

网络出版时间:2014-09-10 18:19

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.10.063

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.10.063.html>

牡丹试管苗与扦插苗生根过程中相关酶活性的变化

王 政, 王照路, 申 萍, 王雪玲, 何松林

(河南农业大学 林学院, 河南 郑州 450002)

【摘 要】 【目的】研究牡丹品种‘凤丹白’无根试管苗和扦插苗生根过程中过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)和吲哚乙酸氧化酶(IAAO)活性的变化,探讨酶活性变化与牡丹生根的关系。**【方法】**以牡丹品种‘凤丹白’无根试管苗和扦插苗为材料,测定生根过程中 POD、PPO 和 IAAO 酶活性变化。**【结果】**在生根过程中,牡丹试管苗 POD 活性呈“下降—上升—下降—上升”趋势,PPO 和 IAAO 活性均呈“上升—下降—上升”趋势。而扦插苗 POD 和 PPO 活性均呈“上升—下降—上升”趋势,IAAO 活性呈“下降—上升—下降—上升”趋势。试管苗 POD 活性在第 3 天降到最低值,第 1 个峰值出现时间较扦插苗推迟 1 d;PPO 活性第 1 个峰值较扦插苗提前 2 d,低值推迟 1 d;IAAO 活性第 1 个峰值和低值出现时间均较扦插苗提前 2 d。**【结论】**与试管苗相比,牡丹扦插苗生根过程中 POD、PPO 及 IAAO 酶活性的极值出现时间均推迟,这可能与扦插苗生根时间较晚有关。

【关键词】 牡丹;试管苗;扦插苗;生根;酶活性

【中图分类号】 S682.11

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)10-0193-06

Change in activities of related enzymes during rooting of peony shoots *in vitro* and cutting seedlings

WANG Zheng, WANG Zhao-lu, SHEN Ping, WANG Xue-ling, HE Song-lin

(College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China)

Abstract: 【Objective】 The changes in POD, PPO and IAAO activities during rooting of shoots *in vitro* and cutting seedlings of *Paeonia suffruticosa* ‘Fengdanbai’ were studied to explore the relationship of changes in enzyme activities and rooting of seedlings. **【Method】** Shoots *in vitro* and cutting seedlings of *Paeonia suffruticosa* variety ‘Fengdanbai’ were used as materials to measure the changes in POD, PPO and IAAO activities during rooting process. **【Result】** POD activity of shoots *in vitro* had a decrease—increase—decrease—increase trend while activities of PPO and IAAO had an increase—decrease—increase trend. POD and PPO activities of cutting seedlings showed a tendency of increase—decrease—increase, while IAAO activity had a trend of decrease—increase—decrease—increase. POD activity of shoots *in vitro* decreased to the minimum in the 3rd day, and the first peak was 1 d later than that of cutting seedlings. The first peak of PPO activity of shoots *in vitro* was 2 d earlier than that of cutting seedlings, while the minimum was 1 d later. The first peak and minimum values of IAAO activity of shoots *in vitro* were all 2 d earlier than those of cutting seedlings. **【Conclusion】** Compared with shoots *in vitro*, the extreme values of POD, PPO and IAAO activities of cutting seedlings appeared later, which could be related to the later roo-

【收稿日期】 2013-10-23

【基金项目】 国家自然科学基金项目(31272189);国家农业科技成果转化资金项目(2012D0001018);郑州市科技创新团队项目(10CXTD147)

【作者简介】 王 政(1980—),男,河南南阳人,讲师,博士,主要从事园林植物生物技术研究。E-mail:wzhengt@163.com

【通信作者】 何松林(1965—),男,河南淮阳人,教授,博士,博士生导师,主要从事园林植物生物技术研究。

E-mail:hsl213@163.com

ting time of cutting seedlings.

Key words: *Paeonia suffruticosa*; shoots *in vitro*; cutting seedlings; root; enzyme activity

牡丹(*Paeonia suffruticosa* Andr.)别名木芍药、富贵花、鼠姑,为芍药科芍药属宿根木本花卉,是我国著名的观赏植物与药用植物^[1]。其野生种主要分布于陕西、河南、四川、西藏等地,花姿典雅,雍容华贵,被誉为“花中之王”,是我国的传统名花,常采用播种、分株和嫁接等传统方法繁殖。但在实际生产中,传统繁殖方法的繁殖系数低,生长速度慢,难以满足牡丹苗木产业化和商品化生产的需要。而组织培养技术能大大缩短牡丹的繁殖周期,繁殖系数高,利于大规模生产。但牡丹试管苗根系发生困难、根系质量不高成为生根培养的主要瓶颈之一^[2]。

无根试管苗与扦插苗生根过程相似,在其不定根的形成过程中,均伴随着插穗或试管苗茎基部组织进行细胞脱分化、根原基形成以及酶活性变化等一系列生理活动。有研究表明,牡丹试管苗由于根系由基部愈伤组织形成且无维管束与茎中木质部连接,导致其根系质量不高且成活率低^[3];扦插苗不定根中的维管束与插穗木质部直接相连,根系质量好且移栽成活率较高。因此,研究牡丹试管苗和扦插苗生根过程中生理指标的变化规律具有重要意义。研究表明,过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)和吲哚乙酸氧化酶(IAAO)等酶活性的变化与植物生根过程密切相关。PPO 对苹果^[4-5]、梨^[5]插穗和葡萄^[6]试管苗生根有影响;POD 与乐昌含笑^[7]试管苗生根过程中根原基的形成和发育密切相关,与垂丝海棠、楸子^[8]插穗生根过程中愈伤组织的形成有关;在山杏^[9]插穗生根过程中 IAAO 活性与不定根的形成有关。目前,有关牡丹生根过程中 POD、PPO、IAAO 等酶活性的研究,主要集中在试管苗生根过程中的变化规律^[2-3,10-11]方面,而对扦插苗和试管苗生根前后酶活性变化情况的研究尚未见报道。因此,本试验拟通过对比大田扦插苗和组培试管苗生根过程中上述 3 种酶活性的变化规律,探讨酶活性变化与牡丹生根的关系,分析牡丹试管苗生根难的可能内在原因,以期为提高牡丹试管苗生根率提供理论基础和技术依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

于 2013-01-25,在洛阳土桥花木种苗有限公司牡丹苗木基地采集牡丹品种‘凤丹白’鳞芽,取样植

株生长状况良好,无病虫害,常规田间管理。将所采牡丹鳞芽灭菌后接种到含 MS+6-BA 0.5 mg/L+NAA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+琼脂 7 g/L (pH=5.8)的固体培养基上,在常规条件下[温度(24±1)℃,光照强度 40 μmol/(m²·s),光照时间 12 h/d]进行诱导培养,培养 30 d 后获得供试试管苗。

牡丹品种‘凤丹白’插穗采自河南农业大学三区实验基地,母株为 3 年龄。插穗为当年生半木质化嫩枝,长 10~12 cm,基部直径 0.5~0.8 cm。每条插穗留 2~3 个芽,剪去下部叶片,将插穗下端剪成平滑的斜面,上端留 2~3 片叶片,并剪去叶片的 1/3 以减少蒸腾,备用。

1.2 试验方法

1.2.1 组织培养诱导生根 将供试牡丹试管苗在超净工作台上,接种到含木本植物培养基(WPM)+IBA 4.0 mg/L+聚乙烯吡咯烷酮(PVP)1.0 g/L+Vc 50 mg/L+植物凝胶(Gellan gum)2.0 g/L+蔗糖 30 g/L (pH=5.8)的固体培养基中,进行生根培养,每瓶接种 1 株。

1.2.2 扦插生根 将修剪好的牡丹插穗用 1 g/L IBA 处理,然后扦插在 V(沙):V(土)=1:1 的混合基质中,置于盆中培养,插入深度为插穗长的 1/2~2/3,压实基质,浇透水,之后保持湿润。

1.3 测定指标及方法

贺丹等^[3]、徐盼盼^[10]对牡丹试管苗生根过程的观察发现,其生根时间为诱导培养后 3~15 d;本研究预试验发现,牡丹扦插苗在第 18 天有根原基形成,因此将试验取材时间定为 0~21 d。于生根培养的 0,1,2,3,4,5,7,9,12,15,18,21 d 取材,试管苗随机取 10 株,取其茎基部;扦插苗随机取 10 株,取插穗基部 1~2 cm;各自混匀后分别测定其 POD、PPO、IAAO 酶活性,均重复 3 次。

POD 活性测定参照李合生^[12]的方法;PPO 活性测定参照朱广廉等^[13]的方法;IAAO 活性测定参照张志良^[14]的方法。

1.4 数据统计与分析

试验数据采用 Excel 软件和 DPS 3.01 对数据进行处理分析;采用邓肯氏新复极差法(SSR 法)检测其差异显著性,显著水平为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 试管苗与扦插苗生根过程中过氧化物酶(POD)活性的变化

从图 1 可以看出,生根过程中,牡丹试管苗的 POD 活性在 0~3 d 整体呈下降趋势,其中第 3 天降到最低值(6.67 U/g);在 3~7 d 呈上升趋势,并在 5 d 达到第 1 峰值,然后在第 9 天下降至 18.67 U/g;9~12 d 急剧上升,于第 12 天达到第 2 峰值,12~15 d 下降,而后呈上升趋势;且试管苗的 POD 活性始

终显著高于扦插苗。与试管苗相比,扦插苗的 POD 活性变化趋势较平缓,其中 0~2 d 呈上升趋势,第 3 天下降至 1.67 U/g,第 4 天上升至最大值(20.00 U/g)后下降,在 5~15 d 整体呈上升趋势,于第 15 天达到第 2 峰值后下降,在 18~21 d 又呈上升趋势。试管苗与扦插苗 POD 活性均在第 3 天降到最低值,第 1 个峰值出现时间分别为 5 和 4 d,分别于 12 和 15 d 达到第 2 个峰值;第 2 个低值出现时间分别是第 9 和第 5 天。

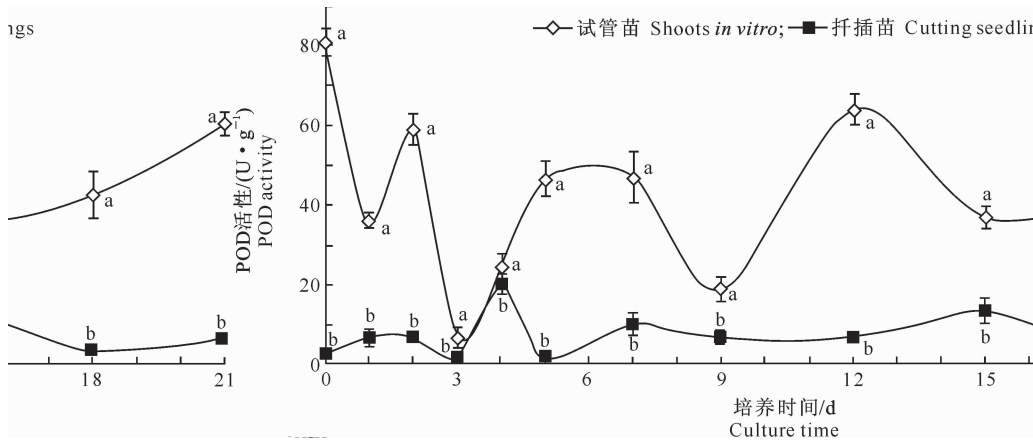


图 1 牡丹试管苗和扦插苗生根过程中过氧化物酶(POD)活性的变化
同一处理时间标不同小写字母表示差异达显著水平($P<0.05$),下同

Fig. 1 Change in POD activity of shoots *in vitro* and cutting seedlings of *Paeonia suffruticosa* during rooting process
Different lowercase letters at each culturing time indicate significant difference at $P<0.05$. The same below

2.2 试管苗与扦插苗生根过程中多酚氧化酶(PPO)活性的变化

扦插苗生根过程中多酚氧化酶(PPO)活性的变化结果见图 2。

在本试验中,牡丹品种‘凤丹白’无根试管苗与

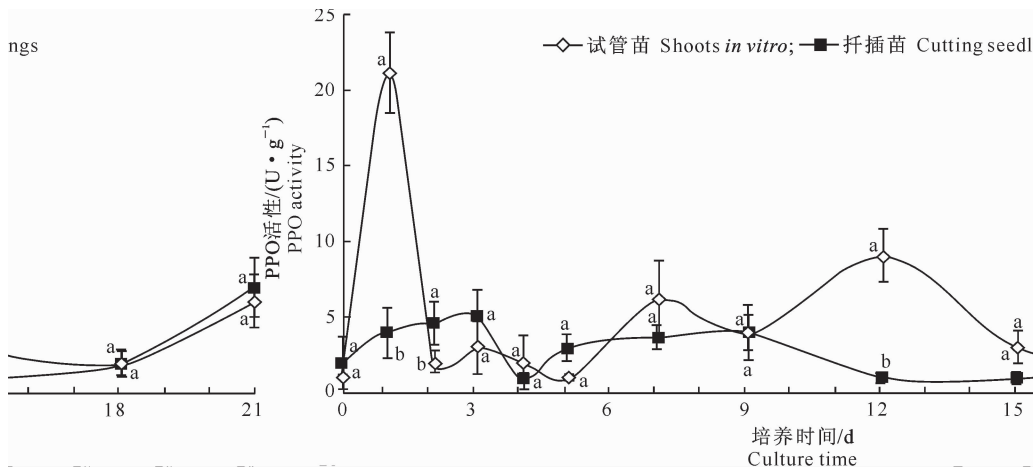


图 2 牡丹试管苗和扦插苗生根过程中多酚氧化酶(PPO)活性的变化

Fig. 2 Change in PPO activity of shoots *in vitro* and cutting seedlings of *Paeonia suffruticosa* during rooting process

如图 2 所示,转入生根培养基后,牡丹试管苗的 PPO 活性在 0~1 d 迅速上升,在第 1 天达到最高峰(21.0 U/g),1~5 d 整体呈下降趋势,于第 5 天降

到最低值(1.0 U/g),5~12 d 呈波浪上升趋势,于第 12 天达到峰值后下降,18~21 d 再次上升;扦插苗的 PPO 活性在 0~3 d 上升后下降,于第 4 天降

到 1.0 U/g,4~9 d 逐步上升,第 9 天出现第 2 个峰值,9~15 d 下降后再次上升,于第 21 天达到最大值(7.0 U/g)。整个生根过程中试管苗与扦插苗 PPO 活性在第 1,2 和 12 天差异显著。与试管苗相比,扦插苗 PPO 活性第 1 个峰值的出现时间推迟 2 d,第 2 个峰值提前 3 d;试管苗与扦插苗 PPO 活性分别在 5 和 4 d 降到最低值。

2.3 试管苗与扦插苗生根过程中吲哚乙酸氧化酶(IAAO)活性的变化

由图 3 可知,在生根培养过程中,试管苗 IAAO 活性变化较小,在 0~7 d 呈波浪上升趋势,在第 7 天达到峰值(33.47 U/g)后下降并趋于平稳,18~

21 d 上升,于第 21 天达到最大值(36.59 U/g);扦插苗在 0~5 d 呈下降趋势,第 5 天降至 27.82 U/g,然后上升,于第 9 天达到第 1 个峰值(50.04 U/g),9~15 d 下降,于第 15 天降到最低值(27.23 U/g),15~21 d 迅速上升,第 21 天达到最大值(67.39 U/g)。在生根过程中,除第 4 天外,二者 IAAO 活性均达显著差异,扦插苗 IAAO 活性变化幅度较试管苗大。试管苗与扦插苗 IAAO 活性分别在第 7 和第 9 天出现第 1 个峰值,试管苗较扦插苗提前 2 d,二者均在 21 d 达到最大值;试管苗在第 3 天出现低值,扦插苗在第 5 天出现低值,第 15 天降到最低。

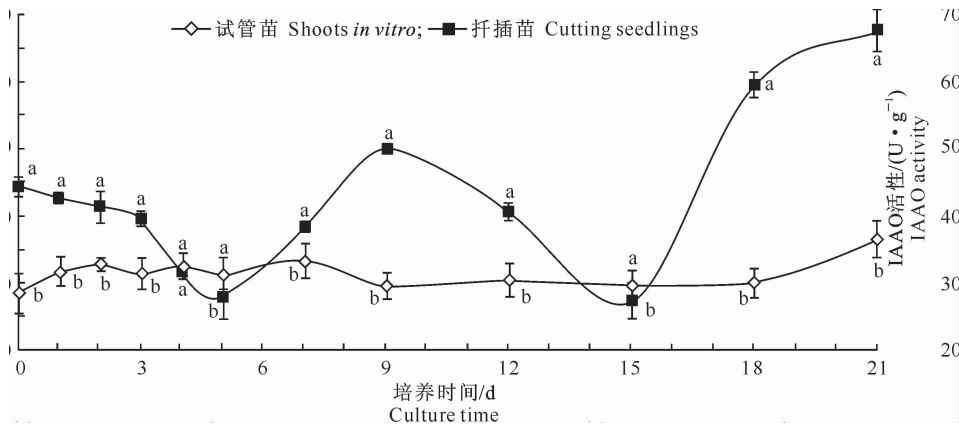


图 3 牡丹试管苗和扦插苗生根过程中吲哚乙酸氧化酶(IAAO)活性的变化

Fig. 3 Change in IAAO activity of shoots *in vitro* and cutting seedlings of *Paeonia suffruticosa* during rooting process

3 结论与讨论

本试验探讨了牡丹品种‘凤丹白’试管苗与扦插苗生根过程中 POD、PPO、IAAO 3 种酶活性的变化,结果表明,在生根过程中,牡丹试管苗 POD 活性呈“下降—上升—下降—上升”的趋势,PPO 和 IAAO 活性均呈“上升—下降—上升”趋势;而扦插苗 POD 和 PPO 活性均呈“上升—下降—上升”趋势,IAAO 活性呈“下降—上升—下降—上升”趋势;牡丹试管苗 POD 活性在第 3 天降到最低值,第 1 个峰值出现时间较扦插苗推迟 1 d;PPO 活性第 1 个峰值较扦插苗提前 2 d,最低值推迟 1 d;IAAO 活性第 1 个峰值出现时间较扦插苗提前 2 d,均在第 21 天达到最大值,第 1 个低值出现时间较扦插苗提前 2 d。

近年来,有研究认为,POD、PPO 及 IAAO 活性与植物不定根的发生和生长均有着密切关系,其变化因生根时期不同而异^[15]。相关研究表明,在不定根诱导期和表达期,POD 活性升高是有生根能力的标志^[16-17]。贺丹等^[3,11]、徐盼盼^[10]对牡丹试管苗进行生根细胞学观察发现,根原基的诱导发生于 3~5

d,9~15 d 根原基进一步分化,逐渐突破表皮。本试验发现,牡丹试管苗 POD 活性在生根培养的 3~5 d 迅速上升后下降,9~12 d 继续上升。由此推测,第 3 天开始 POD 活性升高,可能是因为产生了某些物质进而促进了试管苗不定根的发生,9~12 d POD 活性迅速升高有利于根原基的进一步分化;15~21 d POD 活性继续升高,可能与茎基部木质素的成熟度有关^[18];扦插苗 POD 活性变化较平缓,3~4 d 上升达最大值后下降,5~15 d 整体呈上升趋势,于第 15 天达到峰值后下降,18~21 d 再次升高,这与宋金耀等^[19]的研究结果类似,可能起始期高活性的 POD 对不定根的发生起诱导作用。在生根过程中,试管苗与扦插苗 POD 活性均在第 3 天降到最低值,而后呈上升趋势,可能有利于根原基的诱导。试管苗 POD 活性第 2 个峰值出现在第 12 天,而扦插苗出现在第 15 天,较试管苗推迟 3 d,可能与扦插苗根系发生较晚有关。

PPO 是一种含铜酶,可能会催化酚类物质与 IAA 形成一种“IAA-酚酸复合物”,这种复合物可能是一种生根辅助因子,可促进不定根的形成^[17]。另

外,PPO 活性还与植物组织培养外植体褐变有密切关系,接种时由于切割作用,PPO 作用于天然底物酚类物质而形成褐色物质醌,导致外植体的褐化,直接影响组培苗生根及正常生长^[6,20],因此,PPO 对生根具有双重效应。本试验中,试管苗 0~2 d PPO 活性变化剧烈,第 1 天达到最大值,可能是由于切割作用,PPO 催化多酚类物质发生褐化,导致 PPO 活性迅速升高,2~12 d 呈波浪上升趋势,可能有利于“IAA-酚酸复合物”的形成以促进根原基的诱导;扦插苗 PPO 活性在 0~3 d 上升后下降,从第 4 天开始继续上升,于第 9 天达到峰值,可能有利于根原基的诱导,在 15~21 d 逐步升高,于第 21 天达到最大值,可能是因为催化生成的“IAA-酚酸复合物”增多,从而促进根的形成。在整个生根过程中,与试管苗相比,扦插苗 PPO 活性第 1 个峰值出现的时间推迟 2 d,第 2 个峰值提前 3 d,2 个峰值均低于试管苗,第 21 天扦插苗 PPO 活性达到最大值且较试管苗高,可能与扦插苗根系发生较试管苗晚有关。

IAAO 可以降解植物体内的吲哚乙酸(IAA),调节植物体内的 IAA 水平,从而影响试管苗生根^[21-22]。Gaspar 等^[23]试验表明,离体生根过程中,高活性的 IAAO 使内源 IAA 水平降低,是生根诱导期的特点之一。低浓度的 IAA 有利于诱导生根,之后在表达期要求较高浓度的 IAA 以促进根的生长。本试验中,试管苗 IAAO 活性变化不显著,在 0~7 d 呈波浪上升式变化,第 7 天出现峰值,可能有利于降低内源 IAA 水平从而促进根原基的诱导,之后变化趋于平缓,于第 21 天达到最大值,可能与本研究观察到该时期的侧根形成现象有关。扦插苗 IAAO 活性在 0~5 d 下降,5~9 d 呈上升趋势,第 9 天出现第 1 个峰值。有研究表明,扦插后前 10 d 是根的诱导阶段^[24],期间 IAAO 活性升高可能会促进 IAA 分解,有利于根原基诱导生根;9~15 d 逐渐下降至最低值,可能有利于愈伤组织的形成,随后迅速上升,第 21 天达到最大值,其变化趋势与宋金耀等^[19]研究的月季、葡萄等植物在扦插生根过程中 IAAO 活性的变化趋势相似。在生根过程中,除第 4、5 和 15 天外,扦插苗 IAAO 活性均较试管苗高,且扦插苗 IAAO 活性第 1 个峰值和低值的出现时间均较试管苗推迟 2 d,可能是扦插苗根系发生晚的原因之一。扦插苗 IAAO 活性变化幅度较大,在根的诱导阶段(扦插后 0~10 d)先下降后迅速上升,有利于降低内源 IAA 水平,从而促进根原基的诱导;而试管苗 IAAO 活性则变化较平缓,可能在调节内源 IAA

水平方面作用不显著。

本研究发现,与试管苗相比,牡丹扦插苗生根过程中 POD、PPO 及 IAAO 酶活性的一些极值出现时间均出现推迟现象,这与扦插苗生根时间较晚有关,但其作用机理还有待于进一步研究。

[参考文献]

- [1] 包满珠. 花卉学 [M]. 2 版. 北京:中国农业出版社,2003:215.
Bao M Z. Floriculture [M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press,2003:215. (in Chinese)
- [2] 李 航,王伟伟,何松林. 牡丹试管苗生根研究进展和展望 [J]. 安徽农业科学,2007,35(12):3499-3513.
Li H, Wang Y W, He S L. Research progress and prospect of root-inducing of *Paeonia suffruticosa* [J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2007, 35(12): 3499-3513. (in Chinese)
- [3] 贺 丹,王 政,何松林. 牡丹试管苗生根过程解剖结构观察及相关激素与酶变化的研究 [J]. 园艺学报,2011,38(4):770-776.
He D, Wang Z, He S L. Adventitious root generating process and hormone and enzyme changes *in vitro* *Paeonia suffruticosa* [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(4): 770-776. (in Chinese)
- [4] Bassuk N L, Hunter L D, Howard B H. The apparent involvement of polyphenol oxidase and phloridzin in the production of apple rooting cofactors [J]. Hort Sci, 1981, 56: 313-315.
- [5] Poapst P A, Durkee A B. Root differentiating properties of some simple aromatic substances of the apple and pear fruit [J]. J Hort Sci, 1967, 42: 429-438.
- [6] 宋士任,王 华. 葡萄多酚含量和多酚氧化酶(PPO)活性与组培苗生根关系的初步研究 [J]. 中国农学通报,2005,21(9):70-73.
Song S R, Wang H. The effect of polyphenol content and polyphenol oxidase activity on rooting of tissue cultured seedlings in *Vitis* L. [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(9): 70-73. (in Chinese)
- [7] 吴秋峰,金 玲,吴月燕. 乐昌含笑组织培养根的诱导及其 POD 和 PPO 活性的变化 [J]. 科技通报,2009,25(4):460-464.
Wu Q F, Jin L, Wu Y Y. Activity changes of POD and PPO during root inducing in tissue culture of *Michelia chapensis* Dandy [J]. Bulletin of Science and Technology, 2009, 25(4): 460-464. (in Chinese)
- [8] 许晓岗,丁芳芳,童丽丽. 垂丝海棠、楸子扦插生根的生理机制 [J]. 东北林业大学学报,2013,41(5):91-97.
Xu X G, Ding F F, Tong L L. Basic physiological indices in cuttings of *Malus halliana* and *Malus prunifolia* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2013, 41(5): 91-97. (in Chinese)
- [9] 董胜君,刘明国,戴 菲,等. 2 种激素处理的山杏插穗生根过程中营养物质及酶活性的变化 [J]. 西部林业科学,2012,41(6):26-30.

- Dong S J, Liu M G, Dai F, et al. Variation of nutrients and enzyme activities in *Armeniaca sibirica* softwood cuttings during adventitious root formation under treatments of two hormones [J]. Journal of West China Forestry Science, 2012, 41(6): 26-30. (in Chinese)
- [10] 徐盼盼. 环境因子对牡丹试管苗生根的影响 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2011.
- Xu P P. The effect of environmental factor on rooting culture of *Paeonia suffruticosa* in vitro [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2011. (in Chinese)
- [11] 贺 丹. 牡丹试管苗生根调控研究 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2009.
- He D. The control on rooting culture of *Paeonia suffruticosa* in vitro [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [12] 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, 2003: 164-165.
- Li H S. Principle and technique of plant physiological and biochemical experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2003: 164-165. (in Chinese)
- [13] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴. 植物生理实验 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1990: 37-39.
- Zhu G L, Zhong H W, Zhang A Q. Principle of plant physiological experiment [M]. Beijing: Beijing University Press, 1990: 37-39. (in Chinese)
- [14] 张志良. 植物生理学实验指导 [M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- Zhang Z L. Principle of plant physiological experiment guidance [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 1990. (in Chinese)
- [15] 扈红军, 曹帮华, 尹伟伦, 等. 不同处理对欧榛硬枝扦插生根的影响及生根过程中相关氧化酶活性的变化 [J]. 林业科学, 2007, 43(12): 70-75.
- Hu H J, Cao B H, Yin W L, et al. Effects of different treatments on hardwood-cutting rooting and related oxidase activity changes during rooting of *Corylus avellana* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(12): 70-75. (in Chinese)
- [16] Moncousin C, Gaspar T H. Peroxidase as a marker for rooting improvement of *Cynara scolymus* L. cultivated in vitro [J]. Biochemie und Physiologie der Pflanzen, 1983, 178: 263-271.
- [17] Haissig B E. Influence of auxins and auxin synergists on adventitious root primordium initiation and development [J]. NZ J For Sci, 1974, 4: 311-323.
- [18] Conzalez A, Tames S R, Rodriguez R. Ethylene in relation to protein, peroxidase and polyphenol oxidase activities during rooting in hazelnut cotyledons [J]. Physiol Plant, 1991, 83: 611-620.
- [19] 宋金耀, 宋 刚, 李 辉, 等. 几种园艺植物扦插生根过程中生化指标的变化 [J]. 江苏农业科学, 2010(3): 211-214.
- Song J Y, Song G, Li H, et al. The changes of several horticultural plants physiological index during rooting process [J]. Journal of Jiangsu Agri Sci, 2010(3): 211-214. (in Chinese)
- [20] 崔堂兵, 郭 勇, 张长远. 植物组织培养中褐变现象的产生机理及克服方法 [J]. 广东农业科学, 2001(3): 16-18.
- Cui T B, Guo Y, Zhang C Y. Occurring mechanism and overcoming ways of browning in plant tissue culture [J]. Journal of Guangdong Agri Sci, 2001(3): 16-18. (in Chinese)
- [21] Jackson M B. New root formation in plant and cuttings [M]. Lancaster: Martinus Nijhoff Publishers, 1986: 223-253.
- [22] Gebhardt K. Activation of indole-3-acetic acid oxidase from horseradish and *Prunus* by phenols and H_2O_2 [J]. Plant Growth Reg, 1982, 1: 73-84.
- [23] Gaspar T, Kevers C, Hausman J F, et al. Practical uses of peroxidase activity as a predictive marker of rooting performance of micropropagated shoot [J]. Agronomic, 1992(12): 757-765.
- [24] 宋丽红, 曹帮华. 光叶楮扦插生根的吡哆乙酸氧化酶、多酚氧化酶、过氧化物酶活性变化研究 [J]. 武汉植物学研究, 2005, 23(4): 347-350.
- Song L H, Cao B H. Studies on activities of indoleacetic acid oxidase, polyphenol oxidase and peroxidase in cuttings of *Broussonetia papyrifera* during rooting process [J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2005, 23(4): 347-350. (in Chinese)
- (上接第 192 页)
- [21] 薛正平, 李 军, 张莉蕴, 等. 大棚黄瓜霜霉病农业气象条件研究 [C]// 第七届长三角气象科技论坛论文集. 浙江嘉兴: [s. n.], 2010: 580-584.
- Xue Z P, Li J, Zhang L Y, et al. Study on meteorological condition of downy mildew of cucumber in greenhouse [C]// Symposium of meteorological science and technology forum of Yangtze river delta (7th). Jiaxing, Zhejiang: [s. n.], 2010: 580-584. (in Chinese)
- [22] 全国农业技术推广服务中心. 农作物有害生物测报技术手册 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 347.
- National Agricultural Technology Extension Service Center. Report to technical manual measuring biological pests [M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2006: 347. (in Chinese)
- [23] 刘金泉, 崔世茂. CO_2 施肥对黄瓜光合作用及相关生理过程的影响研究进展 [J]. 内蒙古农业大学学报, 2007, 28(3): 322-325.
- Liu J Q, Cui S M. Advanced on effects of photosynthesis and relevant physiological courses of cucumber with CO_2 fertilizer [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2007, 28(3): 322-325. (in Chinese)
- [24] 曹长余, 韩秀玲, 高秀美. 秸秆生物反应堆技术对日光温室番茄应用效果的研究 [J]. 安徽农学通报, 2007, 13(8): 82-83.
- Cao C Y, Han X L, Gao X M. Research of the application for straw bioreactor on tomato in greenhouse [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2007, 13(8): 82-83. (in Chinese)