

鲍庆哈,赵一欣,明玥彤,等.百合玻璃化试管苗的生理生化特性及其调控[J].江苏农业科学,2016,44(12):104-107.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.029

百合玻璃化试管苗的生理生化特性及其调控

鲍庆哈,赵一欣,明玥彤,杨博文

(吉林师范大学,吉林四平 136000)

摘要:以百合品种 Pollyanna、Eleganza 和 Renoir 为试材,研究了玻璃化试管苗发生特征、影响因素及预防措施。结果表明:芽增殖期与壮苗期为百合试管苗发生的主要时期;玻璃化苗干物质、蛋白质和叶绿素的含量显著低于正常试管苗;玻璃化苗 ZR 含量偏低,而 ABA 含量与乙烯释放量显著高于正常试管苗。在诱芽、壮苗和生根阶段分别采用以下培养基:MS+0.5 mg/L 6-BA+0.5 mg/L NAA,MS+0.1 mg/L 6-BA+0.5 mg/L NAA,1/2MS+0.2 mg/L NAA,其中琼脂与蔗糖添加量分别为 8.0、50 g/L,百合玻璃化苗比例可控制在 5% 以下。本研究结果为百合试管苗的高效生产提供了理论依据。

关键词:百合;试管苗;玻璃化;激素;生理生化指标;蔗糖

中图分类号: S682.2+65.04+3

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2016)12-0104-03

百合(*Lilium brownii*)属百合科百合属多年生草本球根植物,具有较高的观赏价值,同时兼有食用和药用的功效,深受人们喜爱。传统上,百合可通过珠芽、小子球和鳞片等进行繁殖。由于组织培养技术具有节省时间、空间、无病虫害、快速高效等诸多优点,已经成为了百合繁殖的主要手段之一^[1]。试管苗玻璃化是组织培养过程中常出现的一种导致繁殖效率下降的现象,表现为组培苗的组织呈半透明状,外观异常,更重要的是玻璃化苗生理功能不健全,多难以移栽成活^[2]。百合组织培养过程中常出现试管苗玻璃化现象,导致试管苗生产效率明显降低^[3]。本研究通过确定百合试管苗发生的时期、正常苗与玻璃化苗激素含量差异,在此基础上,研究了植物激素浓度与配比、琼脂与糖含量对玻璃化苗产生的影响,以期百合试管苗的高效生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

以 3 个百合品种 Pollyanna、Eleganza 和 Renoir 的球茎为组织培养的材料,以上材料均购自浙江虹越花卉股份有限公司。

1.2 方法

1.2.1 培养基种类对初代培养分化及试管苗玻璃化的影响

将 3 个品种的球茎置 4℃ 冰箱放置 1 个月左右以确保完成休眠。取其球茎,分离并挑选无损伤、无病虫害的中部鳞片,洗净晾干。接种前,将鳞片置于 70% 乙醇中浸泡 30 s、0.1% 的 HgCl₂ 中浸泡 10 min 后,转无菌水浸泡 3 次以去除残余乙醇和 HgCl₂。无菌滤纸吸干材料表面水分,将材料切分为 1.0 cm×0.5 cm 的小块,表面用解剖刀刻伤,接种入初代培养基中进行培养,待分化丛芽后,将生长正常的丛芽转入芽

增殖培养基进行培养,选择生长正常的丛芽依次转入壮苗与生根培养基进行培养。前 3 种培养基均为 MS,生根培养基为 1/2 MS。其中,初代诱芽期培养基和芽增殖期的培养基的激素配比为 0.75 mg/L 6-BA+0.75 mg/L NAA,壮苗培养基的激素配比为 0.1 mg/L 6-BA+0.2 mg/L NAA,生根期的培养基的激素配比为 0.2 mg/L NAA,培养 30 d 左右统计试管苗玻璃化的比例。以上培养基 pH 值为 5.8~6.0,琼脂 7.0 g/L,蔗糖 20 g/L,组培瓶为 240 mL 透气覆膜组培瓶,在 1.2 kg/cm² 压力下灭菌 20 min。接种后置 25℃、光照度 1 500 lx、每天光照 12 h 的光照培养箱中进行培养。

1.2.2 百合正常试管苗与玻璃化苗若干生理生化指标的比较 比较了百合正常试管苗与玻璃化苗的含水量、干物质含量、蛋白质含量和叶绿素含量。把称过鲜质量的组培苗装入纸袋中,放入烘箱内,100~105℃ 杀青 10 min,80℃ 左右烘至恒质量,放入干燥器中冷却至室温,计算含水量与干物质含量。蛋白质含量的测定用考马斯亮蓝 G-250 染色法^[4],叶绿素含量采用分光光度法测定^[5]。

1.2.3 植物内源激素含量测定 IAA、ZR 和 ABA 的测定采用中国农业大学的植物酶联免疫试剂盒进行测定^[6],具体操作见说明书,乙烯的测定采用气相色谱法^[7]。

1.2.4 激素浓度对比对试管苗生长、增殖及玻璃化的影响 以百合品种 Pollyanna 为材料。6-BA 设置 0.2、0.5、0.7、1.0 mg/L 共计 4 个浓度梯度,NAA 设置 0.5、1.0、2.0 mg/L 共 3 个梯度,合计 12 个处理,基础培养基为 MS,琼脂、蔗糖、光照度、pH 值、组培瓶等条件如前所述。培养约 30 d 时统计试管苗高、单个外植体出芽数、玻璃化芽苗比例,有效增殖倍数采用以下公式进行计算:有效增殖倍数=单个外植体出芽数×(1-玻璃化芽苗百分比)。

1.2.5 蔗糖与琼脂浓度对试管苗生长及玻璃化的影响 以百合品种 Pollyanna 为材料。琼脂设置 7.0、8.0、9.0 g/L 3 个浓度梯度,蔗糖设置 30、40、50 g/L 3 个浓度梯度,共计 9 个处理。芽苗为百合品种 Pollyanna,芽高大于 2cm,培养基为 MS+0.5 mg/L 6-BA+0.5 mg/L NAA,其他培养条件如前

收稿日期:2015-10-15

基金项目:国家自然科学基金(编号:31370683)。

作者简介:鲍庆哈(1982—),男,吉林四平人,硕士,助理研究员,主要从事植物学方面的研究。E-mail:315211139@qq.com。

所述。

1.3 统计分析

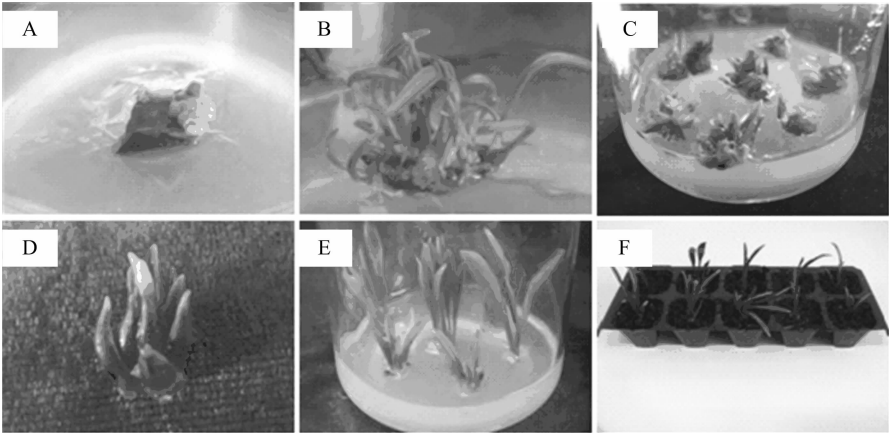
以上试验重复 3 次。玻璃化试管苗统计及生长指标调查研究中,每次重复 5 瓶以上,每瓶接种外植体 5~8 个,试验结果为 5 次重复的平均值。应用统计分析软件 SAS 8.2 的 GLM 过程进行数据的邓肯氏新复极差显著性分析,百分率数据经过反正弦转化后再进行运算。

2 结果与分析

2.1 百合组培过程不同阶段试管苗发生比例及其成活率

为确定百合试管苗玻璃化发生的时期,将百合的组织培

养过程分为初代诱芽期、芽增殖期、壮苗期和生根期 4 个阶段。结果表明,对于 Pollyanna 等 3 个百合品种而言,初代培养过程中,约 30% 左右的鳞片形成愈伤组织(图 1-A),约 60% 左右的外植体直接分化成芽(图 1-B)。与正常芽苗相比(图 1-C),玻璃化苗呈深绿色,叶片肥厚,含水量较高(图 1-D)。诱芽期与生根期玻璃化苗发生比例均较低,且无显著差异($P>0.05$),芽增殖期与壮苗期玻璃化苗发生比例显著高于上述 2 个时期($P<0.05$)。其中,芽增殖期玻璃化苗发生比例显著高于壮苗期($P<0.05$)(图 1-E,表 1)。可见,芽增殖期与壮苗期是百合试管苗玻璃化发生的主要时期,其中,芽增殖期的试管苗玻璃化又远高于壮苗期。



A—球茎鳞片接种后形成愈伤组织; B—球茎鳞片直接分化成芽; C—芽增殖; D—芽增殖过程中产生的玻璃化苗; E—壮苗阶段试管苗; F—移栽成活的试管苗

图1 百合品种 Pollyanna 试管苗玻璃化

品种	玻璃化苗发生比例(%)			
	初代诱芽期	芽增殖期	壮苗期	生根期
Pollyanna	0c	65.6a	21.5b	3.2c
Eleganza	3.4c	55.4a	26.7b	2.4c
Renoir	5.6c	72.2a	22.3b	5.4c

注:同行数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 百合正常试管苗与玻璃化苗若干生理生化指标的比较

比较了百合正常试管苗与玻璃化苗的含水量、干物质含量、蛋白质含量和叶绿素含量,结果如表 2 所示。3 个百合品种的玻璃化苗含水量均高于正常试管苗,其中,百合品种 Pollyanna 的玻璃化苗含水量显著高于正常试管苗($P<0.05$),百合品种 Eleganza 和 Renoir 玻璃化苗与正常试管苗相比无显著差异($P>0.05$)。从干物质含量、蛋白质含量和叶绿素 a + b 含量来看,3 个百合品种玻璃化苗的干物质含量、蛋白质含量和叶绿素 a + b 含量均显著低于正常试管苗($P<0.05$)。

2.3 正常与玻璃化试管苗内源激素含量的差异

比较了 3 个百合品种正常试管苗与玻璃化苗生长素(IAA)、玉米素核苷(ZR)、乙烯(ETH)和脱落酸(ABA)含量的差异,结果如表 3 所示。同一品种相比较,3 个百合品种的玻璃化苗 IAA 含量与正常试管苗较为接近,差异均未达到显著水平($P>0.05$)。3 个百合品种玻璃化苗 ZR 含量显著高于正常试管苗($P<0.05$),而乙烯释放量(ETH)及 ABA 含量均显著高于正常试管苗($P<0.05$)。

表 2 百合正常试管苗与玻璃化苗若干生理生化指标的比较

品种	材料类型	含水量 (%)	干物质含 量(%)	蛋白质含量 (mg/g DW)	叶绿素 a + b 含 量(mg/g 鲜叶)
Pollyanna	正常试管苗	88.7b	11.3a	4.22ab	1.64ab
	玻璃化苗	92.4a	7.6e	4.07c	1.49cd
Eleganza	正常试管苗	89.2ab	10.8b	4.32a	1.54bc
	玻璃化苗	91.6ab	8.4d	4.10bc	1.39d
Renoir	正常试管苗	90.1ab	9.9c	4.27a	1.75a
	玻璃化苗	92.1a	7.9e	4.11bc	1.50cd

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

表 3 百合正常试管苗与玻璃化试管苗内源激素含量的差异

品种	材料类型	IAA 含量 (ng/g)	ZR 含量 (ng/g)	ETH 含量 [$\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$]	ABA 含量 (ng/g FW)
Pollyanna	正常试管苗	194.3b	142.6d	0.78e	16.4e
	玻璃化苗	187.4bc	224.3b	2.44c	45.3b
Eleganza	正常试管苗	241.3a	99.6e	1.04d	21.7d
	玻璃化苗	245.3a	264.3a	3.43a	54.3a
Renoir	正常试管苗	173.4c	79.8f	0.97de	29.4c
	玻璃化苗	169.7c	201.2c	2.74b	47.1b

2.4 激素浓度对比对试管苗生长、增殖及玻璃化的影响

在芽增殖期,不同 6-BA 与 NAA 对比对试管苗生长、增殖及玻璃化均有不同程度的影响(表 4)。相同 6-BA 浓度条件下,试管苗的高度随着 NAA 浓度的升高有一定程度的上升。从单个外植出芽数来看,随着 6-BA 浓度上升,单个外植体出芽数呈下降趋势。玻璃化芽苗比例与 6-BA 浓度关

系十分密切,在 6-BA 浓度高于 0.5 mg/L 的条件下,玻璃化
芽苗比例在 34.7% ~82.4% 间波动。在 6-BA 浓度为 0.5、
0.2 mg/L 的条件下,玻璃化芽苗比例在 7.9% ~14.6% 间波
动。可见,高浓度的 6-BA 是导致百合试管苗玻璃化的重要
原因之一。从有效增殖倍数来看,在 6-BA 浓度为
0.5 mg/L、NAA 浓度为 0.5 ~1.0 mg/L 时,百合的有效增殖
倍数较高,而且,试管苗高度也保持较高水平,因此,这一浓度
组合对于百合的芽增殖较为有利。

表 4 激素浓度对比对试管苗生长、增殖及玻璃化的影响					
激素浓度配比		试管苗高 (cm)	单个外植体 出芽数(个)	玻璃化芽苗 比例(%)	有效增殖 倍数
6-BA (mg/L)	NAA (mg/L)				
1.0	0.5	1.27g	6.45a	82.4a	1.14h
	1.0	1.49f	5.14de	76.7b	1.20h
	2.0	1.54ef	4.39f	71.4c	1.26h
0.7	0.5	1.74cd	5.49bc	37.4d	3.44d
	1.0	1.69de	5.27cd	34.7d	3.44d
	2.0	1.88c	4.94e	34.8d	3.22e
0.5	0.5	3.42b	5.76b	14.6e	4.92a
	1.0	3.64a	5.24cde	12.9ef	4.56b
	2.0	3.65a	4.95de	13.9ef	4.26c
0.2	0.5	3.54ab	3.42g	9.7fg	3.09e
	1.0	3.59ab	2.79h	8.4g	2.56f
	2.0	3.67a	2.44i	7.9g	2.25g

2.5 芽增殖期蔗糖与琼脂浓度对试管苗生长及玻璃化的影响

在 12 个琼脂与蔗糖浓度组合处理中,单个外植体出芽数
相比多数没有显著差异($P<0.05$)。试管苗平均高度受琼脂
与蔗糖浓度组合处理的影响,其中,7.0 g/L 琼脂与 50 g/L 蔗
糖的组合试管苗平均高度为最高。在 8.0 g/L 琼脂与 50 g/L
蔗糖的组合中,玻璃化苗比例最低,而有效增殖倍数最高。综
上,8.0 g/L 琼脂与 50 g/L 蔗糖的组合对于百合的有效增殖
较为有利,其试管苗的高度也维持在较高水平。

表 5 激素浓度对比对试管苗生长、增殖及玻璃化的影响					
琼脂浓度 (g/L)	蔗糖浓度 (g/L)	单个外植体 出芽数(个)	试管苗平均 高度(cm)	玻璃化苗 比例(%)	有效增殖 倍数
7.0	30	6.02b	3.74ab	12.2a	5.29e
	40	6.14ab	3.54b	10.9b	5.47de
	50	6.23ab	3.88a	10.8b	5.56cde
8.0	30	6.16ab	3.67ab	7.5c	5.70bcd
	40	6.34ab	3.76ab	4.9d	6.03ab
	50	6.48a	3.69ab	3.2e	6.27a
9.0	30	6.45ab	2.97c	7.8c	5.95abc
	40	6.57a	3.04c	5.4d	6.22a
	50	6.32ab	3.15c	4.9d	6.01ab

2.6 优化条件下试管苗生长、玻璃化苗比例及移栽

在以上研究结果的基础上,对优化的培养条件进行了整
合,以验证对百合玻璃化苗发生及试管苗生长的影响。在百
合的诱芽阶段采用 MS+0.5 mg/L 6-BA+0.5 mg/L NAA,
在壮苗阶段采用 MS+0.1 mg/L 6-BA+0.5 mg/L NAA,在
生根阶段采用 1/2MS+0.2 mg/L NAA,以上培养基琼脂与蔗
糖分别为 8.0、50 g/L。结果(表 6)表明,试验的 3 个百合品

种均可以以相同的配方进行快繁,苗高、壮实,玻璃化苗比例
均可控制在 5% 以下,移栽的成活率较高(图 1-F),均可达
到 94% 以上。

表 6 激素浓度对比对试管苗生长、增殖及玻璃化的影响					
品种	苗高 (cm)	叶片数 (张)	苗鲜质量 (g)	玻璃化苗 比例(%)	正常试管苗移 栽成活率(%)
Pollyanna	7.54a	7.62ab	0.74b	3.42b	96.4a
Eleganza	6.97a	8.14a	0.81a	2.97c	94.7a
Renoir	7.15a	7.44b	0.76ab	4.87a	95.3a

3 讨论

试管苗玻璃化的发生与试管苗的生产效率密切相关。在
本研究中,试管苗在不太适宜的培养基中玻璃化比例最高可
达到 82.4%,因此,研究百合试管苗玻璃化问题对于指导其
组培生产有重要意义。已有的研究表明,与正常试管苗相比,
玻璃化苗的形态解剖特点异常,蛋白质合成和光合作用能力
低下^[8-9]。本研究的结果表明,玻璃化试管苗干物质含量、蛋
白质含量及叶绿素含量明显偏低,这与前人的报道相一致。
在激素合成方面,有研究表明玻璃化苗内源激素发生明显变
化^[10-11],酸樱桃玻璃化试管苗叶片及茎尖中 IAA、ABA 和乙
烯的含量极显著上升,茎叶极度玻璃化时 CTK 含量显著降
低^[10]。本研究结果表明,正常试管苗与玻璃化苗 IAA 合成能
力差异似乎并不大,但玻璃化苗中的玉米素核苷 ZR 含量显
著低于正常试管苗。另外,与逆境胁迫相关的激素乙烯含量
与 ABA 含量明显上升。在组织培养过程中,6-BA 可促进酸
樱桃组培苗内源 IAA 和 ZR 的生物合成,降低 ABA 的质量分
数^[12-13],而培养基中的细胞分裂素(如 6-BA)容易导致玻
璃化^[14-16]。在本研究中,6-BA 与 NAA 的适当组合大幅降
低玻璃化苗的比例,这可能与培养基中的 6-BA 促进百合内
源 ZR 的合成、降低 ABA 含量相关。有研究表明,添加乙烯
前体物质或乙烯生物合成的抑制剂并不影响玻璃化的发生^[17],
这可能意味着本研究中玻璃化试管苗产生的高浓度乙烯是
环境胁迫的结果,而不是导致试管苗玻璃化的原因。植物培
养基成分、碳源等因素也与试管苗的玻璃化相关^[14,18],
糖与琼脂浓度常与玻璃化苗呈负相关关系。丝石竹在含糖
20 g/L 的培养基中,玻璃化苗比例高达 100%,在含糖 20 g/L
的培养基中玻璃化苗比例降低至 70%^[18],高浓度的蔗糖也有
利于降低石竹玻璃化苗的比例^[2]。在本研究中,玻璃化苗比
例随含糖量与琼脂浓度的升高大致呈下降趋势(表 5),但高
浓度的糖与琼脂影响到了试管苗的长势,试管苗高度降低,
总体而言,有效增殖倍数有一定程度的增加。通过激素组合、
琼脂和蔗糖等条件的优化,本研究中的 3 个百合品种都能获
得有效的增殖与生长,移栽成活率在 94% 以上,验证了百合
试管苗玻璃化发生相关技术措施能有效改善其产量损失,这
为其工厂化生产提供了科学依据。

参考文献:

[1] 张悦,张正海,李爱民,等. 优质观赏百合品种“索邦”愈伤组织
培养研究[J]. 江苏农业科学,2015,43(8):49-51.
[2] 程云清,刘剑锋,刘春明,等. 中国石竹离体快繁与试管苗玻璃化

李玉营,马东方,王书平,等. 孕穗期地下水埋深对小麦产量及品质的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(12):107-110.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.030

孕穗期地下水埋深对小麦产量及品质的影响

李玉营¹, 马东方¹, 王书平¹, 朱建强¹, 高德荣², 方正武¹

(1. 长江大学农学院/主要粮食作物产业化湖北省协同创新中心, 湖北荆州 434025; 2. 江苏里下河地区农业科学研究所, 江苏扬州 225007)

摘要:小麦渍害是长江中下游地区小麦生产中重要致灾害因素之一。以小麦品种鄂麦 23、郑麦 9023 为材料, 设置 7 个地下水埋深处理(0~90 cm)的测筒, 以田间正常水分(田间持水率 70%~80%)处理为对照, 分别对小麦株高、千粒质量、产量、蛋白质含量、湿面筋含量等 8 个指标进行测定, 探讨孕穗期不同地下水埋深对小麦产量及品质的影响。结果表明, 渍害对小麦产量的影响主要是显著降低了穗粒数的形成; 小麦蛋白质含量在地下水埋深为 0~30 cm 时极显著降低; 淀粉含量在地下水埋深为 0、15 cm 时极显著降低, 地下水埋深为 30 cm 时显著降低, 其他水位处理下变化不显著; 小麦湿面筋含量在地下水埋深为 0~45 cm 时极显著降低。因此, 孕穗期渍水(0~60 cm)将导致小麦产量、品质显著降低。生产上可将地下水埋深控制在 75 cm 左右, 以达到小麦高产优质的目的。

关键词:小麦; 孕穗期; 地下水埋深; 产量; 品质

中图分类号: S512.107 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)12-0107-04

长江中下游麦区是我国小麦主产区之一, 在我国小麦生产中起着举足轻重的作用^[1], 但该地区雨水较多, 在小麦生长的关键时期易导致地下水位抬高, 引发渍害, 严重影响小麦产量和品质^[2-3]。关于地下水埋深对小麦产量及品质的影响, 前人已做了不少研究。刘战东等研究表明, 冬小麦需水量表现为越冬前较大, 越冬期最小, 抽穗灌浆期达到最大, 随后

减少^[4]。巴比江等研究表明, 地下水埋深在 100 cm 时水分利用效率最高, 地下水埋深在 150 cm 时, 冬小麦产量最高^[5]。柏菊等研究表明, 地下水埋深低于 60 cm 时对小麦产量影响极显著, 地下水埋深 60~200 cm 时对小麦产量影响不显著, 地下水埋深约 130 cm 左右时小麦产量最高^[6]。方正武等研究表明, 灌浆期湿害对小麦产量的影响主要表现为千粒质量和穗粒数的降低, 与有效穗数不相关^[7]。王小燕等研究表明, 小麦孕穗期渍水会导致株高、干物质积累量降低, 最终导致产量降低^[8]。李金才等研究表明, 小麦孕穗期湿害会导致籽粒灌浆期缩短, 籽粒质量降低, 单穗实粒数和千粒质量下降, 最终导致产量降低^[9]。邵孝候等研究表明, 小麦拔节孕穗期受渍会使穗粒数明显降低, 导致干物质和产量降低, 且蛋白质含量有较大降低^[2]。王月福等研究表明, 土壤水分过多

收稿日期: 2016-09-22

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(编号: 201203032、201303008); 湖北省科技支撑计划(编号: 2015BBA152)。

作者简介: 李玉营(1993—), 男, 安徽阜阳人, 硕士研究生, 主要从事作物遗传育种研究。E-mail: liyuying930421@163.com。

通信作者: 方正武, 博士, 副教授, 主要从事小麦遗传育种研究。E-mail: fangzhengwu88@163.com。

研究[J]. 广西植物, 2012, 32(4): 531-535.

[3] 周春华, 尤超, 陈凝华. 百合组织培养研究进展[J]. 北方园艺, 2013, 37(4): 193-195.

[4] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 164-260.

[5] 舒展, 张晓东, 陈娟, 等. 叶绿素含量测定的简化[J]. 植物生理学通讯, 2010, 46(4): 399-402.

[6] 年悦, 王楠, 崔震海, 等. 北方粳稻灌浆期水分胁迫条件下叶片内源激素变化的研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(21): 33-37.

[7] 程云清, 赵桂兰, 刘剑锋, 等. 乙烯抑制剂 AVG 和促进剂 ACC 对大豆幼苗叶片光合特征的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2010, 36(4): 419-426.

[8] 蔡祖国, 徐小彪, 周会萍. 植物组织培养中的玻璃化现象及其预防[J]. 生物技术通讯, 2005, 16(3): 353-355.

[9] 吕敏, 夏秀英, 徐品三, 等. 蓝莓玻璃化试管苗的显微结构及生理生化特性变化[J]. 植物生理学报, 2014, 50(4): 453-460.

[10] 常有宏, 张玉娇, 李晓刚, 等. ‘黄冠’梨正常试管苗与玻璃化苗生理生化及超微结构的比较研究[J]. 园艺学报, 2011, 38(2): 225-232.

[11] 牛自勉, 王贤萍, 戴桂林. 苹果砧木玻璃化过程中内源激素的含量变化[J]. 华北农学报, 1995, 10(3): 15-19.

[12] 高红兵, 唐晓杰, 孟庆繁. 高浓度 6-BA 诱导酸樱桃苗的玻璃化苗内源激素含量变化[J]. 林业科学研究, 2006, 19(4): 488-490.

[13] 高红兵, 王朋飞, 刁绍启, 等. 6-BA 对酸樱桃组培苗 4 种内源激素质量分数动态变化的影响[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(7): 46-48.

[14] 王爱芝, 沈海龙, 张鹏, 等. 花椒组织培养中玻璃化现象的发生与防治[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(10): 18-22.

[15] 牛自勉, 王贤萍, 许月明. 苹果砧木茎尖培养玻璃化与内源激素的关系[J]. 园艺学报, 1994, 21(4): 396-399.

[16] 李瑶, 王利华, 时鸣明, 等. 影响香石竹试管苗玻璃化的因素[J]. 植物生理学通报, 1997, 33(4): 256-258.

[17] Kevers C, Gaspar T. Vitrification of carnation *in vitro*: changes in ethylene production, ACC level and capacity to convert ACC to ethylene[J]. Plant Cell Tissue and Organ Culture, 1985, 4(3): 215-223.

[18] 张燕玲, 姚军, 王润珍, 等. 满天星组织培养中克服玻璃化现象的初探[J]. 广西植物研究, 1997, 17(3): 246-248.