

网络出版时间:2015-06-30 13:47 DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2015.08.011
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150630.1347.011.html>

无核葡萄胚挽救试管苗驯化移栽体系优化

王 刚,李桂荣,王跃进,张朝红

(西北农林科技大学 园艺学院,旱区作物逆境生物学国家重点实验室,
农业部西北地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室,陕西 杨凌 712100)

[摘 要] **【目的】**研究炼苗移栽过程中生根粉溶液浸根时间、营养液处理、开始通风时间及遮阴处理对无核葡萄胚挽救苗炼苗及移栽的影响,探索胚挽救试管苗炼苗移栽技术。**【方法】**以 2011 年与 2012 年无核葡萄胚挽救杂交育种后代试管苗为材料,研究生根粉溶液浸根时间、炼苗过程中是否添加营养液、揭开保湿罩时间以及移栽大田过程中遮阴对胚挽救苗炼苗及移栽的影响。**【结果】**1.0 mg/L 生根粉溶液浸泡根系 3 min 时植株各项生理指标较好且成活率最高;移栽过程中添加 1/8 MS 营养液一定程度上抑制了植株的长势;炼苗初期保湿时间为 4 d 时炼苗成活率最高;移栽至温室或大田中时一定程度的遮阴处理有利于移栽成活率的提高与植株的生长发育。**【结论】**无核葡萄胚挽救试管苗炼苗前生根粉浸根处理 3 min、炼苗时添加 1/8 MS 营养液、炼苗后 4 d 开始通风以及移栽时进行遮阴能提高胚挽救试管苗的生物积累量和成活率。

[关键词] 葡萄;试管苗;炼苗;移栽;胚挽救

[中图分类号] S663.103.8 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2015)08-0153-06

Optimization of acclimatization system for embryo rescue tube plantlets of seedless grape

WANG Gang, LI Gui-rong, WANG Yue-jin, ZHANG Chao-hong

(College of Horticulture, Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (Northwest Region),
Ministry of Agriculture, P. R. China, Key Laboratory of Crop Stress Biology in
Arid Areas, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** Effects of ABT soak time, nutrition, lid off period and shade treatment on embryo rescue seedling and transplantation were studied to improve the embryo rescue seedling transplant technique. **【Method】** The hybrid progeny tube plantlets of seedless grape through embryo rescue in 2011 and 2012 were selected to study the effects of ABT soak time, nutrition, lid off period and shade treatment on growth and survival rate of embryo rescue seedling in domestication. **【Result】** The survival rate and growth of plants were best with 1.0 mg/L ABT solution soaking for 3 min. The growth of tube plantlets was inhibited after irrigating 1/8 MS nutrient solution. Survival rate of domestication was highest with lid off 4 days after hardening. Shade treatment after transplant promoted growth and improved survival rate. **【Conclusion】** Bioaccumulation and survival rate of seedless grape embryo rescue tube plantlets were highest when soaking root in ABT for 3 min, adding 1/8 MS nutrient solution during hardening, and starting ventilation 4 d after hardening with shade treatment.

[收稿日期] 2014-01-01
[基金项目] 国家自然科学基金项目(31372023);国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-30-yz-7);陕西省农业攻关项目(2013K01-28)
[作者简介] 王 刚(1989—),男,山西应县人,在读硕士,主要从事鲜食无核葡萄胚挽救育种工作。E-mail: wanggang827@126.com
[通信作者] 张朝红(1970—),男,陕西丹凤人,副教授,硕士生导师,主要从事果树种质资源与生物技术育种研究。
E-mail: zhangchaohong@nwsuaf.edu.cn

Key words: *Vitis*; tube plantlets; domestication; transplant; embryo rescue

胚挽救技术自应用到无核葡萄育种以来一直备受关注,其有效地解决了无核葡萄育种中母本只能为有核品种的难题,极大地提高了后代无核的比率,加速了优质无核品种的选育进程,尤其是随着葡萄无核分子标记的引入,育种初期便能有效地识别无核种质,更进一步提高了葡萄育种效率^[1-4]。然而胚挽救试管苗在炼苗移栽过程中成活率较低的问题一直是无核葡萄胚挽救育种研究亟待解决的问题^[5]。

试管苗由于长期在恒温、高湿、弱光、营养丰富及水分充足的环境中生长发育,其生理特性和组织结构与大气环境中生长的植株有较大差别,如叶表面角质层较薄,气孔开度大,栅栏组织发育不完善,细胞间隙较大,且气孔无开闭功能,因此炼苗移栽时易过度失水萎蔫,甚至干枯死亡^[6-7]。本研究以 2011 年与 2012 年胚挽救杂交育种后代试管苗为材料,对移栽过程中生根粉溶液浸根时间、是否添加营养液、开始通风时间以及移栽大田过程中是否遮阴 4 个方面进行了研究,以确定最佳的炼苗移栽方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试无核葡萄材料为 2011 年与 2012 年胚挽救杂交育种后代试管苗,杂交母本分别为火焰无核(Flame Seedless)、底来特(Delight)和赫什无核(Heshi Seedless),试管苗株高 6~8 cm,具有 5~8 片叶和 4~6 条根。试管苗在炼苗前 1 周增大光照强度,炼苗前 1 d 将瓶口的封孔膜适当揭开一部分,使其适应大气中的气体环境,为防止植株失水过多,将炼苗室内的湿度调至 90%,温度调至 26 ℃。

试管苗在移栽前长期处在与室外隔绝的三角瓶内部环境中,瓶内的湿度及空气组成与外界大气有一定的差别。当移入营养钵时,可能因外界环境湿度较小导致叶片失水太快干枯而死,因此在移栽时将一个保湿杯罩在组培苗上方,设法使其保持较高湿度,之后逐渐增大植株与外界的接触面积,最终完全去除保湿罩。

炼苗及移栽过程中所用材料:品氏泥炭(Pindstrup Plus Peat Substrate, 300 L)、MS 粉(Phyto Technology Laboratories)、珍珠岩、蛭石,育苗营养钵(10 cm×10 cm),乙醇(分析纯),丙酮(分析纯)。ABT4 号生根粉配制终质量浓度为 1.0 mg/L 溶液。移栽所用基质由泥炭、珍珠岩与蛭石

按体积比 1:1:1 混合而成,每升基质加 200 mL 的自来水,混合均匀后装入自封袋密封,高压灭菌 50 min。将配制好的 1×MS 溶液高温灭菌 30 min 后,用蒸馏水稀释成 1/8 的 MS 备用。

1.2 试验方法

1.2.1 生根粉浸根时间对试管苗的影响 移入营养钵前将试管苗根部浸泡在配制的 1.0 mg/L 生根粉溶液中浸泡 0(仅用蒸馏水浸泡),1 和 3 min,分别处理 42 株、172 株和 49 株。待完全去除保湿罩 3 周后,每个处理选取 3 株统计其株高、节数及茎叶和根的干鲜质量,重复 3 次取平均值。去除保湿罩 8 周后统计最终植株的成活率,评估生根粉浸根时间对试管苗发育及移栽成活率的影响。

成活率=成活株数/炼苗株数×100%。

1.2.2 营养液处理对试管苗炼苗期间营养生长的影响 试管苗移入营养钵后分别设加 1/8 MS 营养液处理与不加任何营养物质处理(对照),加营养液的处理共计 76 株,不加营养液的处理共计 91 株,待完全去除保湿罩后,每个处理选择 5 株连续 7 周测量株高与节数,评估 1/8 MS 营养液对试管苗炼苗过程中植株生长发育的影响。

1.2.3 开始通风时间对炼苗成活率的影响 本试验分别从移栽后第 4,7,10 天开始逐渐揭开保湿罩使其通风透气,并增大植株与大气环境的接触面积,待完全揭开保湿罩后 1 周统计炼苗成活率,评估开始通风时间对炼苗成活率的影响。

1.2.4 遮阴对试管苗叶片叶绿素含量及成活率的影响 幼苗在炼苗室中生长 8 周,待茎部开始木质化后移去营养钵直接定植到温室或大田。试验设遮阴与不遮阴(对照)2 个处理,每个处理选取 3 个具有代表性的植株,分别在移入温室当天(0 d)与移栽后第 7 天在同一品系上采集从上往下第 3~4 节上的健康叶片,测定其叶绿素含量。叶绿素含量测定采用丙酮-乙醇直接浸提法^[8]。移栽 10 周后统计遮阴与不遮阴条件下移栽成活株数并计算成活率。

2 结果与分析

2.1 生根粉溶液浸泡时间对试管苗的影响

由表 1 可见,生根粉溶液浸根时间对试管苗根系干质量的影响明显,生根粉溶液浸泡 3 min 时对根干质量有显著促进作用。生根粉溶液浸根处理能显著提高试管苗根系的生物量,增强根系的吸水及

养分的能力,有效提高炼苗移栽成活率。随生根粉溶液浸根时间延长,株高、节数、茎叶鲜质量、茎叶干质量、根鲜质量、根干质量均呈增大趋势,但除根干质量在浸泡 3 min 时有显著促进作用外,其他均差

异不显著。表明生根粉浸根时间越长,越有利于无核葡萄胚挽救试管苗炼苗过程中生物量的增加和成活率的提高。

表 1 生根粉浸根时间对无核葡萄胚挽救试管苗生长发育及炼苗成活率的影响

Table 1 Effects of ABT soak time on growth and surviving rate of seedless grape embryo rescue tube plantlets

浸根 时间/min Soak time	生长发育指标 Growth and development index						移栽株数 No. of plants	成活株数 No. of survival	成活率/% Survival rate
	株高/cm Plant height	节数 No. of internode	茎叶鲜质量/ (g·株 ⁻¹) Fresh weight of stem	茎叶干质量/ (g·株 ⁻¹) Dry weight of stem	根鲜质量/ (g·株 ⁻¹) Fresh weight of root	根干质量/ (g·株 ⁻¹) Dry weight of root			
0	11.33±1.12	7.33±1.00	0.73±0.12	0.111±0.005	0.42±0.02	0.026±0.003	42	37	88.10
1	11.60±0.72	8.33±0.58	0.78±0.09	0.119±0.021	0.49±0.15	0.026±0.002	172	150	87.21
3	11.87±0.59	8.33±0.58	0.79±0.08	0.115±0.009	0.53±0.05	0.031±0.005*	49	45	91.84

注:标*的为 Duncan 新复极差法检验结果差异显著。
Note: * means significantly different according to Duncan multiple range test.

2.2 营养液对炼苗期间试管苗营养生长的影响

由图 1 可以看出,添加营养液的试管苗(处理)无论是株高还是节数均低于不加营养液的试管苗(对照),这一定程度上反映出添加营养液反而不利于试管苗营养生长。一元线性回归分析显示,添加营养液的株高回归线斜率(斜率:2.362 92;截距:3.851 73)小于对照(斜率:5.323 02;截距:

1.022 43),而添加营养液试管苗的节数回归线斜率(斜率:1.609 48;截距:2.969 99)却高于对照(斜率:1.515 53;截距:4.026 57),表明添加 1/8 MS 营养液抑制株高的生长,且增加节间数量,有利于试管苗的壮苗。添加营养液对试管苗成活率无明显影响,对照组成活率为 86.81%,加营养液的成活率为 86.84%。

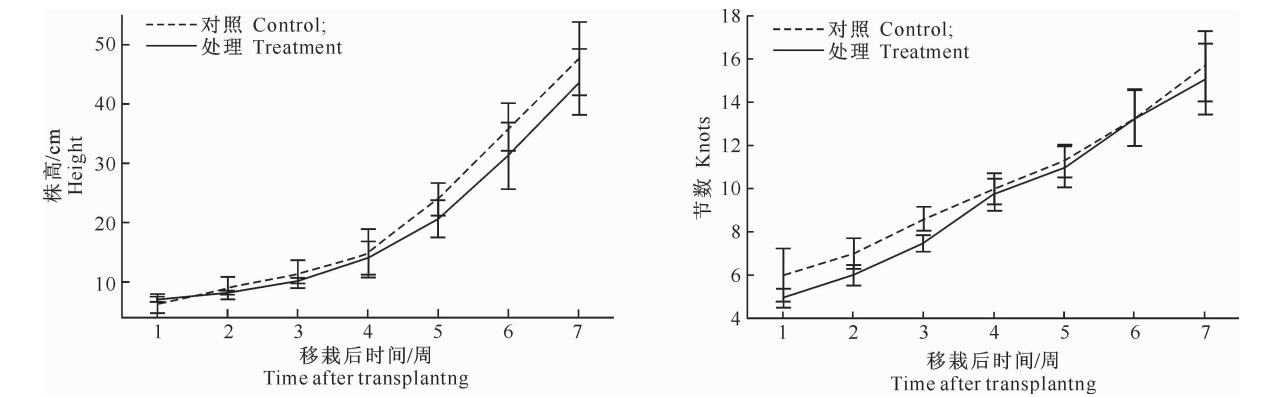


图 1 营养液对无核葡萄胚挽救试管苗长势的影响

Fig. 1 Effects of nutrition on growth of seedless grape embryo rescue tube plantlets

2.3 开始通风时间对炼苗成活率的影响

试管苗生长在高湿封闭的环境中,使植物角质膜变薄,栅栏组织细胞层数减少而体积增大,海绵组织相对较多,细胞间隙较大,不利于组织对水分的保持^[9],因此炼苗之时需保持较高的湿度,以防植株失

水过快而萎蔫死亡。由表 2 可以看出,开始通风时间越早,试管苗成活率越高,导致这种现象的一个重要原因是长期高湿环境会增加病原菌的滋生,且试管苗此时角质膜较薄容易受感染^[10],故通风时间越晚其发病越严重,炼苗成活率也越低。

表 2 开始通风时间对无核葡萄胚挽救试管苗成活率的影响

Table 2 Effects of lid off time on survival rate of seedless grape embryo rescue tube plantlets

开始通风时间/d Lid off time	移栽数 No. of plants	成活数 No. of survival	成活率/% Survival rate
10	206	107	51.94
7	264	181	68.56
4	263	234	88.97

2.4 遮阴对试管苗移栽叶片叶绿素含量及成活率的影响

由表 3 可以看出,遮阴条件下,移栽后 0 d 叶绿素 a 的含量低于 7 d 后的含量;不遮阴条件下,移栽后 0 d 叶绿素 a 的含量要高于 7 d 后的含量;移栽 7 d 后叶绿素 b 含量较移栽 0 d 时有明显的上升,移栽

0 d 时遮阴处理的叶绿素 b 含量低于不遮阴处理的含量,移栽 7 d 后遮阴条件下的叶绿素 b 含量要明显高于不遮阴的处理;移栽 7 d 后叶绿素 a/b 低于移栽 0 d,因此遮阴处理可以避免试管苗叶片叶绿体灼伤。

表 3 遮阴对无核葡萄胚挽救试管苗叶绿素含量及成活率的影响

Table 3 Effects of shade treatment on content of chlorophyll and surviving rate of seedless grape embryo rescue tube plantlets

处理 Treatment	0 d			7 d			移栽数 No. of plants	成活数 No. of survival	成活率/% Survival rate
	叶绿素 a/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) Chlorophyll a	叶绿素 b/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) Chlorophyll b	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b	叶绿素 a/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) Chlorophyll a	叶绿素 b/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) Chlorophyll b	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b			
对照 Control	66.28±5.12	17.77±0.72	3.730	63.62±1.36	19.93±0.54	3.184	156	47	69.87
遮阴 Shaded	65.83±2.19	17.03±1.39	3.866	74.71±9.68	23.48±4.59	3.181	227	192	84.58

由表 3 可见,遮阴条件下的移栽成活率明显高于不遮阴条件。这主要是由于不遮阴条件下植株的蒸腾速率大于遮阴条件下,且在移栽过程中根系的损伤导致植株因水分无法及时供应而过度失水。

3 讨论

3.1 生根粉浸泡时间对炼苗过程中生根及成活的影响

根系是植物体的重要组成部分,具有固定、吸收水分养分、合成和贮藏营养物质的功能^[11],发达的根系对植物正常的生长发育及适应不同环境具有重要作用。生根粉的主要成分为生长素类生长调节剂,而生长素能够调控侧根根原基的形成,能够促进植物侧根和不定根的发生和生长,并且侧根的发生与伸长都直接或间接依赖生长素的调控作用^[12]。

本研究结果表明,0~3 min 生根粉浸泡处理,浸泡的时间越长试管苗的成活率越高,生根效果越好。前人对甘蔗^[13]、毛白杨^[14]的研究也得出相同的结论。生长素诱导植物生长只有在特定时间内才有效果,超过特定的时间对植株便会产生抑制作用,而在此之前则一直是正效应状态^[15]。本研究显示,试管苗根系在受生根粉溶液诱导 3 min 时仍处于促进生根的时间段,因此 3 min 浸泡处理的根系干质量差异显著。因浸泡 3 min 处理的植株生根较好,且发达的根系有助于植株生长的发育,其株高、节数、茎叶鲜质量以及根系干鲜质量较对照、生根粉溶液浸根 1 min 处理有一定提高。

3.2 营养液对炼苗期间试管苗营养生长的影响

本研究表明,添加 1/8 MS 营养液无助于长势的提高,一定程度上还抑制了植株的长势。李桂

荣^[16]研究发现,1/8 MS 营养液处理试管苗的成活率最高,不加营养液的对照成活率最低,唐冬梅也得出类似的研究结果^[17]。然而本研究发现,1/8 MS 营养液与对照处理移栽成活率方面无差异。这是因为,在试管苗移栽初期因移栽过程中根系受损严重,根系吸收水分与营养物质的能力弱,易出现失水症状;再者因其长期生长在弱光、高湿与封闭的环境中,根系木质化程度低^[9],使试管苗根系处在一个相对高盐低渗透势的环境中,过多盐离子干扰了植物体根系的离子动态平衡^[12],根系通过抑制和诱导多种酶系统来影响植物的新陈代谢^[18],导致植株根系受到干旱胁迫^[19],因此生长速度较不加营养液的植株慢。后期因基质中的营养物质被不断消耗,部分植株生长至第 8 周到第 9 周时出现缺素症状,此时若向基质中添加营养物质,则有利于植株的生长。

3.3 开始通风时间对炼苗成活率的影响

本研究结果显示,开始揭盖时间越早越有利于炼苗成活率的提高。炼苗是一个使试管苗提前适应环境的过程,植物在这个阶段角质膜不断加厚,栅栏组织细胞层数逐渐增加而其细胞体积相对缩小,同时其细胞间隙也相应缩小^[9]。炼苗之时加保湿盖使植株处在一个高湿、密闭且多菌的环境,这一方面使其拥有一个相对湿度较高的环境,以免其失水过度,但同时这样的环境极易产生次生病害,较早揭开保湿盖可有效降低植株所处环境的湿度,减小病原菌的萌发速率及其危害^[20]。说明较早的经常性通风能使植株较早且更快地接触外界环境,加速炼苗进程。

3.4 遮阴对胚挽救试管苗移栽的影响

叶绿素 a 是光合作用的中心色素,它起着光能

捕捉和电荷分离的双重作用,叶绿素 b 则是天线色素,负责光能吸收和传递,因此叶片内叶绿素 a 含量的多少直接影响植株的生长发育,同时也反映出其对环境的适应程度。植物受到强光照射并同时存在环境胁迫时,叶绿体内光合作用固定 CO_2 和吸收光能的平衡会被打破,导致光能过剩积累^[21]。光能过剩所激发的电子通过 Mechler 反应传递给 O_2 形成超氧阴离子自由基($\text{O}_2 \cdot$),在超氧化物歧化酶作用下生成 H_2O_2 , H_2O_2 与 $\text{O}_2 \cdot$ 反应生成 $\cdot\text{OH}$,当活性氧积累到一定程度后,由其引起的膜脂过氧化会破坏叶绿体结构,最终使叶片失绿,严重时甚至坏死^[22]。

本研究发现,遮阴条件下植株的叶绿素含量及成活率较对照处理有明显提高。前人研究发现,弱光条件下总叶绿素含量增加,其中叶绿素 b 含量增加较多^[23],叶绿素 a/b 比值下降^[24],这是植物对弱光环境的一种适应性反应^[25]。本研究中,叶绿素 a/b 移栽后 0 d 高于 7 d,而高光强下植株叶绿素 a/b 值会逐渐降低^[23],这表明植株先前所处环境的光照强度小于温室中遮阴条件下的光照强度,说明自然条件下的光照强度要远高于炼苗所处环境的光强。加之移栽过程中出现断根等现象,根系吸收水分及营养物质能力较弱,导致植株吸收水分速率不及蒸腾速率而失水过度甚至死亡。因此移栽到大田的过程需要在阴天进行,同时加遮阳网。

[参考文献]

- [1] Cain D W, Emershad R L, Tarallo R E. *In-ovulo* embryo culture and seedling development of seeded and seedless grapes (*Vitisvinifera* L.) [J]. *Vitis*, 1983, 22: 9-14.
- [2] Gray D J, Fisher L C, Mortensen J A, et al. Comparison of methodologies for *in ovulo* embryo rescue of seedless grapes [J]. *Hort Sci*, 1987, 22: 1334-1335.
- [3] Loomis N H, Weinberger J H. Inheritance studies of seedlessness in grapes [J]. *J Amer Soc Hort Sci*, 1979, 104: 181-184.
- [4] Striem M J, Hayyim G B, Roy P S. Identifying molecular genetic markers associated with seedlessness in grape [J]. *J Amer Soc Hort Sci*, 1996, 121(5): 758-763.
- [5] 潘学军,王跃进,张剑侠,等. 葡萄胚挽救苗移栽技术研究 [J]. *西北植物学报*, 2004, 24(6): 1077-1082.
Pan X J, Wang Y J, Zhang J X, et al. Study on transplanting techniques of grape seedlings from embryo rescue [J]. *Acta Bot Boreali-Occidentalia Sinica*, 2004, 24(6): 1077-1082. (in Chinese)
- [6] 柏新富,张 萍,蒋小满,等. 一品红组培苗移栽期叶片生理变化与解剖变化 [J]. *林业科学*, 2005, 41(6): 170-173.
Bai X F, Zhang P, Jiang X M, et al. Changes of leaf physiology and anatomy of poinsettia plantlet in transplantation [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(6): 170-173. (in Chinese)
- [7] 曹孜义,季 唯,强维亚,等. 葡萄试管苗在移栽过程中叶解剖和根系活力的变化 [J]. *果树学报*, 1992, 92(2): 81-86.
Cao Z Y, Ji W, Qiang W Y, et al. Changes of leaf anatomy and root activity of grape plantlets *in vitro* during transfer acclimatization [J]. *Journal of Fruit Science*, 1992, 92(2): 81-86. (in Chinese)
- [8] 高俊凤. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
Gao J F. The experimental guide for plant physiology [M]. Beijing: China Higher Education Press, 2006. (in Chinese)
- [9] Chartzoulakis K, Patskas A, Kofidis G, et al. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two acocado cultivars [J]. *Hort Sci*, 2002, 95: 39-50.
- [10] Martin M P, Junjper P E. Ultrastructure of lesions produced by cercosporabeticola in leaves of *Beta vulgaris* [J]. *Physiological Plant Pathology*, 1979, 15: 13-26.
- [11] Hodge A, Berta G, Doussan C, et al. Plant root growth, architecture and function [J]. *Plant Soil*, 2009, 321: 153-187.
- [12] Péret B, Rybel B D, Casimiro I, et al. *Arabidopsis* lateral root development: An emerging story [J]. *Trends Plant Sci*, 2009, 14: 399-408.
- [13] 秦昌鲜,莫周美,唐君海,等. 生根粉对甘蔗组培苗移栽的影响 [J]. *中国热带农业*, 2013(1): 50-51.
Qin C X, Mo Z M, Tang J H, et al. ABT impact on sugarcane plantlets transplanted [J]. *China Tropical Agriculture*, 2013(1): 50-51. (in Chinese)
- [14] 张红梅,孙 毅,杜建忠,等. 超声波、生长素和浸泡时长对毛白杨插穗生根率的影响 [J]. *山西农业科学*, 2010, 38(3): 34-38.
Zhang H M, Sun Y, Du J Z, et al. Effects of ultrasonication, auxins and soaking time to the rooting rate of *Populus tomentosa* cuttings [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2010, 38(3): 34-38. (in Chinese)
- [15] Bialek K, Meudt W J, Cohen J D. Indole-3-acetic acid (IAA) and IAA conjugates applied to bean stem sections [J]. *Plant Physiology*, 1983, 73: 130-134.
- [16] 李桂荣. 无核葡萄胚胎发育的生理特性和胚挽救育种技术的研究 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
Li G R. Studies on physiological characteristics of embryo development and breeding techniques on embryo rescue in seedless grapes [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2013. (in Chinese)
- [17] 唐冬梅. 无核葡萄杂交胚挽救新种质创建与技术完善 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
Tang D M. Novel germplasm innovation of seedless grapes by embryo rescue and technique improvement [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2013. (in Chinese)
- [18] Greenway H, Munns R. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes [J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1980, 23: 149-190.

[19] 李建超,王学臣. 水分胁迫下细胞延伸生长与细胞膨压和细胞壁特性的关系 [J]. 植物生理学通讯,1998,34(3):161-167.
Li J C,Wang X C. The relationship between plant cell elongation and wall properties under water deficits [J]. Plant Physiology Journal,1998,34(3):161-167. (in Chinese)

[20] Brown G E. Factors affecting postharvest development of colletotrichum gloeosporioides in *Citrus* fruits [J]. Phytopathology,1974,65:404-409.

[21] 杨广东,朱祝军,计玉妹. 不同光强和缺镁胁迫对黄瓜叶片叶绿素荧光特性和活性氧产生的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(1):115-118.
Yang G D,Zhu Z J, Ji Y M. Effect of light intensity and magnesium deficiency on chlorophyll fluorescence and active oxygen in cucumber leaves [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2002,8(1):115-118. (in Chinese)

[22] Cakmak I. Activities of ascorbate-dependent H_2O_2 -scavenging enzymes and leaf chlorosis are enhanced in magnesium- and potassium-deficient leaves, but not in phosphorus-deficient leaves [J]. J Exp Bot,1994,45:1259-1266.

[23] 李 伟,黄金丽,眭晓雷,等. 黄瓜幼苗光合及荧光特性对弱光的响应 [J]. 园艺学报,2008,35(1):119-122.
Li W,Huang J L,Sui X L, et al. Effects of low light on photosynthetic and fluorescent characteristics of seedlings of *Cucumis sativus* [J]. Acta Horticulturae Sinica,2008,35(1):119-122. (in Chinese)

[24] Bailey S,Walters R G,Jansson S, et al. Acclimation of *Arabidopsis thaliana* to the light environment: The existence of separate low light and high light responses [J]. Planta,2000,213:794-801.

[25] 眭晓雷,毛胜利,王立浩,等. 弱光条件下辣椒幼苗叶片的气体交换和叶绿素荧光特性 [J]. 园艺学报,2007,34(3):615-622.
Sui X L,Mao S L,Wang L H, et al. Effect of low light intensity of gas exchange and chlorophyll fluorescence characteristics of capsicum seedlings [J]. Acta Horticulturae Sinica,2007,34(3):615-622. (in Chinese)

(上接第 152 页)

[18] 杨洪强,范伟国. 苹果根系构型及其调控研究进展 [J]. 园艺学报,2012,39(9):1673-1678.
Yang H Q,Fan W G. Advances in research of apple root system architecture and it's regulation [J]. Acta Horticulturae Sinica,2012,39(9):1673-1678. (in Chinese)

[19] 李宪利,高东升,耿 莉. 花期根剪对苹果幼树叶营养及光合特性的影响 [J]. 山东农业大学学报,1996,27(3):293-296.
Li X L,Gao D S,Gen L. Effect of root pruning in flower on nutrition and photosynthetic characteristics of leaves in apple [J]. Journal of Shangdong Agricultural University,1996,27(3):293-296. (in Chinese)

[20] 杨守军,邢尚军. 断根对冬枣营养生长的影响 [J]. 园艺学报,2009,36(5):625-630.
Yang S J,Xing S J. Effect of root cutting on vegetative growth of *Zizyphus jujuba* mill 'Dongzao' trees [J]. Acta Horticulturae Sinica,2009,36(5):625-630. (in Chinese)

[21] 张立新,李生秀. 长期水分胁迫下氮、钾对夏玉米叶片光合特性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(1):82-90.
Zhang L X,Li S X. Effects of nitrogen and potassium on photosynthetic characteristics in summer maize leaves under long-term water stress [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2009,15(1):82-90. (in Chinese)

[22] 王慧娟,孟月娥,赵秀山. 不同施肥水平对茶条槭生长及光合生理特性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(5):1023-1026.
Wang H J,Meng Y E,Zhao X S. Effects of different fertilization levels on growth,photosynthesis and physiological characteristics of *Acer gimala* [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2008,14(5):1023-1026. (in Chinese)