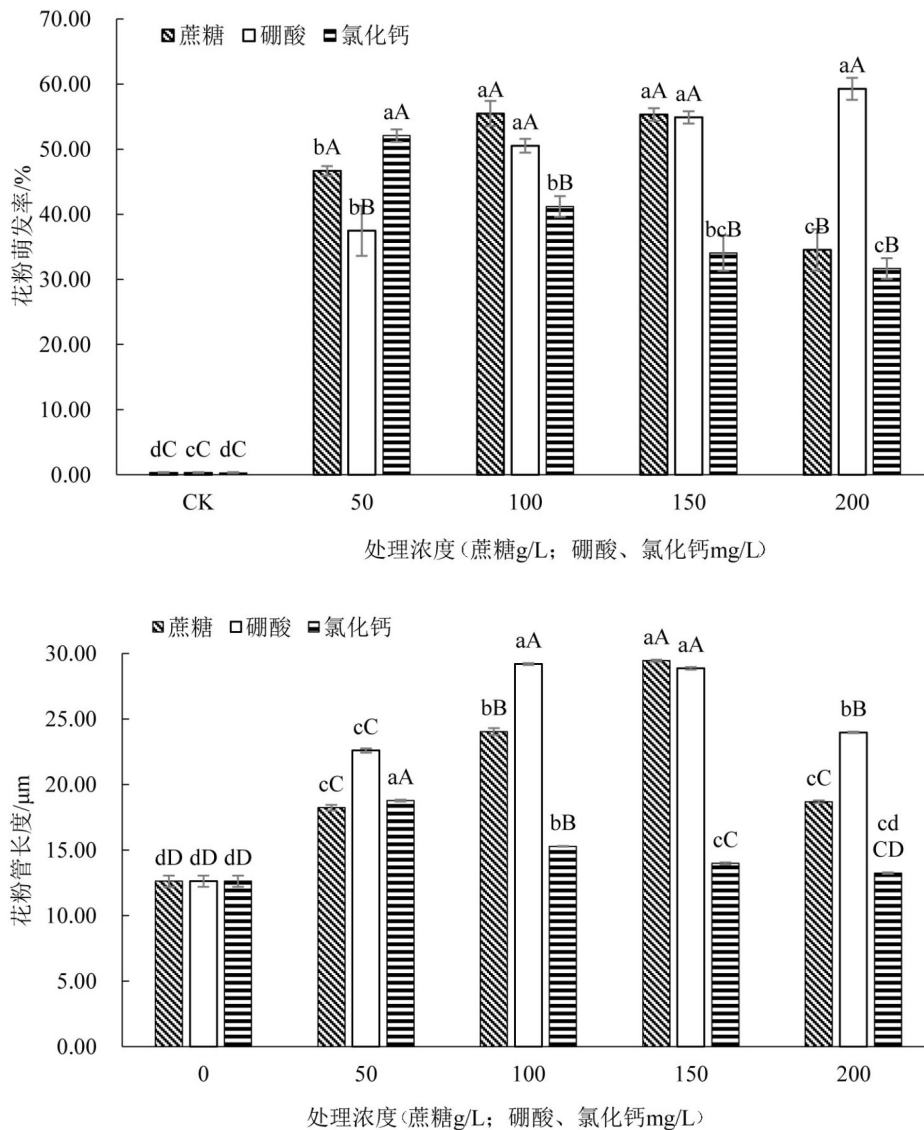


图3 不同培养基及其质量浓度对宽叶韭花粉萌发的影响

Fig.3 Effects of different medium components and their concentrations of *Allium hookeri* pollen

### 2.2.2 蔗糖、硼酸、氯化钙混合培养基对宽叶韭花粉离体萌发的影响

由图4可知，用蔗糖、硼酸、氯化钙混合培养基培养时，不同配方之间在萌发率和花粉管长度方面均有不同程度的差异。

萌发率方面，T6和T9配方的极显著低于其他配方，萌发率在35%左右；其他配方均在50%左右，T4配方最高，其次为T7配方，T2和T1配方居中，从这几个配方来看，无氯化钙或低氯化钙含量、中度的蔗糖和硼酸含量的混合配方有利于宽叶韭花粉离体萌发。

花粉管长度方面，T1处理的最长，极显著长于其他配方；T9配方的最短，极显著短于其他配方；T6和T8配方的较短，其他配方的居中，相互之间的差异有不同程度的显著性。这与T1配方的综合浓度最

低、T9配方的综合浓度最高对应。

由表 4 和图 4 可知，低浓度蔗糖和较低浓度硼酸的混合培养基有利于宽叶韭花粉离体萌发，随着蔗糖、硼酸、氯化钙综合浓度的增加，花粉离体萌发效果相较变差。

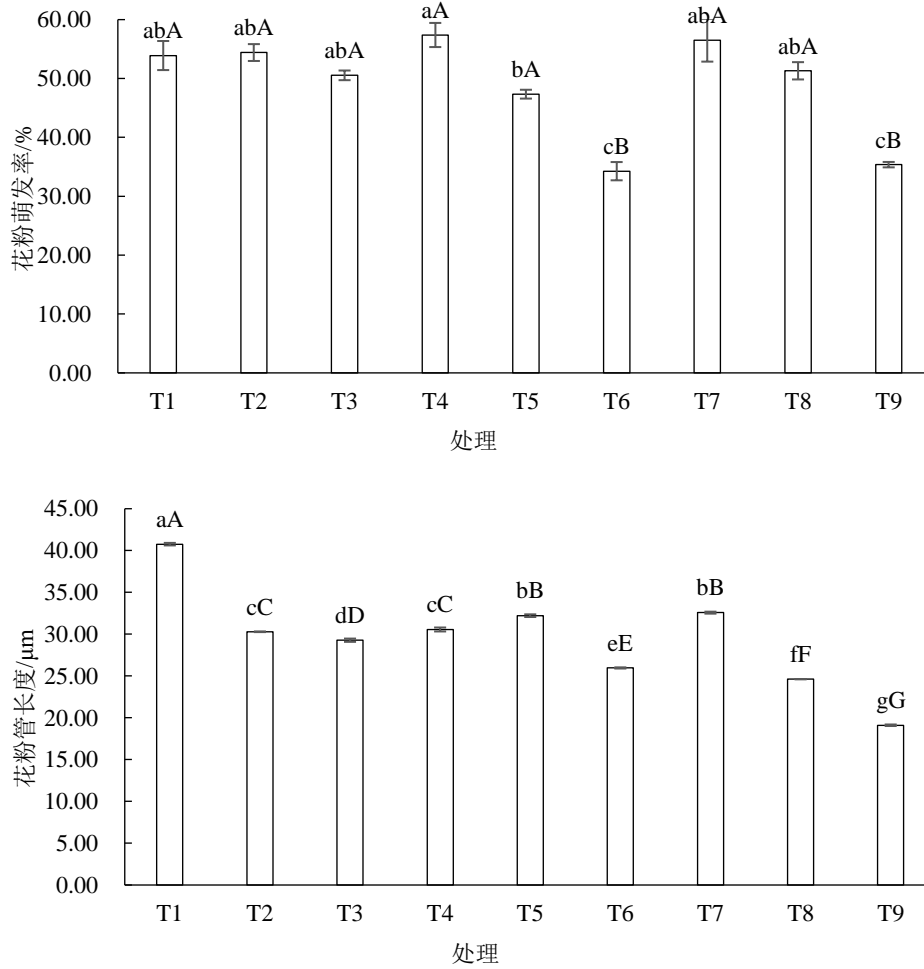


图 4 混合培养基对宽叶韭花粉离体萌发的影响

Fig.4 Effect of mixed culture medium on in vitro germination of *Allium hookeri* Pollen

表 4 混合培养基对宽叶韭花粉萌发影响的隶属函数值

Tab.4 Membership function values of mixed medium effects on pollen germination of *Allium hookeri* Pollen

处理	萌发率/%	花粉管长度/ $\mu\text{m}$	萌发率隶属值	花粉管长度隶属值	隶属值合计	隶属值排序
T1	53.90	40.76	0.8 491	1.0 000	1.8 491	1
T2	54.41	30.29	0.8 712	0.5 164	1.3 876	4
T3	50.54	29.28	0.7 038	0.4 697	1.1 735	5
T4	57.39	30.56	1.0 000	0.5 289	1.5 289	3
T5	47.34	32.21	0.5 655	0.6 051	1.1 706	6
T6	34.26	25.96	0.0 000	0.3 164	0.3 164	8
T7	56.51	32.57	0.9 620	0.6 217	1.5 837	2
T8	51.31	24.62	0.7 371	0.2 545	0.9 916	7
T9	35.37	19.11	0.0 480	0.0 000	0.0 480	9

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

花粉离体萌发法是目前检测花粉活力最有效的方法,但其效果不仅受花粉自身影响,也受光照、温度、时间、培养基组分等外界环境的影响<sup>[18]</sup>。本试验中黑暗处理对宽叶韭花粉离体萌发的影响明显优于光照处理。培养温度、时间是影响花粉活力的重要环境因素,张瑞等<sup>[19]</sup>、刘馨语等<sup>[20]</sup>研究结果表明,温度过高过低、时间过长过短均影响花粉的萌发。本试验结果与前人研究一致,18℃~25℃范围内花粉萌发率随温度升高而上升,25℃后开始下降,花粉管表现基本一致,最适培养温度为25℃,与杨晓梅等<sup>[21]</sup>研究结果表现一致。培养最佳时长为1 h。

花粉离体萌发一般于培养基上进行,需要多种成分参与。蔗糖是花粉萌发及花粉管壁合成的主要营养物质,也是花粉代谢的碳源和细胞渗透生物调节物质<sup>[22]</sup>,因此蔗糖浓度不宜过高或过低。本试验研究中,宽叶韭花粉萌发率及花粉管长度变化均随蔗糖质量浓度的上升而先上升后下降,蔗糖质量浓度在100 g/L、150 g/L时萌发率最高,花粉管最长,这与席延坡等<sup>[23]</sup>关于2倍体棱叶蒜花粉活性研究结果相似。硼酸可与蔗糖形成络合物,促进糖的吸收与转运,还促进花粉培养中花粉壁果胶物的合成<sup>[24]</sup>;本研究单因素试验结果显示,硼酸质量浓度在0~200 mg/L范围内,宽叶韭花粉萌发率随浓度的增加而上升,表明最适质量浓度应大于200 mg/L,这与刘国宇等<sup>[25]</sup>研究结果不一致,说明不同物种间离体萌发所需条件有所不同;宽叶韭花粉管长度随硼酸质量浓度的升高呈现先增长后缩短的趋势,差异较为显著,100 mg/L下最长,50 mg/L最短,与杨晓梅等<sup>[21]</sup>研究结果相近。有研究表明,适宜浓度的外源Ca<sup>2+</sup>能够促进花粉离体萌发<sup>[26]</sup>,但当植物花粉中已含有适量Ca<sup>2+</sup>时,外源的Ca<sup>2+</sup>会产生抑制作用<sup>[27,28]</sup>。本试验中萌发率及花粉管均随氯化钙质量浓度的上升而下降,0~50 mg/L质量浓度范围适宜于宽叶韭花粉的离体萌发,这也表明过高的Ca<sup>2+</sup>会对宽叶韭花粉的萌发产生抑制作用,与张薇等<sup>[29]</sup>研究结果一致。

本研究中不同质量浓度的蔗糖、硼酸、氯化钙对宽叶韭花粉的萌发产生不同的影响,3种物质混合的培养基中,蔗糖100 g/L、硼酸100 mg/L、氯化钙0 mg/L下花粉萌发率最高,蔗糖100 g/L、硼酸200 mg/L、氯化钙150 mg/L下花粉萌发率最低;蔗糖50 g/L、硼酸100 mg/L、氯化钙0 mg/L下的花粉管最长,蔗糖150 g/L、硼酸200 mg/L、氯化钙150 mg/L时的花粉管最短。结果表明,3种培养基成分混合情况下,蔗糖、硼酸对宽叶韭花粉萌发有明显的促进作用,高质量浓度的氯化钙存在抑制作用,与殷陈陈等<sup>[30]</sup>研究结果一致。

#### 3.2 结论

本试验中黑暗处理更利于宽叶韭花粉离体萌发,最适培养时间1~2 h,最适培养温度为25℃,单因素试验表明,培养基蔗糖最适浓度范围为100~150 g/L,硼酸较适浓度为100~150 mg/L以上,具体范围待进一步研究,氯化钙为0~50 mg/L,综合来看,对宽叶韭花粉离体萌影响最大的是蔗糖,其次为硼酸,最小的是氯化钙。正交试验表明,低浓度蔗糖和较低浓度硼酸的混合培养基有利于宽叶韭花粉离体萌发,随着蔗糖、硼酸、氯化钙综合浓度的增加,花粉离体萌发效果相较变差,最佳培养基组合为蔗糖100 g/L + 硼酸100 mg/L + 氯化钙0 mg/L。

## 参考文献:

- [1] 中国科学院植物志编委会. 中国植物志. 第十四卷[J]. 北京科学出版社, 1980:208.
- [2] 崔晓龙, 晏一祥. 宽叶韭和多星韭核型的比较研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 1982(11):96.
- [3] 张绍斌, 许介眉. 宽叶韭居群核型研究[J]. 广西植物, 2002, 22(4):345-348.
- [4] 黄瑞复, 魏蓉城, 许介眉. 宽叶韭及其变种木里韭的核型研究[J]. 云南植物研究, 1996(增刊 VIII):78-84.
- [5] Sharma G, Gohil R N, Kaul V. Cytological status of *Allium hookeri* Thwaites(2n=22) [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2011, 58(7): 1041-1050.
- [6] 万海清, 梁明山, 许介眉. 宽叶韭种内分化的同工酶及可溶性蛋白的研究[J]. 广西植物, 1999, 19(2):161-175.
- [7] 王忠红, 王陆州, 关志华, 等. 西藏野生宽叶韭的繁育更新特性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(10): 122-128.
- [8] 李倩中, 荣立苹, 李淑顺, 等. 鸡爪槭花粉活力与贮藏特性的研究[J]. 西南农业学报, 2016, 29(6):1307-1310.
- [9] 左丹丹, 明军, 刘春, 等. 植物花粉生活力检测技术进展[A]. 安徽农业科学, 2007, 35(16):4742-4745.
- [10] 张静. 风铃木类植物开花性状与观赏价值研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2017.
- [11] 杜玉虎, 綦影, 蒋锦标, 等. 蔗糖、钙和硼对榆叶梅花花粉离体萌发及花粉管生长的影响[J]. 北方园艺, 2008(8):106-109.
- [12] 刘蓉, 吴德军, 王因花, 等. 白蜡花粉最佳离体萌发培养基筛选[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, 47(3):70-76.
- [13] 杨小冬, 孙素琴, 李一勤. 硼缺乏导致花粉管细胞壁多糖分布的改变[J]. 植物学报, 1999, 41(11):1169-1176.
- [14] 刘雪莲, 李庆龄, 秦佳梅, 等. 不同培养基对紫丁香花粉离体萌发的影响[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(7):61-63.
- [15] 马和平, 司孟鑫, 王彪, 等. 西藏墨脱藓类植物多样性及其生活型组成初步研究[J]. 高原农业, 2025, 9(1):16-24
- [16] 杜晓红, 汪欣娴, 黄丕龙, 等. 拉林铁路沿线蒲公英属植物资源收集与评价[J]. 高原农业, 2024, 8(6):651-660
- [17] 罗茂, 关志华, 颜幼春, 等. 模拟根际生境下青甘韭生长与品质的差异分析[J]. 高原农业, 2025, 9(1):65-72+132.
- [18] Flores-Renteria L, Whipple A V, Benally G J, et al. Higher temperature at lower elevation sites fails to promote acclimation or adaptation to heat stress during pollen germination[J]. Frontiers in Plant Science, 2018, 9: 536.
- [19] 张瑞, 李洋, 梁有旺, 等. 薄壳山桃花花粉离体萌发和花粉管生长特性研究. 西北植物学报, 2013, 33(9):1916-1922.
- [20] 刘馨语, 梁清志, 李玄, 等. 不同温度胁迫下芒果花粉活性及花粉管长度的差异[J]. 中国农业气象, 2025, 46(02):237-248.
- [21] 杨晓梅, 刘芬, 胡霞, 等. '兰州大接杏'花粉离体萌发与花粉管生长特性研究[J]. 中国果树, 2021, 208(02):55-59+109.
- [22] 龚双姣, 马陶武, 刘强. 培养基组分及培养条件对蜡梅花花粉萌发及花粉管生长的影响. 西北植物学报, 2012, 32(6):1254-1260.
- [23] 席延坡, 林辰壹, 刘俊霞, 等. 二倍体棱叶蒜花粉活性的变化特征[J]. 草业科学, 2015, 32(12):2057-2063.
- [24] Liu X S, Xiao Y F, Wang Y, et al. The in vitro germination and storage characteristics of *Keteleeria fortunei* var. *cyclolepis* pollen provide a reference for cross breeding [J]. Protoplasma, 2020, 257(4): 1221-1230.
- [25] 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(09):1681-1689.
- [26] Wang Q L, Lu L D, Wu X Q. Pollen storage and viability determination[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2002, 19(3): 365-372.
- [27] 杨霞, 王丹, 张猛. 三个不同品种费约果的花粉-胚珠比及花粉粒形态的扫描电镜观察[J]. 广西植物, 2012, 32(5):599-602.
- [28] 王振江, 罗国庆, 戴凡炜, 等. 不同倍性广东桑的花粉形态[J]. 林业科学, 2015, 51(4):71-77.
- [29] 张薇, 蒋诗音, 王燕, 等. 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, 2024, 46(04):935-943.
- [30] 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.