

## 不同糖源在球根花卉花粉萌发过程中的作用

裘建宇, 耿兴敏, 黄蓓丽

(南京林业大学风景园林学院, 南京 210037)

**摘要:** 以百合、唐菖蒲、郁金香和风信子等 4 种球根花卉花粉作为试材, 研究了淀粉、果糖、麦芽糖、葡萄糖、乳糖和蔗糖等 6 种不同糖源的培养基对不同球根花卉花粉萌发率和花粉管生长状况的影响。结果表明, 不同球根花卉花粉萌发对外源糖的利用存在选择性, 对于不同植物种类, 各糖源适宜的处理浓度也有所不同。唐菖蒲、郁金香和风信子对外源糖具有依赖性, 而百合花粉在蒸馏水培养基中也能萌发。乳糖在各类球根花卉花粉萌发中的促萌效果最为显著, 而其他糖源在球根花卉花粉萌发过程中的作用则稍有差异, 对唐菖蒲、郁金香与风信子花粉, 仅次于乳糖的糖源是葡萄糖, 对于索邦百合花粉和兰州百合花粉较次的糖源分别为麦芽糖和蔗糖, 淀粉的效果最差。

**关键词:** 球根花卉; 花粉; 糖源; 萌发; 离体培养

中图分类号: S682.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2012)01-0129-07

### Effects of different sugar sources on pollen germination and the pollen tube growth of bulb flowers

QIU Jian-yu, GENG Xing-min, HUANG Bei-li

(College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

**Abstract:** The effects of starch, fructose, maltose, glucose, lactose and sucrose on germination rates of pollens and the pollen tube growth of several bulb flowers were investigated. The results showed that the appropriate sugar source and treatment concentration varied with different bulb flowers. The dependence of germination and pollen tube growth on sugar sources varied with plant species. Pollen germination of *Tulipa*, *Gladiolus*, and *Hyacinths* was independent on the addition of sugar sources. Among sugar sources, the promotion of lactose on pollen germination and pollen tube growth were most significant. The effects of sugar source which was next to lactose were different in pollen germination of these bulb flowers. Glucose was suboptimal during *Gladiolus gandavensis*, *Tulipa gesneriana* and *Hyacinthus orientalis* pollen germination, while maltose and sucrose were suboptimal sugar source for *Lilium orential* 'Sorbonne' and *LiLum davidi* var *unicdor cotton*.

**Key words:** bulb flowers; pollen; sugar source; germination; in vitro culture

花粉萌发和花粉管生长是植物有性生殖的重要生理过程, 在此过程中需要花粉管细胞壁组成成分的迅速合成和能量物质的供应, 因此糖类物质的吸收是必须的<sup>[1]</sup>。同时, 糖类物质还起着维持花粉与培养液之间渗透平衡的作用。花粉在萌发过程中可吸收柱头上蔗糖、葡萄糖及果糖等糖源, 以供花粉生长所需的糖源的能量<sup>[2]</sup>。也可依靠花粉分泌液<sup>[2]</sup>、花粉<sup>[3-4]</sup>的主要成分, 也是花粉萌发过程中运输的主要形式<sup>[5]</sup>。蔗糖是花粉培养培养基配方中最常用的

糖源之一, 但其他糖源在花粉培养基配方中也有应用, 并且有研究表明乳糖<sup>[6]</sup>、葡萄糖<sup>[6-7]</sup>以及果糖<sup>[8]</sup>等糖源的花粉萌发效果好于蔗糖。百合 (*Lilium brownii*)、唐菖蒲 (*Gladiolus gandavensis*)、郁金香 (*Tulipa gesneriana*) 和风信子 (*Hyacinthus orientalis*) 等球根花卉作为切花、盆花以及在园林绿化中, 均占有重要的地位。本研究为明确不同糖源物质在这几种球根花卉花粉萌发过程中的作用, 选用 6 种不同的外源性糖为培养基, 比较了不同糖源对 4

收稿日期: 2011-09-23

基金项目: 南京林业大学人才引进项目 (G2009-08) 和江苏省自然科学基金项目 (BK2011820) 共同资助。

作者简介: 裘建宇, 女, 硕士研究生。

\* 通讯作者: 耿兴敏, 女, 博士, 副教授。E-mail: xmgeng@njfu.edu.cn

种球根花卉花粉萌发率及花粉管长度的影响。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

以百合 (*Lilium brownii*)、唐菖蒲 (*Gladiolus gandavensis*)、郁金香 (*Tulipa gesneriana*) 和风信子 (*Hyacinthus orientalis*) 4 种球根花卉 5 个品种的花粉为试验材料。百合‘索邦’、唐菖蒲‘粉友谊’花粉采集购买的鲜切花, 兰州百合 (*Lilium davidii* ‘unicdor cotton’)、风信子‘洁博斯’为南京林业大学试验地栽培, 郁金香‘安娜康达’为南京情侣园公园露地栽培。

分别于 2010 年和 2011 年各球根花卉的开花期的上午采集花粉, 均匀混合, 立即用不同糖源的离体培养基培养, 或暂时保存于 4℃ 冰箱中直到用于花粉萌发试验。每个试验重复均采用同批次花粉。

### 1.2 花粉萌发力的测定

将淀粉、果糖、麦芽糖、葡萄糖、乳糖、蔗糖这 6 种糖配制成 0、0.4、2、10、50、100、150、200 和 300 g·L<sup>-1</sup> 浓度梯度的离体培养溶液。不同植物材料, 各种糖源浓度的梯度设置在预备试验的基础上, 稍有调整, 并不完全相同。

在双孔凹型载玻片孔内滴入 0.1 mL 培养液, 用牙签将充分混合的花粉点入培养液中, 将载玻片放入保湿培养皿内, 置于 25℃ 人工气候箱中黑暗培养。因不同材料花粉萌发和花粉管伸长速度不同, 通过预试验, 确定索邦、兰州百合、唐菖蒲、郁金香、风信子花粉培养时间分别为 2.5、2、2.5、4 和 3 h。

花粉培养结束后在 4 倍显微镜下观察统计, 花粉管长度超过花粉粒直径的花粉计为已萌发, 每处理统计 2 个视野, 每个视野花粉不少于 100 粒, 重

复 3 次。

### 1.3 各糖源最适浓度培养基离体培养花粉管长度的测量

通过花粉萌发率试验, 确立各糖源对花粉萌发的最佳浓度, 然后再以各糖源最佳浓度配置培养基, 进行花粉离体培养。培养 2、4、8 和 24 h 后, 在 5 倍显微镜下观察花粉管的伸长状况, 用 Leica 软件拍照, 并用目镜测微尺测量花粉管的长度。

试验数据采用 Excel 2003 以及 SPSS16.0 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 各糖源不同浓度的离体培养基对‘索邦’百合花粉萌发率及花粉管生长的影响

**2.1.1 各糖源不同浓度的离体培养基对‘索邦’百合花粉萌发率的影响** ‘索邦’花粉在对照培养基中的萌发率为 3.43%, 各种不同糖源对‘索邦’花粉的萌发有着不同程度的促进效果 (表 1)。不同浓度的淀粉之间的花粉萌发率无差异显著性, 但随着可溶性淀粉浓度的降低, 花粉萌发率呈上升趋势。低浓度的果糖促进花粉萌发, 在 2~10 g·L<sup>-1</sup> 浓度范围内花粉萌发率较高, 之后随着果糖浓度的升高, 萌发率降低。麦芽糖在 2~300 g·L<sup>-1</sup> 培养浓度范围内, 50 g·L<sup>-1</sup> 时花粉萌发率最高, 高于或低于 50 g·L<sup>-1</sup> 浓度时的麦芽糖都不利于索邦花粉的萌发, 在 300 g·L<sup>-1</sup> 时花粉萌发率为零。葡萄糖最适浓度为 10~50 g·L<sup>-1</sup>, 过高或过低浓度的葡萄糖培养液都不利于索邦花粉的萌发。乳糖溶液培养的花粉, 其萌发率变化趋势与麦芽糖相似, 并且也在 50 g·L<sup>-1</sup> 时, 花粉萌发率最高。蔗糖的最适浓度为 100 g·L<sup>-1</sup>, 但在 10~150 g·L<sup>-1</sup> 浓度范围内花粉萌发率差异不显著 (表 1)。

表 1 各糖源不同浓度处理对‘索邦’花粉萌发率的影响

Table 1 Effects of different concentrations of varied sugar sources on pollen germination of <i>Lilium orientalis</i> ‘Sorbonne’ %						
浓度/g·L <sup>-1</sup> Concentration	淀粉 Starch	果糖 Fructose	麦芽糖 Maltose	葡萄糖 Glucose	乳糖 Lactose	蔗糖 Sucrose
0				3.43		
2	7.32 <sup>a</sup>	10.47 <sup>a</sup>	9.64 <sup>c</sup>	7.80 <sup>b</sup>	7.88 <sup>abc</sup>	5.12 <sup>ab</sup>
10	7.18 <sup>a</sup>	9.40 <sup>a</sup>	11.83 <sup>b</sup>	10.56 <sup>a</sup>	13.51 <sup>abc</sup>	8.19 <sup>a</sup>
50	5.19 <sup>a</sup>	1.09 <sup>b</sup>	19.94 <sup>a</sup>	10.46 <sup>a</sup>	30.02 <sup>a</sup>	8.78 <sup>a</sup>
100	4.12 <sup>a</sup>	2.25 <sup>b</sup>	11.31 <sup>b</sup>	1.20 <sup>b</sup>	26.80 <sup>ab</sup>	9.87 <sup>a</sup>
150	3.76 <sup>a</sup>	-	9.29 <sup>c</sup>	-	28.38 <sup>a</sup>	7.91 <sup>a</sup>
200	/	-	2.27 <sup>cd</sup>	-	4.61 <sup>bc</sup>	0.57 <sup>b</sup>
300	/	-	-	-	-	-

注: 表中显著性分析均在同种糖源不同浓度之间进行; /: 未设置此浓度; -: 花粉在此浓度培养中的萌发率为零。下同。

Note: Significant analysis was made among different concentrations of the same sugar; “/” refers this concentration was not set; “-” refers the germination was 0 in this medium. The same below.

表 2 不同糖源对各种球根花卉花粉萌发率的影响  
Table 2 Effects of different sugar sources on pollen germination of bulb flowers %

糖源 Sugar	索邦 Sorbonne	兰州百合 <i>LiLum davidi</i> 'unicdor cotton'	唐菖蒲 <i>Gladiolus</i> <i>gandavensis</i>	郁金香 <i>Tulipa</i> <i>gesneriana</i>	风信子 <i>Hyacinthus</i> <i>orientalis</i>
对照 CK	3.43 <sup>b</sup>	26.21 <sup>b</sup>	-	-	-
淀粉 Starch	7.32 <sup>b</sup>	22.51 <sup>b</sup>	0.24 <sup>c</sup>	0.71 <sup>b</sup>	0.69 <sup>b</sup>
果糖 Fructose	10.47 <sup>b</sup>	24.24 <sup>b</sup>	0.81 <sup>b</sup>	0.4 <sup>b</sup>	1.26 <sup>b</sup>
麦芽糖 Maltose	19.94 <sup>a</sup>	26.07 <sup>b</sup>	2.33 <sup>ab</sup>	1.68 <sup>b</sup>	1.07 <sup>b</sup>
葡萄糖 Glucose	10.56 <sup>b</sup>	24.86 <sup>b</sup>	2.47 <sup>ab</sup>	2.44 <sup>b</sup>	2.51 <sup>b</sup>
乳糖 Lactose	30.02 <sup>a</sup>	37.24 <sup>a</sup>	3.65 <sup>a</sup>	9.26 <sup>a</sup>	15.18 <sup>a</sup>
蔗糖 Sucrose	9.87 <sup>b</sup>	30.03 <sup>ab</sup>	2.41 <sup>ab</sup>	0.97 <sup>b</sup>	1.52 <sup>b</sup>

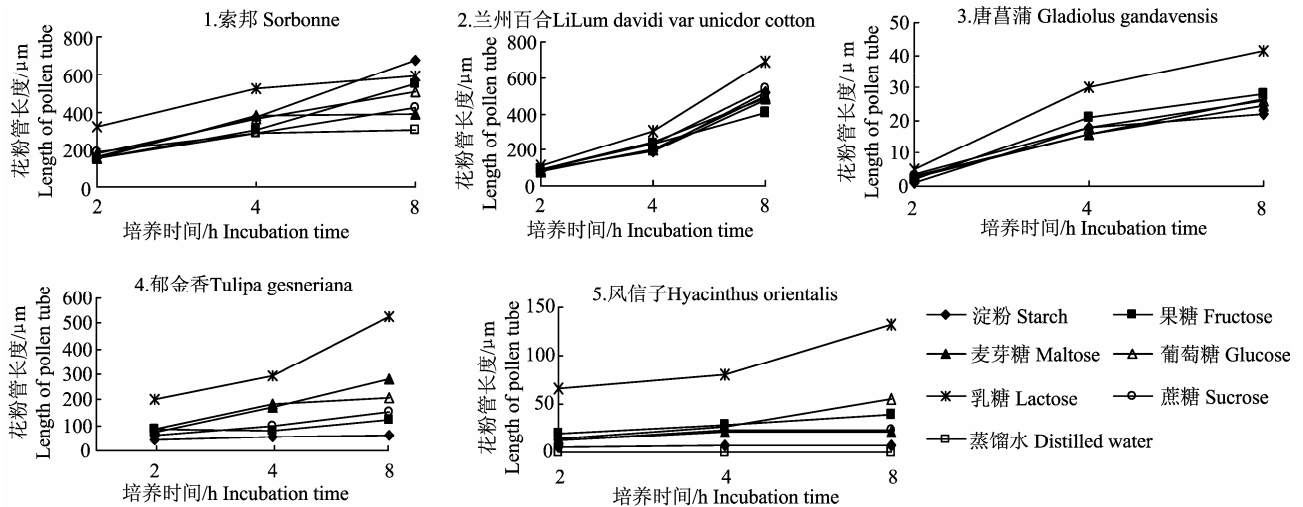


图 1 不同糖源最适浓度对花粉管生长的影响

Figure 1 Effects of different sugar sources on pollen tube growth

对‘索邦’花粉在各糖源的最适浓度中的萌发率差异进行分析比较,其结果如表 2 所示。‘索邦’花粉萌发最适糖源排序依次为乳糖>麦芽糖>葡萄糖>果糖>蔗糖>淀粉。麦芽糖溶液和乳糖溶液这两种培养基对索邦花粉萌发具有较好的促进作用,其萌发率分别达到 19.94%和 30.02%,并且在 95%置信区间内,与其他 4 个培养基,即淀粉、果糖、麦芽糖和蔗糖溶液培养基相比差异显著,而这 4 种糖源之间并无显著性差异。

**2.1.2 不同糖源最适浓度对‘索邦’百合离体花粉管生长的影响** 试验结果如图 1-1 所示,在培养早期阶段,乳糖培养基促进了‘索邦’花粉的快速萌发,其他糖源花粉的萌发速度较慢,并且互相之间无显著性差异。而在培养 8 h 时,淀粉溶液培养的花粉花粉管最长,其余依次为乳糖、果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖,对照培养基中的花粉管最短。对培养 8 h 的花粉管长度进行显著性分析,结果表明不同培养基培养的花粉其花粉管长度之间差异不显

著。

## 2.2 各糖源不同浓度的离体培养基对兰州百合花粉萌发率及花粉管生长的影响

**2.2.1 各糖源不同浓度的离体培养基对兰州百合花粉萌发率的影响** 如表 3 所示,兰州百合花粉在不加任何糖源的蒸馏水中培养 2 h 后,花粉萌发率为 26%。淀粉、果糖、葡萄糖、蔗糖的不同浓度处理对兰州百合花粉的萌发并无促进效果,较高浓度时还显著抑制了兰州花粉的萌发。淀粉和果糖的花粉萌发率与其浓度高低呈负相关,麦芽糖和葡萄糖分别在 2 和 10  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  时花粉萌发率最高。适宜浓度蔗糖的处理在一定程度上促进了兰州百合花粉的萌发,并且在低浓度时促进效果显著,随着蔗糖浓度的提高,花粉萌发率也呈下降的趋势。乳糖,与其他糖源相比,对兰州百合花粉的促萌作用最为显著,但随浓度变化,花粉萌发率呈不规则变化。因此本研究于 2011 年 5 月兰州百合盛花期,以栽种于南京林业大学实验实训中心基地的兰州百合为

试验材料, 在  $0.4\sim 300\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  范围内设置 6 个梯度, 进行进一步验证试验, 结果与表 3 的结果基本一致, 花粉在  $200\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  时花粉萌发率最高, 过高或过低浓

度都在一定程度上抑制了花粉的萌发 (数据未显示)。

表 3 各糖源不同浓度处理对兰州百合花粉萌发率的影响

Table 3 Effects of different concentrations of varied sugar sources on pollen germination of *LiLum davidi* var *unicdor cotton* %

浓度/ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ Concentration	淀粉 Starch	果糖 Fructose	麦芽糖 Maltose	葡萄糖 Glucose	乳糖 Lactose	蔗糖 Sucrose
0			26.21			
0.4	22.51 <sup>a</sup>	24.24 <sup>a</sup>	19.15 <sup>b</sup>	23.24 <sup>a</sup>	23.02 <sup>e</sup>	30.03 <sup>a</sup>
2	21.56 <sup>ab</sup>	22.55 <sup>a</sup>	26.07 <sup>a</sup>	23.86 <sup>a</sup>	34.89 <sup>ab</sup>	29.54 <sup>a</sup>
10	15.83 <sup>b</sup>	11.05 <sup>b</sup>	24.35 <sup>a</sup>	24.86 <sup>a</sup>	28.99 <sup>abc</sup>	23.61 <sup>b</sup>
50	5.95 <sup>c</sup>	0.11 <sup>c</sup>	10.75 <sup>c</sup>	5.49 <sup>b</sup>	26.09 <sup>cde</sup>	8.87 <sup>c</sup>
100	5.22 <sup>c</sup>	-	7.40 <sup>c</sup>	1.67 <sup>b</sup>	18.98 <sup>de</sup>	4.06 <sup>d</sup>
150	/	-	1.67 <sup>d</sup>	-	27.92 <sup>bcd</sup>	2.46 <sup>d</sup>
200	/	-	2.03 <sup>d</sup>	-	37.24 <sup>a</sup>	3.91 <sup>d</sup>

表 4 不同浓度糖源对唐菖蒲花粉萌发率的影响

Table 4 Effects of different concentrations of sugar source on pollen germination of *Gladiolus gandavensis* %

浓度/ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ Concentration	淀粉 Starch	果糖 Fructose	麦芽糖 Maltose	葡萄糖 Glucose	乳糖 Lactose	蔗糖 Sucrose
50	0.24	-	0.51 <sup>b</sup>	1.14 <sup>ab</sup>	1.28 <sup>b</sup>	1.36 <sup>ab</sup>
100	-	0.68 <sup>a</sup>	2.33 <sup>a</sup>	1.50 <sup>ab</sup>	3.65 <sup>a</sup>	2.25 <sup>a</sup>
150	-	0.81 <sup>a</sup>	2.17 <sup>a</sup>	2.47 <sup>a</sup>	2.15 <sup>a</sup>	2.41 <sup>a</sup>
200	/	0.08 <sup>a</sup>	1.97 <sup>a</sup>	0.24 <sup>b</sup>	1.54 <sup>a</sup>	1.14 <sup>b</sup>
300	/	-	0.16 <sup>b</sup>	0.08 <sup>b</sup>	0.38 <sup>b</sup>	-

对兰州花粉在各糖源最适浓度的萌发率差异进行分析比较, 其结果如表 2 所示。最适糖源排序依次为乳糖>蔗糖>麦芽糖>葡萄糖>果糖>淀粉。乳糖溶液培养基对兰州花粉萌发具有较好的促进作用, 其萌发率最高可达到 37.24%, 而其他糖源最适浓度的萌发率与对照相比并无显著差异。

**2.2.2 不同糖源对兰州百合离体花粉花粉管生长的影响** 试验结果如图 1-2 所示, 在培养 2 h 时, 各糖源花粉管长度并无差异。之后随培养时间的延长, 花粉管逐渐伸长, 其中乳糖处理伸长速度稍快。在培养 8 h 时, 乳糖溶液培养的花粉花粉管长度稍大于其他糖源处理区, 但显著性分析结果表明差异并不显著。

### 2.3 各糖源不同浓度的离体培养基对唐菖蒲离体花粉萌发率及花粉管生长的影响

**2.3.1 各糖源不同浓度的离体培养基对唐菖蒲离体花粉萌发率的影响** 唐菖蒲花粉在蒸馏水培养基中萌发率几乎为零 (数据未显示), 各种不同糖源的添加均在一定程度上促进了唐菖蒲花粉的萌发, 但萌发率整体偏低 (表 4)。唐菖蒲花粉仅在  $50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  的淀粉溶液中才能萌发, 在更低浓度的淀粉中花粉萌

发率虽稍有提高, 但与  $50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  相比, 差异并不显著 (数据未显示), 在高浓度淀粉溶液中萌发率为零。在果糖、麦芽糖、葡萄糖、乳糖以及蔗糖溶液中培养时, 随着培养基浓度的增大, 其萌发率先增大后减小。其中果糖的最适浓度为  $150\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ , 但与其它浓度的差异不显著; 麦芽糖的最适浓度在  $100\sim 200\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  之间; 葡萄糖的最适浓度为  $150\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ , 与低浓度培养基相比较, 差异不显著, 而与高浓度培养基比较, 差异显著; 乳糖的最适浓度也在  $100\sim 200\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  之间; 蔗糖的最佳浓度在  $100\sim 150\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  之间。对唐菖蒲花粉在各糖源最适浓度的萌发率差异进行分析比较, 其结果如表 2 所示。最适糖源依次为乳糖>葡萄糖>蔗糖>麦芽糖>果糖>淀粉, 对各最佳浓度糖源培养的花粉萌发率之间进行显著性分析,  $100\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  乳糖溶液为唐菖蒲花粉萌发的最佳培养基, 和淀粉以及果糖之间存在显著性差异, 但是与麦芽糖、葡萄糖及蔗糖之间差异较小。

**2.3.2 不同糖源对唐菖蒲离体花粉花粉管生长的影响** 试验结果如图 1-3 所示, 乳糖对唐菖蒲花粉管的伸长的影响, 与百合花粉花粉管伸长的测定结果相似, 乳糖也促进了唐菖蒲花粉的快速萌发和花粉

管的快速伸长。培养 8 h 时, 花粉管长度从高到低依次为乳糖、果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、淀粉。但显著性分析结果表明花粉管在不同培养基条件下的生长长度之间并无显著性差异。

## 2.4 各糖源不同浓度的离体培养基对郁金香离体花粉萌发率及花粉管生长的影响

### 2.4.1 各糖源不同浓度的离体培养基对郁金香离体花粉萌发率的影响

不同浓度糖源对郁金香离体花粉萌发率的影响结果如表 5 所示, 郁金香花粉在蒸

馏水培养基中萌发率几乎为零(数据未显示), 在各糖源培养基中的萌发率整体偏低。不同浓度淀粉、果糖溶液之间对郁金香花粉萌发率的影响并无显著差异; 郁金香花粉在麦芽糖、葡萄糖、乳糖以及蔗糖溶液中培养时, 随着培养基浓度的增大, 其萌发率先增大后减小, 对其进行显著性分析, 结果表现为 50 g·L<sup>-1</sup> 麦芽糖、50 g·L<sup>-1</sup> 葡萄糖、100 g·L<sup>-1</sup> 乳糖、150 g·L<sup>-1</sup> 蔗糖分别为各糖源的最佳浓度, 与其他浓度相比, 效果显著。

表 5 不同浓度糖源对郁金香花粉萌发率的影响

Table 5 Effects of different concentrations of sugar sources on *Tulipa gesneriana* pollen germination %

浓度/g·L <sup>-1</sup> Concentration	淀粉 Starch	果糖 Fructose	麦芽糖 Maltose	葡萄糖 Glucose	乳糖 Lactose	蔗糖 Sucrose
2	0.28 <sup>a</sup>	0.32 <sup>a</sup>	0.25 <sup>b</sup>	0.37 <sup>b</sup>	1.20 <sup>d</sup>	0.04 <sup>d</sup>
10	0.35 <sup>a</sup>	0.40 <sup>a</sup>	1.01 <sup>ab</sup>	0.37 <sup>b</sup>	3.19 <sup>bc</sup>	0.37 <sup>cd</sup>
50	0.71 <sup>a</sup>	0.29 <sup>a</sup>	1.68 <sup>a</sup>	2.44 <sup>a</sup>	5.16 <sup>ab</sup>	0.85 <sup>ab</sup>
100	0.08 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	0.20 <sup>b</sup>	1.24 <sup>ab</sup>	9.26 <sup>a</sup>	0.90 <sup>ab</sup>
150	/	-	0.77 <sup>b</sup>	0.14 <sup>b</sup>	7.28 <sup>ab</sup>	0.97 <sup>a</sup>
200	/	-	0.08 <sup>b</sup>	-	6.55 <sup>bc</sup>	0.57 <sup>cd</sup>
300	/	-	0.06 <sup>b</sup>	-	2.82 <sup>cd</sup>	0.77 <sup>bc</sup>

表 6 不同浓度糖源对风信子花粉萌发率的影响

Table 6 Effects of different concentrations of sugar sources on pollen germination of *Hyacinthus orientalis* %

浓度/g·L <sup>-1</sup> Concentration	淀粉 Starch	果糖 Fructose	麦芽糖 Maltose	葡萄糖 Glucose	乳糖 Lactose	蔗糖 Sucrose
0.4	0.52 <sup>a</sup>	0.76 <sup>b</sup>	0.52 <sup>a</sup>	0.04 <sup>b</sup>	0.49 <sup>d</sup>	0.37 <sup>b</sup>
2	0.63 <sup>a</sup>	1.26 <sup>a</sup>	0.42 <sup>a</sup>	0.13 <sup>b</sup>	0.57 <sup>d</sup>	0.54 <sup>b</sup>
10	0.69 <sup>a</sup>	0.76 <sup>b</sup>	0.72 <sup>a</sup>	0.07 <sup>b</sup>	0.96 <sup>cd</sup>	0.76 <sup>b</sup>
50	-	0.70 <sup>b</sup>	0.68 <sup>a</sup>	0.52 <sup>b</sup>	1.96 <sup>c</sup>	1.30 <sup>a</sup>
100	/	1.17 <sup>ab</sup>	0.83 <sup>a</sup>	0.58 <sup>b</sup>	4.39 <sup>b</sup>	1.52 <sup>a</sup>
150	/	0.85 <sup>b</sup>	1.07 <sup>a</sup>	0.31 <sup>b</sup>	12.88 <sup>ab</sup>	1.38 <sup>a</sup>
200	/	0.75 <sup>b</sup>	0.93 <sup>a</sup>	0.42 <sup>b</sup>	15.18 <sup>a</sup>	0.55
300	/	0.85 <sup>b</sup>	0.50 <sup>a</sup>	2.51 <sup>a</sup>	1.34 <sup>c</sup>	1.00 <sup>ab</sup>

对郁金香花粉在各糖源最适浓度的萌发率差异进行分析比较, 其结果如表 2 所示。最适糖源依次为乳糖>葡萄糖>麦芽糖>蔗糖>淀粉>果糖。乳糖溶液培养基对郁金香花粉萌发具有较好的促进作用, 其萌发率达到 9.26%, 并且在 95% 置信区间内, 与其他 5 个培养基, 即淀粉、果糖、麦芽糖、葡萄糖和蔗糖溶液培养基相比差异显著, 而这 5 种糖源之间并无显著性差异。

### 2.4.2 不同糖源对郁金香离体花粉花粉管生长的影响

实验结果如图 1-4 所示, 花粉管随时间延长大致呈逐渐伸长趋势, 乳糖培养基促进郁金香花粉的快速萌发和花粉管的快速伸长。培养 8 h 时, 花粉管长度从高到低依次为乳糖、麦芽糖、葡萄糖、蔗

糖、果糖、淀粉, 乳糖对郁金香离体花粉花粉管生长的促进效果显著, 其他糖源之间差异性不显著。

## 2.5 各糖源不同浓度的离体培养基对风信子离体花粉萌发率及花粉管生长的影响

### 2.5.1 各糖源不同浓度的离体培养基对风信子离体花粉萌发率的影响

风信子花粉在蒸馏水培养基中萌发率几乎为零(数据未显示), 在淀粉、果糖、麦芽糖、葡萄糖、蔗糖溶液的培养下, 萌发率很低, 均在 3% 以下。而在乳糖溶液中有较高的萌发率, 0.4~200 g·L<sup>-1</sup> 范围内, 花粉萌发率随着乳糖溶液浓度的增大而增大, 在 200 g·L<sup>-1</sup> 时达到最高, 萌发率为 15.2%, 之后花粉萌发率随乳糖溶液浓度升高, 萌发率呈下降趋势, 在 300 g·L<sup>-1</sup> 萌发率降到 1.3%

(表6)。

对风信子花粉在各糖源最适浓度的萌发率差异进行分析比较,其结果如表2所示。最适糖源依次为乳糖>葡萄糖>蔗糖>果糖>麦芽糖>淀粉。乳糖溶液培养基对风信子花粉萌发具有较好的促进作用,其萌发率达到15.18%,并且在95%置信区间内,与其他5个培养基,即淀粉、果糖、麦芽糖、葡萄糖和蔗糖溶液培养基相比,差异显著,而这5种糖源之间并无显著性差异。

**2.5.2 不同糖源对风信子离体花粉花粉管生长的影响** 试验结果如图1-5所示,花粉管随时间延长大致呈逐渐伸长趋势,其中乳糖培养基萌发最快,伸长也最为迅速。培养8h时,花粉管长度从高到低依次为乳糖、葡萄糖、果糖、蔗糖、麦芽糖、淀粉,乳糖对郁金香离体花粉花粉管生长的促进效果显著,其他糖源之间差异性不显著。

### 3 小结与讨论

‘索邦’花粉在对照培养基(蒸馏水)中有萌发,但花粉萌发率很低,仅有3.43%,而兰州百合在对照培养基中有较高的萌发率(表1和表3)。有研究表明麝香百合花粉在蔗糖、甘露醇及季戊四醇培养基中的花粉萌发率无显著差异,其中甘露醇和季戊四醇仅仅作为渗透调节物质,并不能参与花粉萌发过程中的物质代谢<sup>[3]</sup>。成熟百合花粉可以利用自身的糖类物质在适宜条件下萌发生长。但不同种类的百合花粉或许因自身糖类物质含量的差异,花粉在蒸馏水中的萌发率也有很大差异。与百合花粉在对照培养基中的花粉萌发状况不同,唐菖蒲、郁金香与风信子花粉在对照培养基中几乎未见萌发,糖源的添加促进了这3种球根花卉花粉的萌发,这一结果表明这3种球根花卉对外源糖源具有依赖性(表2,表4和表5)。

适宜浓度的乳糖和麦芽糖的添加均显著促进了‘索邦’花粉的萌发,尤其是乳糖。葡萄糖、果糖、蔗糖和可溶性淀粉也在一定程度上提高了‘索邦’花粉的萌发率,但与对照相比无显著差异。兰州百合在对照培养基中有较高的萌发率,但适当浓度的乳糖和蔗糖的添加进一步促进了兰州百合花粉的萌发和花粉管的伸长,其他糖源处理促萌效果不显著。适宜唐菖蒲花粉萌发的糖源依次为乳糖>葡萄糖>蔗糖>麦芽糖>果糖>淀粉,郁金香花粉最适糖源依次为乳糖>葡萄糖>麦芽糖>蔗糖>淀粉>果糖。风信子花粉最适糖源依次为乳糖>葡萄糖>蔗糖>果糖>麦芽糖>淀粉(表2)。以上研究结果表明表明不同

植物花粉在萌发过程中对外源碳水化合物的利用存在选择性。各种不同糖源处理因植物种类不同,适宜其花粉萌发的浓度也有所不同。过高浓度的糖会导致花粉细胞产生质壁分离现象,造成原生质体脱水,抑制花粉萌发<sup>[9]</sup>。

乳糖在各类球根花卉花粉萌发过程中作用显著,而其他糖源在球根花卉花粉萌发过程中的作用有差异,比如对唐菖蒲、郁金香与风信子花粉,仅次于乳糖的糖源是葡萄糖,对于‘索邦’花粉和兰州百合花粉较次的糖源分别为麦芽糖和蔗糖(表2)。乳糖在金银忍冬花粉萌发中促萌效果也明显好于其他糖源,如葡萄糖、蔗糖与果糖等,与本研究的结果相类似<sup>[6]</sup>。本研究结果表明乳糖促进球根花卉花粉早期的快速萌发,对培养8h后花粉管长度的测定结果表明乳糖对百合花粉管生长的影响与其他糖源并无显著差异,但促进了唐菖蒲、郁金香及风信子花粉管的伸长,尤其是对后两者促进效果尤为显著(图1)。乳糖在乳糖酶作用下可被分解为葡萄糖和半乳糖,乳糖在花粉萌发过程中作用显著,或许与乳糖酶的活性及半乳糖的转化有关。乳糖在花粉培养基中的应用、作为花粉组成成分等很少有报道,但半乳糖在牵牛花柱头分泌液中曾被检测到,不过含量比较低<sup>[2]</sup>。蔗糖作为花粉离体培养基的基本成分被广泛应用于各种植物,在本研究中蔗糖对各种球根花卉的花粉萌发都有一定的促进作用,但效果不如乳糖。用2%蔗糖溶液培养牵牛花花粉时,利用高效液相色谱仪进行分析,观察到蔗糖被快速地完全转化为果糖和葡萄糖,运输到花粉管中,并且被有效吸收,证明碳水化合物是以单糖形式被吸收的<sup>[1]</sup>。麦芽糖与乳糖、蔗糖同为二糖,麦芽糖在麦芽糖转糖基酶作用下可分解成葡萄糖以及麦芽三糖、四糖、五糖,其中葡萄糖可直接被花粉吸收利用。麦芽糖对‘索邦’花粉萌发的促进效果仅次于乳糖,好于其他糖源,但在其他几种球根花卉花粉萌发过程中的作用并不显著。

在牵牛花花粉管生长过程中发现糖类物质的吸收主要是以单糖形式被吸收的<sup>[1]</sup>。葡萄糖作为花粉培养基进行花粉萌发试验时,因葡萄糖为单糖,易被细胞吸收,效果好于蔗糖<sup>[10]</sup>。在本研究中,除兰州百合外,对各类球根花卉花粉的萌发,葡萄糖培养基的效果均好于蔗糖。这与金银忍冬<sup>[6]</sup>和桃子<sup>[7]</sup>花粉萌发的研究结果一致,但与紫荆、紫丁香、连翘<sup>[7]</sup>、梨<sup>[8]</sup>及马铃薯<sup>[11]</sup>等的研究结果不同。果糖和山梨糖培养基在梨花花粉萌发过程中对花粉萌发具有较好的促进效果,明显好于蔗糖、麦芽糖及葡萄

糖等<sup>[8]</sup>, 这与本研究中的结果并不完全一致, 果糖对球根花卉花粉的促萌效果并不显著。

内源性糖是以淀粉为主的多糖在花粉萌发中发生水解性消耗<sup>[12]</sup>。而在提供外源性糖的情况下, 花粉在萌发过程中可直接吸收葡萄糖、蔗糖等以提供生长所需的碳源和能源, 外源性的可溶性淀粉则需在胞外酶的作用下才能被吸收<sup>[7]</sup>。在外源供给糖类时, 可溶性淀粉对花粉萌发及花粉管的促长作用明显低于其他糖。在本研究中可溶性淀粉在各类球根花卉花粉萌发过程中促进效果, 与其他糖源相比, 效果也比较差。

各种球根花卉在各糖源培养基中的花粉萌发率存在很大差异, 整体来看百合花粉, 尤其是‘索邦’花粉在添加糖类物质的培养中花粉萌发率显著提高, 而风信子、郁金香、唐菖蒲的花粉萌发率依次降低。这或许与各种球根花卉柱头分泌物的成分不同有关。Portnoi 等研究表明甜玉米(*Zea mays*)、萱草(*Heimerocallis*)柱头分泌物中不含糖类物质, 其花粉在含糖培养基中花粉几乎没有萌发或萌发率很低<sup>[13]</sup>。而剑麻(*Yucca aloifolia*)柱头含有果糖、葡萄糖及蔗糖等, 其花粉在含糖培养基中的花粉萌发率非常高, 但含果糖的培养基除外, 剑麻花粉在果糖培养基中的萌发率很低。另外, 不同植物花粉萌发对外源糖源的选择不同, 或许与花粉自身所含的糖类代谢酶的种类不同有关。Stanley 等综合了国际上各研究者在花粉中发现的酶, 一共包括  $\alpha$ -淀粉酶、 $\beta$ -淀粉酶、麦芽糖转糖基酶、葡萄糖脱氢酶、葡萄糖苷酶等 94 种酶<sup>[14-15]</sup>, 参与花粉内及花粉萌发过程中糖代谢及其他生理代谢活动。自然条件下, 花粉会不断向花柱组织分泌各种酶类, 同时雌蕊组织中的糖类代谢明显加强<sup>[16]</sup>。花粉体外培养过程中, 外源糖也可以在这些酶类作用下, 被花粉利用, 进而参与各种生理代谢活动。一般情况下成熟花粉已含有花粉萌发所需的蛋白质, 但如百合等在萌发过程中需要新蛋白质的合成<sup>[17]</sup>。

## 参考文献:

- [1] Ylstra B, Garrido D, Busscher J, et al. Hexose transport in growing petunia pollen tubes and characterization of a pollen-specific, putative monosaccharide transporter [J]. *Plant Physiol*, 1998, 118: 297-304.
- [2] Konar R N, Linskens H F. Physiology and biochemistry of the stigmatic fluid of *petunia hybrida* [J]. *Planta*, 1966, 71: 372-387.
- [3] Dickinson D B. Rapid starch synthesis associated with increased respiration in germinating Lily pollen [J]. *Plant Physiol*, 1968, 43(1):1-8.
- [4] Speranza A, Calzoni G L, Pacini E. Occurrence of mono- or disaccharides and polysaccharide reserves in mature pollen grains [J]. *Sexual Plant Reproduction*, 1997, 10 (2): 110-115.
- [5] Bush D R. Proton-coupled sugar and amino acid transporters in plants [J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1993, 44: 513-542.
- [6] 许珂, 古松, 江莎. 金银忍冬花粉离体萌发初探[J]. *热带亚热带植物学报*, 2008, 16(2): 109-115.
- [7] 曹广力, 朱越雄. 外源性糖对四种木本观赏植物花粉离体培养的影响[J]. *生物学杂志*, 2002, 19(6): 22-24.
- [8] 张绍铃, 陈迪新, 康琅, 等. 培养基组分及 pH 值对梨花粉萌发和花粉管生长的影响[J]. *西北植物学报*, 2005, 25(2): 225-230.
- [9] 年玉欣, 罗凤霞, 张颖, 等. 测定百合花粉生命力的液体培养基研究[J]. *园艺学报*, 2005, 32(5): 922-925.
- [10] 尹佳蕾, 赵惠恩. 花粉生活力影响因素及花粉贮藏概述[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(4): 110-133, 119.
- [11] Ludmila R, Eva H, Jaroslav T. Optimization of conditions for in vitro pollen germination and tube growth in potatoes [J]. *International Journal of Plant Sciences*, 1996, 157(5): 561-566.
- [12] Mascarnhas J P. Molecular mechanisms of pollen tube growth and differentiation [J]. *Plant Cell*, 1993, 5: 1309-1314.
- [13] Portnoi L. and Horovitz A. Sugars in natural and artificial pollen germination substrates [J]. *Ann Bot*, 1977, 41: 21-27.
- [14] Stanley R G, Linskens H F. *Pollen* [M]. New York: Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1974: 182-192.
- [15] 王开发. 花粉的功能与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 55-60.
- [16] 贺学礼. 植物生物学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 228-230.
- [17] Franke W W, Herth W, Vander Woude W J, et al. Tubular filamentous structures in pollen tubes: Possible involvement as guide elements in protoplasmic streaming and vectorial migration of secretory vesicles[J]. *Planta*, 1972, 105: 317-341.

[1] Ylstra B, Garrido D, Busscher J, et al. Hexose transport in