

多因素处理诱导卷丹珠芽发芽和生根研究

刘莹^{1,2}, 马艳玲², 张欣洁², 龚德林², 雷美艳^{3*}, 符勇耀^{1,2*} (1. 重庆三峡学院生物与食品工程学院, 重庆 404020; 2. 长江师范学院现代农业与生物工程学院, 重庆 408100; 3. 重庆市药物种植研究所, 重庆 408435)

摘要 为获得卷丹百合珠芽快繁的方法, 探究多因素处理对卷丹珠芽发芽和生根的影响, 利用多因素方差分析低温预处理、培养基质和培养温度以及三者之间的互作对卷丹珠芽发芽和生根的影响。结果表明, 低温预处理与培养基质之间的互作对卷丹珠芽发芽的影响表现为极显著, 对珠芽生根的影响表现为显著, 且影响占比最大; 培养温度对珠芽发芽和生根的影响分别表现为极显著和显著; 培养基质仅对珠芽发芽的影响表现为显著; 将珠芽经 4℃ 处理 14 d 后置于 26℃ 发酵锯末中培养, 是诱导卷丹珠芽发芽和生根的最佳方式, 培养 56 d 时发芽率可达 98.33%, 生根率可达 98.89%。研究结果阐明了不同培养因素及其互作对卷丹珠芽繁殖的重要性, 为卷丹珠芽的离体快繁提供了技术支持, 也为珠芽在其他植物生产栽培过程中的应用提供参考。

关键词 卷丹珠芽; 低温预处理; 培养基质; 多因素方差分析; 发芽率

中图分类号 S682.2⁹ **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2024)21-0038-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2024.21.008



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

The Induction Method of the Bulbil Germination and Rooting by Multifactor Treatment in *Lilium lancifolium*

LIU Xuan^{1,2}, MA Yan-ling², ZHANG Xin-jie² et al (1. College of Biology and Food Engineering, Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404020; 2. School of Advanced Agriculture and Bioengineering, Yangtze Normal University, Chongqing 408100)

Abstract To obtain the method of bulbils rapid propagation in *Lilium lancifolium*, and explore the effects of multi-factor treatment on germination and rooting of *Lilium lancifolium* bulbils, the effects of cold temperature pretreatment, culture substrate and temperature, as well as the interaction among the three factors on the germination and rooting efficiency of the bulbils were studied by using multiple factor analysis of variance. The results showed that the interaction between cold temperature pretreatment and culture substrate significantly impacted the germination and rooting efficiency of bulbils, the influence on the germination of bulbils was extremely significant, and the influence on the rooting of bulbils was significant. The influence of culture temperature on the germination and rooting of bulbils was extremely significant and significant respectively; the influence of culture substrate on the germination of bulbils was significant. The optimal method of the bulbil reproduction was that bulbils were treated at cold temperature for 14 days and cultured in fermented sawdust at 26℃, which germination rate could reach 98.33% and rooting rate could reach 98.89% after 56 days of culture. These results clarified the importance of different culture factors and their interactions on the propagation of bulbils of *L. lancifolium*, provided technical support for the rapid propagation of bulbils of *L. lancifolium* *in vitro*, and also provided reference for the application of bulbils in the production and cultivation of other plants.

Key words *Lilium lancifolium* bulbils; Low-temperature pretreatment; Culture substrate; Multivariate analysis of variance; Germination efficiency

卷丹 (*Lilium lancifolium* Thunb.) 又名宜兴百合、药百合、虎皮百合等, 为百合科百合属多年生球根类草本植物, 在我国大部地区均有栽培。卷丹叶散生, 矩圆状披针形或披针形, 叶腋处多生珠芽, 鳞茎近宽球形呈黄白色, 花瓣下垂反卷呈橙红色, 有紫黑色斑点, 是少见的三倍体物种^[1-2]。卷丹花期 7—8 月, 果期 9—10 月。卷丹不仅是我国著名的食药用品, 也被广泛应用于花境造景, 具有重要的营养价值和经济价值^[3]。在日常生产中, 卷丹常以无性繁殖为主, 主要包括鳞茎分割繁殖、籽球繁殖、珠芽繁殖和组织培养快速繁殖等^[4]方法。珠芽繁殖作为卷丹培育的重要方式之一^[5], 与传统的有性繁殖相比, 珠芽繁殖生长周期更短, 发芽率更高; 与鳞茎分割繁殖相比, 珠芽繁殖易于采收、不消耗药材且可避免地下病菌残留; 与组培技术相比, 珠芽繁殖成本更低, 操作更简便^[6]。目前, 能够在自然条件下产生珠芽的百合属植物

包括卷丹、珠芽百合、淡黄花百合和通江百合等^[4], 因此, 珠芽繁殖在自然界中的存在较为广泛。然而在珠芽繁殖方式的研究过程中, 珠芽常作为外植体来进行组织培养^[7-14], 且多为单因素培养条件对珠芽生长的影响, 对卷丹珠芽生长过程中各培养条件之间的交互作用研究较少。

笔者探究预处理方式、培养基质和培养温度对卷丹珠芽离体诱导的影响, 观察处理后珠芽的发芽和生根情况, 获取诱导卷丹珠芽发育的最优方法, 并阐明各因素之间的交互作用对卷丹珠芽生长的影响, 为卷丹珠芽在百合生产栽培过程中的应用提供技术支持, 同时对植物珠芽繁殖方式研究具有参考意义。

1 材料与方法

1.1 材料 卷丹百合珠芽于 2022 年 5 月采集于长江师范学院花卉遗传育种团队百合实验基地。试验所用发酵锯末购自恒健生态农业社, 草炭购自绿原土业资材肥料有限公司, 腐殖土购自重庆华卿农业科技有限公司。

1.2 方法 摘取健康饱满、大小一致的卷丹珠芽并用清水处理干净, 晾干备用。以预处理方式、培养基质、培养温度为因素, 考虑到不同因素之间存在的交互作用 A×B, A×C, B×C, A×B×C, 具体因素及水平见表 1。将珠芽分成 3 组, 分别对其进行低温预处理, 即常温对照、4℃ 处理 7 d、4℃ 处理

基金项目 重庆市涪陵区科技局技术创新与应用发展项目 (FLKJ, 2023AAN1001); 重庆市科卫联合中医药技术创新与应用发展项目 (2020ZY3907); 重庆市科学技术局绩效激励引导专项 (cstc2021-jxjl130019); 长江师范学院人才引进项目 (2017KYQD63)。

作者简介 刘莹 (1997—), 女, 四川南充人, 硕士研究生, 研究方向: 百合栽培与基因功能分析。* 通信作者: 雷美艳, 副研究员, 硕士, 从事中草药栽培与开发利用研究; 符勇耀, 副教授, 博士, 从事百合育种与抗逆分子机理研究。

收稿日期 2023-11-27; **修回日期** 2024-01-17

14 d; 每组 3 份, 每份 30 颗珠芽, 分别放入发酵锯末、草炭和混合基质(发酵锯末: 腐殖土: 草炭 = 1: 1: 1) 中进行避光培养, 培养温度分别为 20 和 26 ℃, 湿度保持在约 15% (手握成团, 放手散开), 每隔 14 d (14、28、42、56 d) 统计珠芽的发芽数和生根数, 3 次重复。

表 1 试验因素与水平
Table 1 Experimental factors and levels

水平 Levels	预处理方式 (A)	培养基质 (B)	培养温度 (C) ℃
1	常温对照	发酵锯末	26
2	4 ℃ 处理 7 d	草炭	20
3	4 ℃ 处理 14 d	混合基质	—

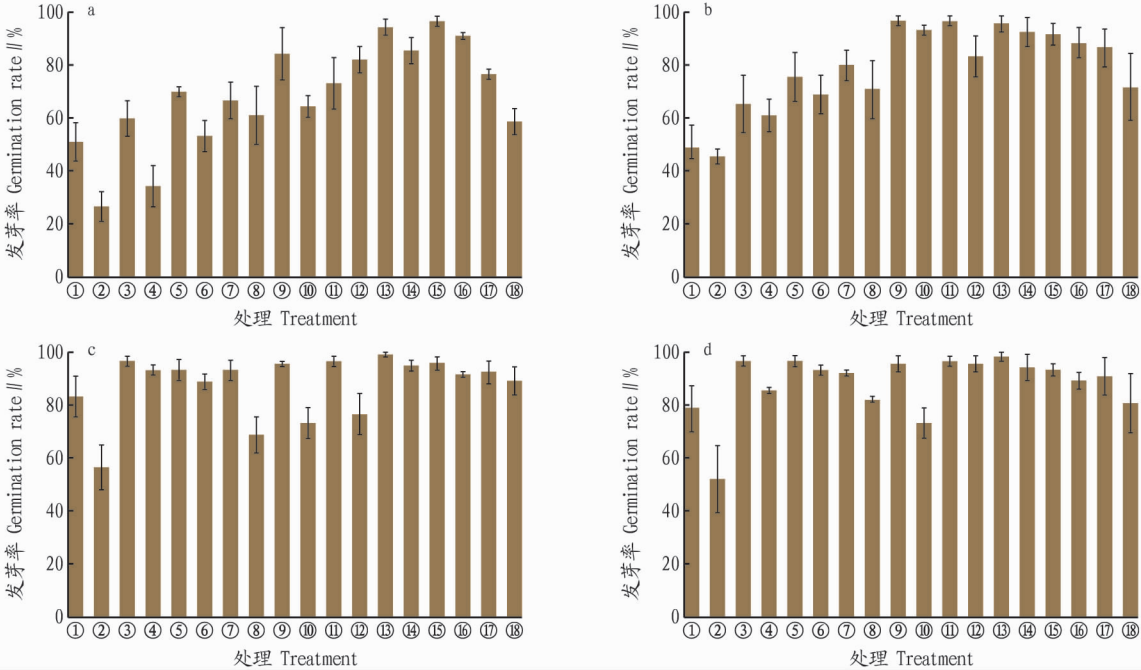
1.3 数据分析 使用 Excel 2021 整理相关数据, 用 IBM SPSS Statistics 26 软件对数据进行多因素方差分析, 并用 Origin 2019b 软件制作图表。

珠芽发芽率 = 发芽的珠芽数 / 珠芽总数 × 100%
珠芽发芽系数 = 发芽总数 / 珠芽总数

珠芽生根率 = 生根的珠芽数 / 珠芽总数 × 100%
珠芽生根系数 = 生根总数 / 珠芽总数

2 结果与分析

2.1 不同培养因素对卷丹珠芽发芽的影响 由图 1 可知, 不同处理的发芽率有显著差异, 且差异幅度随着培养时间的延长减小并趋于稳定。各处理的卷丹珠芽在培养 14 d 时的发芽率为 26.67%~96.67%, 差异幅度较大, 其中发芽率最高的为处理⑮, 其次为处理⑬, 最低的是处理②。培养 28 d 时的发芽率为 45.56%~96.67%, 差异幅度逐渐减小, 发芽率最高的为处理⑨和处理⑪, 其次为处理⑬。培养 42 d 时的发芽率为 56.67%~99.17%, 培养 56 d 时的发芽率为 52.22%~98.33%, 差异幅度减小且趋于稳定, 且大部分卷丹珠芽发芽率均高于 80%。由此可知, 卷丹珠芽在 26 ℃ 培养基质中的发芽率普遍高于 20 ℃, 说明相较于 20 ℃, 卷丹珠芽更适合在培养温度为 26 ℃ 的环境中生长。处理⑬~⑮的发芽率明显高于其他处理, 说明卷丹珠芽经低温处理 14 d 后有利于萌发。



注: a. 各处理在培养 14 d 时的平均发芽率; b. 各处理在培养 28 d 时的平均发芽率; c. 各处理在培养 42 d 时的平均发芽率; d. 各处理在培养 56 d 时的平均发芽率。
Note: a. The average germination rate of each treatment at 14 days of culture; b. The average germination rate of each treatment at 28 days of culture; c. The average germination rate of each treatment at 42 days of culture; d. The average germination rate of each treatment at 56 days of culture.

图 1 不同处理的卷丹珠芽发芽率

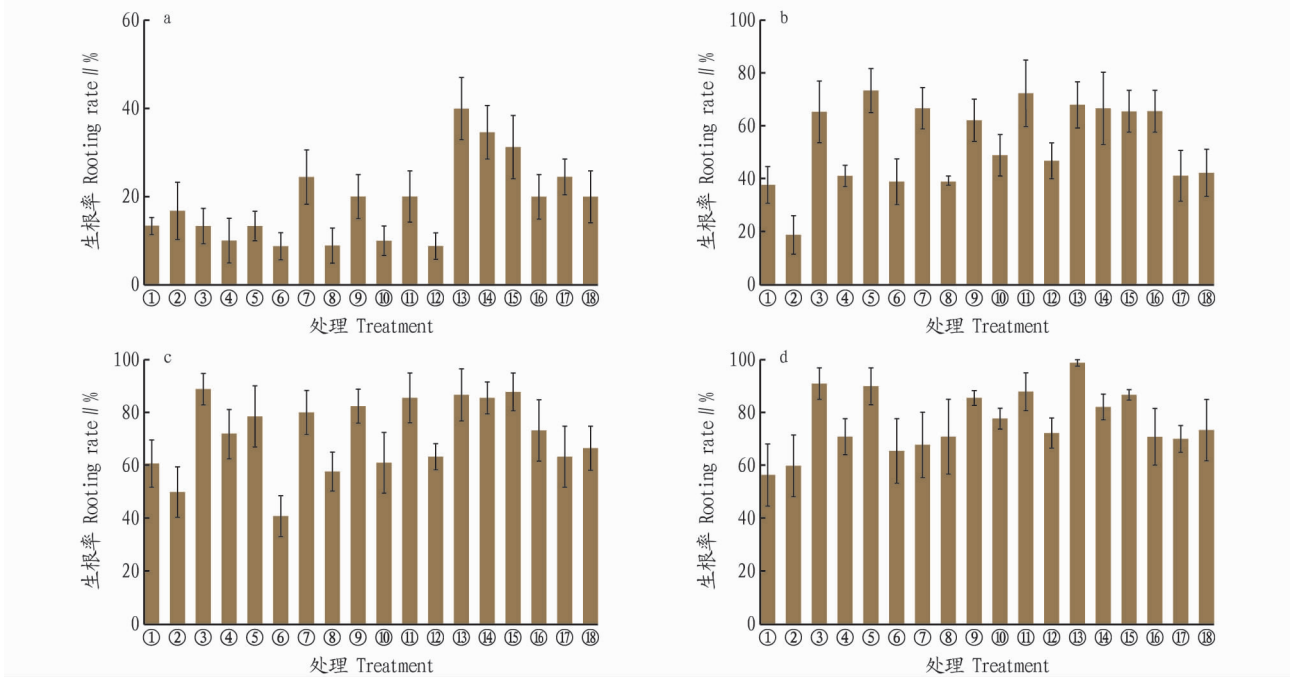
Fig. 1 The germination efficiency of *L. lancifolium* bulbils under different treatment conditions

2.2 不同培养因素对卷丹珠芽生根的影响 由图 2 可知, 不同处理的卷丹珠芽生根率有明显差异, 差异幅度随培养时间的延长而增加。各处理的卷丹珠芽在培养 14 d 时的生根率为 8.89%~40.00%, 生根率最高的为处理⑬, 其次为处理⑭和处理⑮, 生根率分别为 34.45% 和 31.11%。培养 28 d 时的生根率为 18.89%~73.33%, 生根率最高的为处理⑤, 其次为处理⑪, 生根率为 72.22%, 最低的是处理②。培养 42 d 时的生根率为 41.11%~88.89%, 生根率最高的为处理③, 其

次为处理⑬和处理⑮, 生根率分别为 86.67% 和 87.78%。培养 56 d 时的生根率为 56.67%~98.89%, 其中生根率最高的为处理⑬, 其次为处理③和处理⑤, 最低的为处理①。由此可知, 培养温度为 26 ℃ 比 20 ℃ 更有利于卷丹珠芽生根, 且各处理的珠芽生根率均随培养时间的延长而提升。
2.3 不同培养因素诱导卷丹珠芽发芽的相关分析 卷丹珠芽在不同培养因素下生长 56 d 时的发芽情况(表 2)表明, 处理⑬的发芽效果最佳, 发芽率为 98.33%, 发芽系数为 2.10,

其次为处理③、⑤和⑪,发芽率均为 96.67%,处理②的发芽率最低。方差分析结果(表 3)显示,3 个单因素中,培养温度对卷丹珠芽发芽率的影响极显著($F=15.067, P=0.000$),培养基质对珠芽发芽率有显著影响($F=4.196, P=0.022$),低温预处理无显著影响;而低温预处理和培养基质两者之间的

交互($A\times B$)对卷丹珠芽发芽情况的影响极显著($F=8.170, P=0.000$)。根据各培养因素卷丹珠芽发芽率的效应量排序为 $A\times B>C>B>A\times B\times C>A>B\times C>A\times C$,故各因素作用主次关系为 $A\times B>C>B>A\times B\times C>A>B\times C>A\times C$,其中低温预处理与培养基质的交互作用对珠芽发芽率的影响最大,占比



注:a.各处理在培养 14 d 时的平均发芽率;b.各处理在培养 28 d 时的平均发芽率;c.各处理在培养 42 d 时的平均发芽率;d.各处理在培养 56 d 时的平均发芽率。

Note :a. The average germination rate of each treatment at 14 days of culture ;b. The average germination rate of each treatment at 28 days of culture ;c. The average germination rate of each treatment at 42 days of culture ;d. The average germination rate of each treatment at 56 days of culture .

图 2 不同处理的卷丹珠芽生根率

Fig. 2 The rooting efficiency of *L. lancifolium* bulbils under different treatment conditions

表 2 不同培养因素对卷丹珠芽发芽率的影响

Table 2 The effects of different factors on the germination efficiency of *L. lancifolium* bulbils

处理 Treatment	预处理方式 Pretreatment methods	培养基质 Culture substrate	培养温度 Culture temperature/℃	珠芽数 Number of bulbils	发芽率 Germination rate/%
①	常温处理	发酵锯末	26	30	78.89 bc
②	常温处理	发酵锯末	20	30	52.22 d
③	常温处理	草炭	26	30	96.67 ab
④	常温处理	草炭	20	30	85.56 abc
⑤	常温处理	混合基质	26	30	96.67 ab
⑥	常温处理	混合基质	20	30	93.33 ab
⑦	4℃处理 7 d	发酵锯末	26	30	92.22 ab
⑧	4℃处理 7 d	发酵锯末	20	30	82.22 abc
⑨	4℃处理 7 d	草炭	26	30	95.56 ab
⑩	4℃处理 7 d	草炭	20	30	73.33 c
⑪	4℃处理 7 d	混合基质	26	30	96.67 ab
⑫	4℃处理 7 d	混合基质	20	30	95.56 ab
⑬	4℃处理 14 d	发酵锯末	26	30	98.33 a
⑭	4℃处理 14 d	发酵锯末	20	30	94.17 ab
⑮	4℃处理 14 d	草炭	26	30	93.33 ab
⑯	4℃处理 14 d	草炭	20	30	89.17 abc
⑰	4℃处理 14 d	混合基质	26	30	90.84 abc
⑱	4℃处理 14 d	混合基质	20	30	80.83 abc

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level.

为 43.8%,其次为培养温度,占比为 26.4%。由表 4 可知,4 ℃ 处理 14 d 与发酵锯末的搭配效果最好。由此可知,将卷丹珠芽于 4 ℃ 处理 14 d 后置于 26 ℃ 发酵锯末中培养为促进其发芽的最佳培养方式(图 3)。

表 3 不同培养因素对卷丹珠芽发芽率的主体间效应检验
Table 3 Main effect test of the germination rate of *L. lancifolium* bulbils based on different factors

处理 Treatment	平方和 SS	自由度 DF	均方 MS	<i>F</i>	<i>P</i>	效应量 Effect size
预处理方式(A)	556.012	2	278.006	2.676	0.081	0.113
培养基质(B)	871.738	2	435.869	4.196 *	0.022	0.167
培养温度(C)	1 565.170	1	1 565.170	15.067 * *	0.000	0.264
A×B	3 394.807	4	848.702	8.170 * *	0.000	0.438
A×C	157.814	2	78.907	0.760	0.474	0.035
B×C	225.267	2	112.634	1.084	0.347	0.049
A×B×C	647.977	4	161.994	1.559	0.203	0.129
误差 Error	4 362.915	42	103.879	—	—	—
总计 Total	480 050.645	60	—	—	—	—

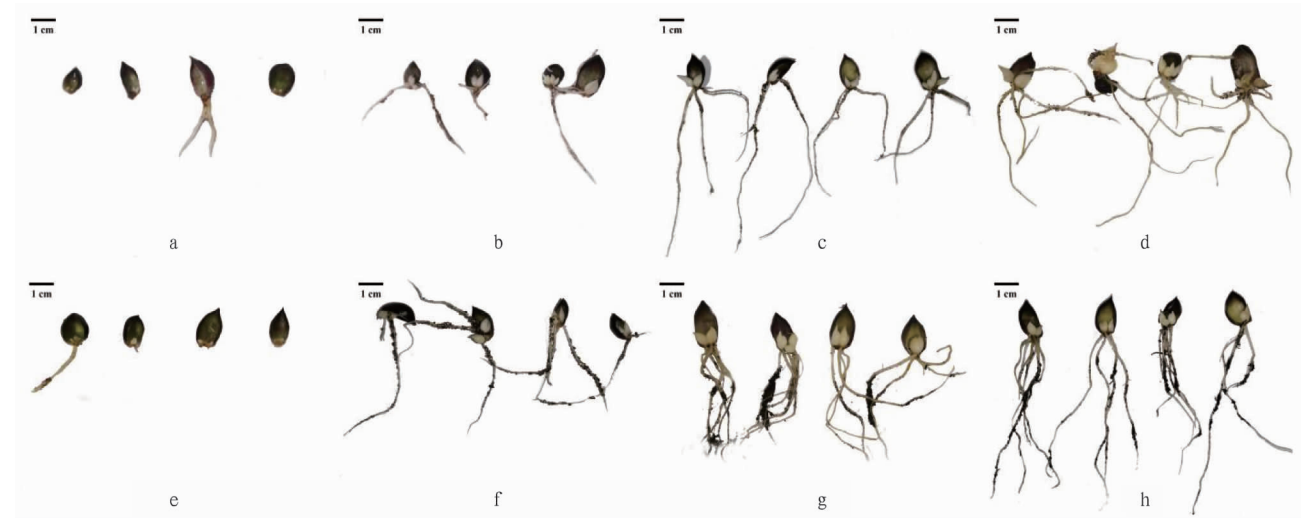
注: * 表示在 0.05 水平差异显著; * * 表示在 0.01 水平差异显著。
Note : * indicated significant difference at 0.05 level ; * * indicated significant difference at 0.01 level.

表 4 预处理方式与培养基质搭配的发芽率
Table 4 Germination rate of collocation of pretreatment methods and culture substrate

处理 Treatment	发酵锯末 Fermented sawdust	草炭 Turf	混合基质 Mixed substrate
常温处理 Normal temperature treatment	65.553	91.112	95.000
4 ℃ 处理 7 d Treatment at 4 ℃ for 7 days	87.220	84.443	96.112
4 ℃ 处理 14 d Treatment at 4 ℃ for 14 days	96.250	91.249	85.834

2.4 不同培养因素诱导卷丹珠芽生根的相关分析 卷丹珠芽在不同培养因素下生长 56 d 时的生根情况(表 5)表明,处理⑬的生根效果最佳,生根率为 98.89%,生根系数为 3.16;其次为处理③和处理⑤,生根率分别为 91.11%和 90.00%,

处理① 的生根率最低。方差分析结果(表 6)显示,3 个单因素中,仅培养温度对卷丹珠芽生根率具有显著影响($F=6.196,P=0.018$),其他 2 个因素的影响均不显著;三者互作作用中,仅低温预处理与培养基质之间的互作对卷丹珠芽生根的影响显著($F=3.314,P=0.021$)。根据各培养因素在卷丹珠芽生根率的效应量排序为 $A \times B > C > A \times B \times C > A > B > B \times C > A \times C$,故各因素作用主次关系为 $A \times B > C > A \times B \times C > A > B > B \times C > A \times C$,其中卷丹珠芽生根率中有 26.9%可以由低温预处理和培养基质的交互作用解释,占比最大,其次为培养温度,占比为 14.7%。由低温预处理和培养基质不同水平搭配的均值(表 7)显示,4 ℃ 处理 14 d 与发酵锯末的搭配对珠芽生根率的影响效果最好。由此可知,将卷丹珠芽 4 ℃ 处理 14 d 后置于 26 ℃ 发酵锯末中培养为促进其生根的最佳培养方式(图 3)。



注:a~d. 处理②的卷丹珠芽分别在 14、28、42、56 d 的生长情况;e~h. 处理⑬的卷丹珠芽分别在 14、28、42、56 d 的生长情况。
Note:a~d. The growth status of the buds of processing 2 at 14,28,42 and 56 days,respectively;e~h. The growth status of the buds of the 13 processed rolled pills at 14,28,42 and 56 days,respectively.

图 3 卷丹珠芽出芽和生根情况
Fig.3 The germination and rooting situation of *Lilium lancifolium* bulbils

表 5 不同培养因素对卷丹珠芽生根率的影响

Table 5 The effects of different factors on the rooting efficiency of *L. lancifolium* bulbils

处理 Treatment	预处理方式 Pretreatment methods	培养基质 Culture substrate	培养温度 Culture temperature/℃	珠芽数 Number of bulbils	生根率 Rooting rate/%
①	常温处理	发酵锯末	26	30	56.67 d
②	常温处理	发酵锯末	20	30	60.00 cd
③	常温处理	草炭	26	30	91.11 ab
④	常温处理	草炭	20	30	71.11 abcd
⑤	常温处理	混合基质	26	30	90.00 ab
⑥	常温处理	混合基质	20	30	65.56 bcd
⑦	4℃处理 7 d	发酵锯末	26	30	67.78 bcd
⑧	4℃处理 7 d	发酵锯末	20	30	71.11 abcd
⑨	4℃处理 7 d	草炭	26	30	85.56 abcd
⑩	4℃处理 7 d	草炭	20	30	77.78 abcd
⑪	4℃处理 7 d	混合基质	26	30	87.78 abc
⑫	4℃处理 7 d	混合基质	20	30	72.22 abcd
⑬	4℃处理 14 d	发酵锯末	26	30	98.89 a
⑭	4℃处理 14 d	发酵锯末	20	30	82.22 abcd
⑮	4℃处理 14 d	草炭	26	30	86.67 abc
⑯	4℃处理 14 d	草炭	20	30	71.11 abcd
⑰	4℃处理 14 d	混合基质	26	30	70.00 abcd
⑱	4℃处理 14 d	混合基质	20	30	73.33 abcd

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level.

表 6 不同培养因素对卷丹珠芽生根率的主体间效应检验

Table 6 Main effect test of the rooting rate of *L. lancifolium* bulbils based on different factors

处理 Treatment	平方和 SS	自由度 DF	均方 MS	<i>F</i>	<i>P</i>	效应量 Effect size
预处理方式(A)	575.608	2	287.804	1.321	0.280	0.068
培养基质(B)	544.776	2	272.388	1.250	0.299	0.065
培养温度(C)	1 350.200	1	1 350.200	6.196 *	0.018	0.147
A×B	2 888.239	4	722.060	3.314 *	0.021	0.269
A×C	112.365	2	56.183	0.258	0.774	0.014
B×C	311.000	2	155.500	0.714	0.497	0.038
A×B×C	1 006.116	4	251.529	1.154	0.347	0.114
误差 Error	7 844.467	36	217.902	—	—	—
总计 Total	331 520.845	54	—	—	—	—

注: * 表示在 0.05 水平差异显著; * * 表示在 0.01 水平差异显著。
Note: * indicated significant difference at 0.05 level; * * indicated significant difference at 0.01 level.

表 7 预处理方式与培养基质搭配的生根率

Table 7 Rooting rate of collocation of pretreatment methods and culture substrate

处理 Treatment	发酵锯末 Fermented sawdust	草炭 Turf	混合基质 Mixed substrate
常温处理 Normal temperature treatment	58.335	81.110	77.778
4℃处理 7 d Treatment at 4℃ for 7 days	69.443	81.667	80.000
4℃处理 14 d Treatment at 4℃ for 14 days	90.555	78.888	71.667

3 讨论

珠芽作为卷丹百合种苗培育、脱毒快繁的重要组织材料,研究珠芽繁殖方式对于百合珠芽遗传育种改良和种质资源保护等均有重要意义^[15-17]。由于不同植物及同种植物不同器官的最适生长条件不同^[18-19],因此在卷丹珠芽发芽和生根方面的培养方式也不同。目前研究表明,低温预处理可有效打破珠芽休眠并提高发芽率^[20-21],且不同培养基质和温度对卷丹珠芽的发芽生根效果影响不同。而在实际生产过程

中,植物的生长会受到多种培养因素的共同影响^[22-23]。因此基于实际应用,获取一种高效的卷丹珠芽繁殖方法,并探究各培养因素即各因素之间的交互作用对珠芽发芽和生根的影响,显得尤为重要。

在植物生长过程中,不同种或品种、不同培养环境以及培养方式,甚至同一品种也可能因培养条件的不同而对低温的反应产生极大差别^[24]。张恪等^[25]研究表明 5℃低温预处理有利于打破卷丹珠芽的休眠并提高发芽率;武林琼等^[26]研究表明在 2~12℃处理百合种球,其发芽率随着低温预处理时间延长而升高。该试验将卷丹珠芽置于 4℃冰箱作预处理,卷丹百合的珠芽发芽率和发芽速度均随着低温处理时间的延长而有所提高,与张恪等^[25]和武林琼等^[26]关于低温预处理提高百合发芽率和发芽速度的研究相吻合。相较于 20℃、26℃的培养温度更有利于卷丹珠芽发芽,因此适度提高培养温度,有助于珠芽萌发生长,与杨利平等^[27]研究结果基本一致。不同培养基质对不同百合品种及同一百合不同器官繁殖的影响较大^[28],郭颖等^[29]研究指出卷丹最适在草炭、珍珠岩和硅石的混合基质中生长;韩怡等^[30]研究认为崂

山百合的最佳培养基质为蛭石:珍珠岩:园土=1:1:1;王伟东等^[31]认为培养基质为草炭:蛭石:珍珠岩=6:2:1最有利于提高东方百合小鳞茎的繁殖系数;孙红梅等^[32]指出东方百合‘Sorbonne’鳞片繁殖最佳基质为发酵锯末,草炭次之,该试验在此基础上增加混合基质(发酵锯末:草炭:腐殖土=1:1:1)作为补充,结果显示卷丹珠芽的最佳培养基质仍为发酵锯末;由于上述各研究中选取的百合品种不同,培养基质及配比不同,对最佳培养基质无法形成统一的标准,但均表明基质的保水性和通透性是影响培养基质效果的重要因素。由此可知,将卷丹珠芽经4℃预处理14d后置于26℃发酵锯末中培养,珠芽发芽效果最佳。

不同影响因子对百合鳞茎的生根作用不同,陈志波等^[33]研究表明卷丹百合鳞茎在草炭中生根效果最佳,该试验结果显示经常温处理的卷丹珠芽在草炭和混合基质中的生根效果较好,发酵锯末次之,与其研究结果相吻合;而经低温处理后的珠芽在发酵锯末中培养的生根率逐渐提升,在低温处理14d后达98.89%,高于在草炭和混合基质中培养(其他培养条件不变)的珠芽生根率。武林琼等^[26]研究认为卷丹百合在23℃基质中相较于18℃培养的生根率更高。该试验结果表明,将卷丹珠芽置于26℃中培养的生根效果明显优于20℃的生根效果,与该试验结果基本一致,说明培养温度对卷丹珠芽生根具有显著影响。

前人多采用SPSS数据处理软件进行多因素方差分析^[34-35],利用效应量(偏Eta平方)分析进行综合评价的研究较少。该试验中,利用效应量分析进一步验证了采用SPSS数据处理软件进行多因素方差分析结果的准确性,也对各因素及因素之间的互作影响分析的更加准确、全面和更加数量化。根据方差分析以及效应量分析结果显示,在卷丹珠芽发芽过程中,预处理方式与培养基质的互作对其发芽率的影响极显著,占比为43.8%,其次单一因素中的培养温度也具有极显著影响,占比为26.4%,培养基质次之,而预处理方式的影响不显著;在对卷丹珠芽生根率的影响中,预处理方式和培养温度的交互作用对其具有显著影响,占比为26.9%,其次单一因素中仅培养温度为显著影响,而低温预处理和培养基质对珠芽生根的影响均不显著。

4 结论

卷丹珠芽萌发受低温预处理、培养基质和培养温度以及三者之间互作作用的共同影响。低温预处理与培养基质之间的互作对卷丹珠芽发芽和生根效果分别具极显著影响和显著影响,占比分别为43.8%和26.9%;其次为培养温度,在珠芽发芽的影响占比为26.4%,表现极显著,对珠芽生根的影响表现为显著;培养基质仅对珠芽发芽表现为显著。该试验结果表明,将珠芽4℃处理14d并置于发酵锯末中26℃培养,为卷丹珠芽发芽和生根的最佳诱导方式。该研究提供了一种卷丹珠芽的最佳诱导方法,阐明低温预处理、培养基质、培养温度及三者之间的互作对珠芽发芽生根的影响,为珠芽在百合生产栽培过程中的应用提供技术支持和理论依据。

参考文献

- [1] 杨利平,符勇耀.中国百合资源利用研究[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,2018:38.
- [2] 唐彪,杨利平,侯菲.不同种源卷丹染色体数目变异[J].东北林业大学学报,2014,42(11):158-160,165.
- [3] 符勇耀,易德燕,杨先茂,等.卷丹新种质JD-h-15的形态特征与遗传变异分析[J].生物技术通报,2022,38(11):140-150.
- [4] 郑爱珍,张峰.百合的繁殖方法[J].北方园艺,2004(4):43.
- [5] 杨利平,宋晓宏.卷丹组培体系的构建[J].河北农业大学学报,2013,36(4):17-21,30.
- [6] 陈华,郑传奇,苏海峰.卷丹百合种球繁育及组织培养技术研究进展[J].现代食品,2021(16):29-32,36.
- [7] 郝春莲,胡凤荣,杨盼盼.植物珠芽形成的研究进展[J].分子植物育种,2024,22(13):4408-4418.
- [8] 金翁.铁树珠芽繁殖法[J].中国花卉盆景,2010(8):24.
- [9] 宋艳梅,李峰,刘杨.半夏组织培养快速繁殖研究[J].山东中医药大学学报,2010,34(4):368-369.
- [10] 李锦超,刘淑祺,师晨玮,等.不同光强和光周期对山药珠芽生长发育的影响[J].种子,2023,42(3):112-119.
- [11] 马素娟,田志强,李森,等.山西野生卷丹珠芽诱导研究[J].山西农业大学学报(自然科学版),2012,32(2):146-149.
- [12] 郭海滨,雷家军.卷丹百合鳞片及珠芽组织培养研究[J].中国农学通报,2006,22(2):72-74.
- [13] 李黛.淡黄花百合离体快繁技术研究[J].安徽农业科学,2015,43(32):209-210.
- [14] 符勇耀,杨利平,高海洪,等.重庆卷丹病毒检测与脱毒方法研究[J].西北农业学报,2020,29(7):1068-1077.
- [15] 张莉颖,冉江苗,国悦伊,等.卷丹珠芽萌发的组织学观察[J].亚热带植物科学,2022,51(4):248-255.
- [16] 符勇耀,秦密,陈驿,等.一种卷丹愈伤组织的诱导与增殖方法[J].分子植物育种,2022,20(9):3029-3037.
- [17] 何长芳,马福贵.春化时间对卷丹珠芽发芽的影响[J].北方园艺,2010(16):89-91.
- [18] 孙红梅,李天来,李云飞,等.百合鳞茎低温处理效应初报[J].沈阳农业大学学报,2003,34(3):169-172.
- [19] 侯玲玲,夏宜平,何桂芳.低温作用影响百合鳞茎休眠的研究进展[J].青海大学学报(自然科学版),2006,24(5):60-62.
- [20] LANGENS-GERRITS M M, MILLER W B M, CROES A F, et al. Effect of low temperature on dormancy breaking and growth after planting in lily bulblets regenerated *in vitro* [J]. Plant growth regulation, 2003, 40(3): 267-275.
- [21] 涂淑萍,穆鼎,刘春.百合鳞茎低温解除休眠过程中的生理生化变化研究[J].江西农业大学学报,2005,27(3):404-407.
- [22] 黄世霞,郑露杰,余晓锐,等.卷丹百合规范化种植关键技术研究[J].安徽农业大学学报,2021,48(2):286-291.
- [23] 胡玉林,姜俊杰,罗健琛,等.基于多因素方差分析探究灌水施肥量对番茄产量的影响[J].浙江农业科学,2023,64(5):1042-1045.
- [24] 宁云芬,龙明华,叶明琴.不同低温处理对百合鳞茎萌芽及花期的影响[J].北方园艺,2010(13):69-72.
- [25] 张恪,唐道城,鄂明来,等.不同温度层积处理对卷丹百合珠芽发芽及小鳞茎生长量的影响[J].青海大学学报(自然科学版),2016,34(6):11-15.
- [26] 武林琼,李爱霞.不同低温贮藏对百合种球生长发育的影响[J].林业科技通讯,2022(9):43-46.
- [27] 杨利平,孙晓玉,卞慧媛,等.细叶百合无性繁殖条件的选择[J].植物研究,2001,21(3):392-397.
- [28] 杨梅玉,邱尧,刘备,等.不同基质对龙牙百合产量及品质的影响[J].湖南农业科学,2019(5):5-8.
- [29] 郭颖,李云锴,李树和,等.5个百合品种在混合基质栽培下的生长差异[J].天津农学院学报,2019,26(3):34-38.
- [30] 韩怡,任强,郭道森,等.一种崂山百合的离体快速繁殖技术[J].现代生物医学进展,2011,11(18):3453-3457.
- [31] 王伟东,胡新颖,白一光,等.不同包埋处理对东方百合鳞片再生小鳞茎的影响[J].辽宁农业科学,2022(4):7-12.
- [32] 孙红梅,陆阳,王春夏,GA₃, IBA以及两种基质对东方百合‘Sorbonne’鳞片繁殖的影响[J].西北农业学报,2009,18(3):234-239.
- [33] 陈志波,周显良,李鑫宇,等.不同品种百合鳞茎扦插扩繁技术研究[J].种子科技,2022,40(20):7-9,51.
- [34] 陈发波,高健,姚启伦,等.不同类型萝卜肉质根色素含量与Chs基因的相关性分析[J].分子植物育种,2018,16(1):175-183.
- [35] 吴小媚,袁延平,魏肖如,等.预处理及培养方法协同作用对新铁炮百合种子萌发的影响[J].新疆农业科学,2020,57(7):1276-1286.