

不同生长素对绣球丁香扦插生根影响及生根过程中相关酶活性变化

颜婷美¹, 张安琪¹, 王峰², 李承秀², 于永畅¹, 牛田¹, 王郑昊³, 王长宪^{2*} (1. 山东农业大学林学院, 山东泰安 271018; 2. 泰山林业科学研究院, 山东泰安 271000; 3. 泰安市徂徕山林场, 山东泰安 271000)

摘要 [目的] 研究不同生长素对绣球丁香扦插生根的影响及生根过程中相关酶活性的变化。[方法] 以绣球丁香为材料, 选用 IBA、ABT、NAA 3 种生长素分别于 500、1 000、1 500、2 000 mg/L 浓度下进行嫩枝扦插对比试验, 研究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)的活性变化。[结果] IBA、ABT、NAA 3 种生长素的最适浓度分别为 1 500、1 000、1 000 mg/L, 其中以 IBA 1 500 mg/L 处理效果最佳。在整个生根过程中, 处理组与对照组的 POD 与 PPO 活性动态变化趋势基本一致, 但处理组的 POD 与 PPO 活性显著提高且变化幅度更大; 扦插初期对照组与处理组的 IAAO 活性呈相反的变化趋势, 前者缓慢升高而后者迅速下降, 且处理组显著低于对照组; 此外, 较高活性的 POD 与 PPO 利于不定根的诱导, 较低活性的 IAAO 则利于不定根的发育与伸长。[结论] 该研究初步揭示了绣球丁香嫩枝扦插的生根机理。

关键词 绣球丁香; 生长素; 扦插生根; 酶活性

中图分类号 S685.26 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)22-09205-03

Effects of Different Auxins on Cuttage Rooting of *Syringa microphylla* and Activity Change of Related Enzymes During Rooting

YAN Ting-mei et al (College of Forestry, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018)

Abstract [Objective] The aim was to study the effects of different auxins on cuttage rooting of *Syringa microphylla* and the activity change of related enzymes in the process of rooting. [Method] Effects of different auxins, which included IBA, NAA and ABT with the concentrations of 500, 1 000, 1 500 and 2 000 mg/L, on the rooting formation of cuttings of *S. microphylla* were studied. Changes in activities of peroxidase (POD), polyphenol oxidase (PPO) and indoleacetic acid oxidase (IAAO) during of rooting were investigated. [Result] The cuttage rooting rate and rooting index significantly increased as the cuttings were pretreated with auxin of suitable concentration. The most appropriate concentrations of IBA, ABT and NAA were 1 500, 1 000 and 1 000 mg/L, and the pretreatment with 1 500 mg/L IBA exhibited the best rooting responses. POD and PPO activities showed the same trends in treatment group and control group throughout the rooting process, but the POD and PPO activities in treatment group increased significantly and the amplitude of variation was greater than control group. The activity of IAAO showed the opposite trend between control group and treatment group in early days of cuttage, the former increased slowly and the latter decreased rapidly, additionally, the activity of IAAO in treatment group was significantly lower than that of the control group. [Conclusion] The study revealed the mechanism of soft cuttage rooting of *S. microphylla* preliminarily.

Key words *Syringa microphylla*; Auxins; Cottage rooting; Activity of enzyme

绣球丁香(*Syringa microphylla*), 又名四季丁香, 为木犀科(Oleaceae)丁香属(*Syringa*)植物, 其树姿秀丽、花繁叶茂, 且一年中能于春秋两季开花, 解决了夏秋无花的现状, 是我国北方园林中优良的观花灌木^[1]。近年来, 丁香需求量逐渐增大, 但因播种繁殖慢且不易保持原有性状, 致使其苗木质量差且良种苗木供不应求, 而有性繁殖已不能解决此种矛盾^[2]。因此, 探索绣球丁香无性繁殖技术显得尤为重要, 它可为绣球丁香资源的保存和开发利用开辟新的途径, 使其优良遗传性状得以保存。

目前, 我国对于丁香的研究主要集中在丁香的药用价值和丁香油等的提取 2 方面, 对于丁香繁殖方面的研究仅局限于扦插繁殖技术层面^[3-4]。李晓峰等比较了 IBA、NAA 和 ABT₁ 3 种生长素对紫丁香扦插生根的影响, 发现 IBA 处理的硬枝插穗生根特性效果最佳, 而 NAA 处理的嫩枝插穗生根率最高^[5]; 李广春等的研究表明, 紫丁香扦插育苗选用河沙插壤成活率较高, 采用 50 mg/kg ABT₁ 号生根粉为宜^[6]。可见, 虽然目前关于外源激素对丁香扦插生根的研究较多, 但研究结果却不尽相同, 而对于丁香生根机理和形态解剖学方面的研究目前尚未见报道。

该研究探讨了全光照间歇弥雾条件下绣球丁香的嫩枝扦插繁殖技术, 并在此基础上对扦插生根过程中 POD、PPO、IAAO 3 种氧化酶的活性变化进行了测定与分析, 初步揭示了绣球丁香嫩枝扦插的生根机理。

1 材料与方法

1.1 材料 试验材料均采自山东省泰安市泰山林业科学研究院上高试验基地, 供试外源激素有吲哚丁酸(IBA)、生根粉(ABT₁)、萘乙酸(NAA)。

1.2 试验设计 扦插试验分 2 次进行, 2013 年 6 月 1 日进行不同外源激素及浓度对扦插生根的影响试验, 筛选最佳处理; 在此基础上, 于同年 7 月 20 日进行氧化酶类活性的测定与分析。

2013 年 6 月 1 日, 于清晨温度较低时选择当年生、半木质化枝条的中上部制穗, 长度为 9~11 cm, 上切口平切, 下切口斜切, 保留上部 2 片叶, 每片叶约保留 1/2。剪好的插穗先用 0.5% 的高锰酸钾溶液消毒, 然后用不同浓度的生长调节剂速蘸插穗基部 10 s, 以清水作对照。供试外源激素为 IBA、ABT₁、NAA, 浓度分别为 500、1 000、1 500、2 000 mg/L, 每处理 50 个插穗, 3 次重复, 完全随机区组排列。

2013 年 7 月 20 日, 按常规方法制穗后分别用 1 500 mg/L IBA(6 月预试验得出的最佳处理)和清水处理 200 条插穗, 供生根过程中氧化酶类活性的测定。

全部扦插试验均在泰山林业科学研究院全自动间歇喷

作者简介 颜婷美(1986-), 女, 山东诸城人, 硕士研究生, 研究方向: 园林植物资源保护与利用, E-mail: yanyan2008tm@163.com。
* 通讯作者, 研究员, 研究生导师, 从事园林植物资源保护与利用研究, E-mail: changxianwang@163.com。

收稿日期 2013-06-26

雾扦插棚内进行,棚膜外覆盖遮阳网。扦插基质为中河沙。

1.3 研究方法

1.3.1 不同激素及浓度对扦插生根的影响。扦插后每隔 3~5 d 进行一次生根形态观察,生根期间,需要观察的生根动态指标有:愈伤组织形成期、不定根生成期、不定根大量生成期。40 d 后进行全面生根统计,统计的指标包括生根类型、生根率和生根指数,同时,每组处理选取具有代表性的 10 株统计一级根条数及根长。生根指数的计算参照牟洪香^[7]的方法,生根指数 = 生根率 × 平均根数 × 平均根长,代表单株扦插苗的平均总根长。

1.3.2 扦插生根过程中相关酶活性的测定。自扦插当天起至扦插后 40 天,每隔 3~5 d 取样一次,进行过氧化物氧化酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)和吲哚乙酸氧化酶(IAAO)活性测定。其中,POD 活性的测定采用愈创木酚比色法^[8];PPO 活性的测定参照李焕秀等^[9]的邻苯二酚比色法进行改进;IAAO 参照张志良等^[10]的二氯酚比色法。

1.4 数据处理 试验数据采用 EXCEL 和 SPSS 软件进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 绣球丁香嫩枝扦插生根情况 观察发现,绣球丁香处理组在扦插后 7 天大部分插穗开始有愈伤组织形成,12 d 后已有少量不定根形成;而对照组在扦插后 10 天才有愈伤组织形成,15 d 后有不定根形成。45 d 时调查统计显示,用 IBA 1 500 mg/L 处理的绣球丁香扦插生根率最高可达 88.14%,其次为 ABT 1 000 mg/L 处理组,生根率为 82.30%,生根率最低的处理是 NAA 2 000 mg/L,对照组生根率仅 66.23% (表 1);平均一级根条数范围为 9.26~15.69,一级根

最多可达 26 条;平均一级根长范围为 4.39~6.00 cm,最长一级根可达 14.7 cm;从生根指数来看,处理效果最佳的组合是 IBA 1 500 mg/L,生根指数达 82.97,效果最差的是 NAA 2 000 mg/L,生根指数仅为 22.51。

表 1 不同激素浓度处理对绣球丁香扦插生根的影响

处理	生根率	平均根长	平均根数	生根指数
mg/L	%	cm	条	
CK	66.23	4.84	9.95	31.90
IBA	500	68.00	5.11	14.46
	1 000	75.52	5.71	11.27
	1 500	88.14	6.00	15.69
	2 000	63.42	5.62	13.68
ABT	500	70.29	4.86	9.60
	1 000	82.30	5.51	11.16
	1 500	64.04	4.67	13.41
	2 000	58.86	4.43	12.64
NAA	500	68.90	4.52	9.45
	1 000	78.27	4.80	10.38
	1 500	62.29	4.42	9.77
	2 000	55.38	4.39	9.26

2.2 不同外源激素及浓度对绣球丁香扦插生根的影响 对不同外源激素及浓度处理下绣球丁香嫩枝扦插结果进行方差分析,结果见表 2。由方差分析可知:激素种类和激素浓度对绣球丁香嫩枝扦插生根率、一级根数、一级根长及生根指数影响差异均达极显著,且激素种类对生根大于激素浓度;两者交互作用对生根率和生根指数影响极显著(P 值分别为 0.000 和 0.005),而对一级根数和一级根长影响显著(P 值分别为 0.020 和 0.013)。因此,在进行绣球丁香嫩枝扦插时首先需选择合适的外源激素。

表 2 不同因素对绣球丁香嫩枝扦插生根指标的方差分析

误差来源	生根率		一级根数		一级根长		生根指数	
	F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值
激素种类	26.043	0.000	389.067	0.000	17.352	0.000	102.178	0.000
激素浓度	85.597	0.000	57.762	0.001	10.216	0.008	25.458	0.002
种类 × 浓度	26.338	0.000	48.237	0.020	3.424	0.013	20.580	0.005

注: $R^2=0.948$ (调整 $R^2=0.924$)。

不同激素种类和浓度对扦插生根的影响不同,且不同激素的最适浓度也存在差异,为探究插穗生根最适宜的激素种类和浓度,笔者对不同处理的插穗生根性状进行了 LSD 多重比较(表 3)。由表 3 可看出,综合各生根指标 IBA 1 500 mg/L 处理结果最佳,其生根率达 88.14%,生根指数高达 82.93,均极显著高于其他组合。IBA、ABT、NAA 3 种激素的最适浓度分别为 1 500、1 000、1 000 mg/L,此 3 组处理的生根率和生根指数均显著高于对照;各激素浓度高于或低于最适浓度均不利于插穗生根,浓度过低处理效果不明显,过高则会产生抑制生根的现象。

2.3 扦插生根过程中氧化酶类活性的动态变化

2.3.1 过氧化物酶活性变化。有研究报道,POD 活性与愈伤组织的形成、不定根的诱导及表达有密切关系^[11]。该研究发现,在绣球丁香扦插生根过程中,对照组与 IBA 处理组

POD 活性变化呈相同的趋势,均为上升-下降-上升-下降的趋势,但 IBA 处理组 POD 活性显著高于对照组(图 1),说明植物生长调节剂的施用能有效提高插穗 POD 活性。整个生根过程出现 32 个峰值,这与 Gebhardt^[12]和 Haissif^[13]的研究一致。在不定根表达和伸长期 POD 活性一直处于较低水平,这与扈红军等^[14]对榛子的研究一致,却与付喜玲等^[15]和张玉臣^[16]分别对芍药和白木香的研究结果相反,这说明 POD 对扦插生根影响的复杂性,也可能因不同树种而异。

2.3.2 多酚氧化酶活性变化。多酚氧化酶能催化酚类物质与 IAA 反应形成“IAA-酚酸复合物”,该物质普遍被认为是生根的辅助因子,可促进愈伤组织分化和促进不定根的形成。该研究发现,IBA 处理组在扦插初期愈伤组织形成至不定根诱导时期,PPO 活性一直呈上升趋势,在第 6 天达峰值,随后逐渐下降并保持较低水平,直至大量生根期(处理组 25

d, 对照组 30 d) 再次上升(图 2)。整个生根过程处理组 PPO 活性均明显高于对照组, 说明 IBA 处理提高了插穗中 PPO 的活性, 有利于不定根的形成与发育。

表 3 外源激素及浓度对绣球丁香扦插生根性状影响的 LSD 分析

处理 mg/L	生根率		一级根数	一级根长	生根指数				
	%			cm	cm				
CK	66.23 ± 1.12	def	9.95 ± 0.27	fg	4.84 ± 0.44	cd	31.87 ± 2.57	e	
IBA	500	68.00 ± 3.62	de	14.46 ± 0.48	b	5.11 ± 0.58	bc	49.98 ± 1.39	b
	1 000	75.52 ± 2.24	c	11.27 ± 0.38	e	5.71 ± 0.25	a	48.72 ± 5.21	b
	1 500	88.14 ± 0.92	a	15.66 ± 0.10	a	6.00 ± 0.80	a	82.93 ± 12.42	a
	2 000	63.47 ± 3.60	f	13.68 ± 0.23	c	5.62 ± 0.20	ab	48.91 ± 5.33	b
ABT	500	70.29 ± 2.90	d	9.60 ± 0.11	gh	4.86 ± 0.08	cd	32.82 ± 2.27	de
	1 000	82.30 ± 1.77	b	11.16 ± 0.40	e	5.51 ± 0.12	ab	50.59 ± 1.80	b
	1 500	64.04 ± 1.60	f	13.41 ± 0.35	c	4.67 ± 0.09	cd	40.09 ± 1.27	cd
	2 000	58.86 ± 3.87	gh	12.64 ± 0.66	d	4.43 ± 0.09	d	32.98 ± 3.22	de
NAA	500	68.90 ± 2.15	d	9.45 ± 0.44	gh	4.52 ± 0.35	cd	29.42 ± 2.73	ef
	1 000	78.27 ± 2.20	bc	10.38 ± 0.40	f	5.80 ± 0.12	a	47.11 ± 2.16	bc
	1 500	62.29 ± 2.39	fg	9.77 ± 0.21	gh	4.42 ± 0.14	d	26.89 ± 1.30	ef
	2 000	55.38 ± 3.31	h	9.26 ± 0.08	h	4.39 ± 0.63	d	22.67 ± 4.77	f

注: 此表数据均为 3 次重复的均值, 数据后不同小写字母代表在 0.05 水平上差异显著。

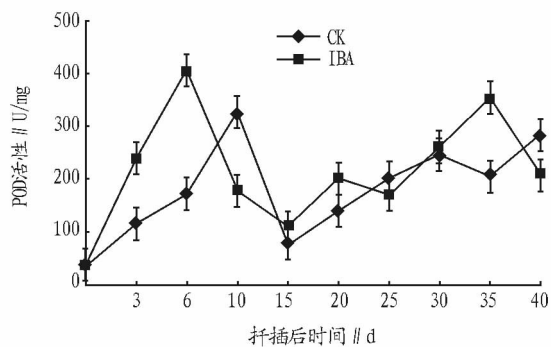


图 1 扦插生根过程中 POD 活性变化

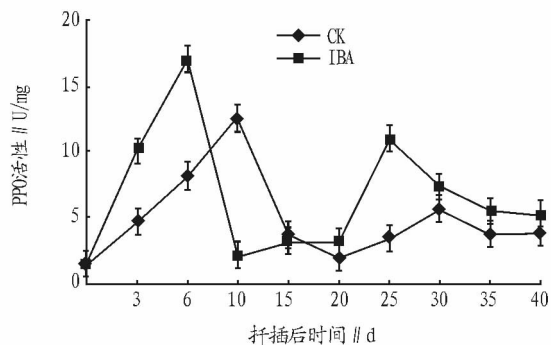


图 2 扦插生根过程中 PPO 活性变化

2.3.3 吲哚乙酸氧化酶活性的动态变化。插穗经 IBA 处理后, IAAO 活性呈下降-上升-下降的趋势, 而对照组却与之相反, 呈先缓慢上升随后缓慢下降的趋势, 整个生根过程中对照组 IAAO 活性一直处在较高水平(图 3)。

扦插初期, 处理组插穗 IAAO 活性降低有利于 IAA 的积累, 这对愈伤组织的形成有利; 第 10~15 天, IAAO 活性略有上升, 促进了 IAA 的分解, 这符合低浓度 IAA 有利于诱导根原基形成的观点^[17]; 第 20 天后, 大多数不定根已突出表皮,

此时 IAAO 活性下降, 体内 IAA 含量升高, 利于不定根的发育与伸长。对照组 IAAO 活性一直处于较高水平, 体内 IAA 水平较低, 故对照组生根难。

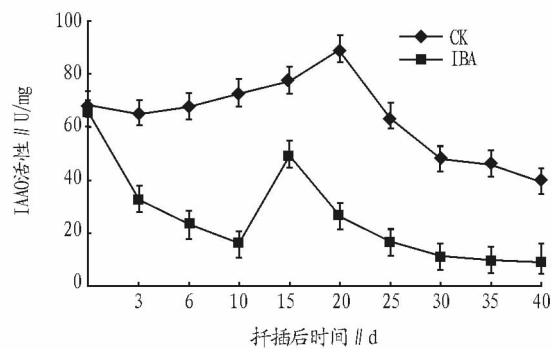


图 3 扦插生根过程中 IAAO 活性变化

3 结论与讨论

研究表明, 利用适宜浓度的生长调节剂处理可显著缩短绣球丁香扦插的生根周期、提高生根率及不定根质量, 在该试验条件下, 绣球丁香扦插生根的最适生长调节剂浓度为 IBA 1 500 mg/L, 该处理插穗比对照生根率提高了 21.91%, 一级根数增多了 5.71 条, 一级根长增长了 1.16 cm, 生根指数提高了 51.06。

绣球丁香插穗生根与 POD、PPO 及 IAAO 3 种酶活性密切相关。IBA 处理显著提高了 POD 和 PPO 活性, 愈伤组织形成期, POD 与 PPO 活性均迅速升高并达最高水平; 而处理组 IAAO 活性却迅速下降直至第 15 天略有升高。在整个生根过程中, 处理组与对照组的 POD 与 PPO 活性动态变化趋势基本一致, 但与对照组相比, 处理组的变化幅度更大, 且峰值提前约 5 d; 扦插初期对照组与处理组 IAAO 活性呈相反的变化趋势, 前者缓慢升高而后者迅速下降, 且处理组显著低于对照组。综合来看, 在 不定根诱导时期, 需要较高活性的 PPO 促进愈伤组织分化, 同时较高活性的 POD 和 IAAO 有利于体内 IAA 的分解, 促进根的诱导; 而表达期则需要较低活性的 POD 和 IAAO 保护 IAA 免受分解, 以促进根的形成和伸长。

研究发现, 不同浓度的外源激素虽然可显著影响绣球丁香插穗生根, 但其促根效果与激素浓度之间并不存在线性关系, 低于或高于最适浓度均不利于生根, 且浓度过高会产生抑制作用, 这种现象在其他植物中亦有类似报道, 可能是由于高浓度的外源激素引起了生理毒害^[18]。

POD、PPO 及 IAAO 3 种酶在绣球丁香扦插生根过程中均呈一定的变化趋势, 且经 IBA 处理后变化显著, 但仍有一些变化趋势无法进行合理解释; 3 种氧化酶的变化趋势与前人的研究有相同的地方但也存在不同之处, 如对于 POD 活性的研究就与付喜玲等^[15]和张玉臣^[16]分别对芍药和白木香的研究结果相反, 这可能是由于不同树种或不同外源激素处理所致。由此可见, 不同树种扦插生根过程中 3 种氧化酶活性变化有密切联系同时也存在不同之处^[19-20], 究竟 3 种酶的动

(下转第 9242 页)

- [5] 陈兴福,丁德荣,刘岁荣,等. 生态环境对白芷产量质量的影响[J]. 生态学杂志,1995,14(3):29-32.
- [6] 曹林贤,赵金莉. 药用植物白芷根际AM真菌与土壤因子调查[J]. 华北农学报,2007,22(51):47-50.
- [7] 丁德荣,卢进,陈兴福,等. 肥料种类对白芷早期抽苔与产量的影响研究[J]. 中国中药杂志,1999,24(1):23-24.
- [8] 丁德容,卢进,陈兴福,等. 施肥措施对白芷早期抽苔与产量的影响研究[J]. 中草药,1999,30(2):135-137.
- [9] 陈兴福,卢进,丁德容,等. 播种期对白芷早期抽苔影响的研究[J]. 中国中药杂志,1999,24(4):211-212.
- [10] 张志梅,郭玉海,翟志席,等. 白芷栽培措施研究[J]. 中药材,2006,29(11):1127-1128.
- [11] 彭菲,周日宝,刘建存. 川白芷多倍体诱导试验[J]. 中药材,1999,22(12):611-612.
- [12] 罗跃龙,彭菲,刘军. 杭白芷的多倍体诱导与培育[J]. 中国中药杂志,2004,29(2):186-187.
- [13] 赵兴增,冯煦,贾晓东,等. 杭白芷香豆素类成分的研究(I)[J]. 中草药,2007,38(4):504-506.
- [14] 贾晓东,赵兴增,冯煦,等. 杭白芷香豆素类成分的研究(II)[J]. 中草药,2008,39(12):1768-1771.
- [15] 孙浩,赵兴增,贾晓东,等. 杭白芷香豆素苷类成分研究[J]. 中药材,2012,35(11):1875-1878.
- [16] 赵友谊,孙浩,王鸣,等. HPLC法同时测定江苏引种白芷中5个香豆素的含量[J]. 中国野生植物资源,2013(1):56-38,67.
- [17] 顾永华,冯煦,夏冰. 水分胁迫对茅苍术根茎生长及挥发油含量的影响[J]. 植物资源与环境学报,2008,17(3):23-27.
- [18] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志:第五十五卷(第三分册)[M]. 北京:科学出版社,1992:35-36.
- [19] GOINGUENE S P, TURLINGS T C J. The effects of abiotic factors on induced volatile emissions in corn plants[J]. Plant Physiology,2002,129:1296-1307.
- [20] CIPOLLINI M L, PAULK E, CIPOLLINI D F. Effect of nitrogen and water treatment on leaf chemistry in horsenettle (*Solanum carolinense*), and relationship to herbivory by flea beetles (*Epitrix* spp.) and tobacco hornworm (*Manduca sexta*) [J]. Journal of Chemical Ecology,2002,28(12):2377-2399.
- [21] STOUT M J, BROVONT R A, DUFFEY S S. Effect of nitrogen availability on expression of constitutive and inducible chemical defenses in tomato, *Lycopersicon esculentum* [J]. Journal of Chemical Ecology,1998,24:945-963.
- [22] FRISCHKNECHT P M, KATHARINA SCHUHMACHER, HEINZ MULLER-SCHARER, et al. Phenotypic plasticity of *Senecio vulgaris* from contrasting habitat types: growth and pyrrolizidine alkaloid formation [J]. Journal of Chemical Ecology,2001,27(2):343-359.
- [23] LIU Z, ADAMS J C, VIATOR H P, et al. Influence of soil fertilization, plant spacing, and coppicing on growth, abscisic acid and camptothecin levels in *Camptotheca acuminata* seedlings [J]. Physiol Plant,1999,105:402.
- [24] STOUT M J, BROVONT R A, DUFFEY S S. Effect of nitrogen availability on expression of constitutive and inducible chemical defenses in tomato, *Lycopersicon esculentum* [J]. Journal of Chemical Ecology,1998,24:945-963.
- [25] 张檀,白明生,刘丽,等. 几种矿质元素对杜仲叶次生代谢物的影响初探[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2002,30(1):119-122.
- [26] 王年鹤,秦慧贞,王璐琦,等. 中药白芷的基原植物研究I. 中药白芷及其野生近缘植物的形态解剖[J]. 中国中药杂志,2001,26(8):529-533.
- [27] 王年鹤,秦慧贞,舒璞,等. 中药白芷的基原植物研究II. 中药白芷及其野生近缘植物的染色体核型和花粉形态[J]. 中国中药杂志,2001,26(9):584-588.
- [28] 王年鹤,谷口雅彦,杨滨,等. 中药白芷的基原植物研究III. 中药白芷及其野生近缘植物的香豆素类成分比较[J]. 中国中药杂志,2001,26(10):699-711.
- [29] 王年鹤,黄璐琦,杨滨,等. 中药白芷的基原植物研究IV. 白芷的基原植物栽培历史以及其近缘野生植物演化的讨论[J]. 中国中药杂志,2001,26(11):733-736.
- [30] 易思荣,韩凤,黄娅,等. 中药材白芷三段式育种新技术研究[J]. 湖南农业科学,2011(22):15-16.
- [31] 童文,孙佩,杨晓,等. 施用腐植酸肥对白芷产量和质量的影响[J]. 西南农学报,2011(3):1236-1238.

(上接第9207页)

态变化存在何种关系、哪种物质在不定根发生过程中起主导作用,还有待于进一步研究。

参考文献

- [1] 张天麟. 园林树木1600种[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2012:461-462.
- [2] 余树勋. 丁香花[M]. 上海:上海科学技术出版社,2000.
- [3] 任俐,刘小东,李耀文. 三种植物激素对紫丁香扦插的影响[J]. 哈尔滨商业大学学报,2006,22(2):36-39.
- [4] WU S J, ZHOU X H. Study on the cutting rooting of *Syriga microphylla* with tender branches[J]. Agricultural Science & Technology,2010,11(11/12):37-38,81.
- [5] 李晓峰,李艳星,郭伟略. 不同激素处理对丁香扦插生根的影响[J]. 中国城市林业,2012,10(4):55-56.
- [6] 李广春,孙丽萍. 紫丁香扦插育苗技术试验研究[J]. 山东林业科技,2006,38(3):42-45.
- [7] 牟洪香. 三倍体毛白杨优良无性系微体快速繁殖技术研究[D]. 泰安:山东农业大学,2003.
- [8] 郝建军,康宗利,于洋. 植物生理学实验技术[M]. 北京:化学工业出版社,2007:62-64.
- [9] 李焕秀,王乔春,李春秀. 梨芽和茎尖多酚氧化酶活性和总酚含量的初步研究[J]. 四川农业大学学报,1994,2(2):218-222.
- [10] 张志良,瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2003:123-124,188-189.
- [11] 吴明江,于萍. 植物过氧化物酶的生理作用[J]. 生物学杂志,1994(6):14-16.
- [12] GEBHARDT K. Activation of indole-3-acetic acid oxidase from horseradish and prunus by phenols and hydrogen peroxide (H_2O_2) [J]. Plant Growth Regulation,1982,1(2):73-84.
- [13] HAISSEFF B E. Metabolic processes in adventitious rooting of cuttings [M]//JACKSON M B. New root formation in plant and cuttings. Lancaster:Martinus Nijhoff,1986:141-189.
- [14] 扈红军,曹帮华,尹伟伦,等. 榛子嫩枝扦插生根相关氧化酶活性变化及繁殖技术[J]. 林业科学,2008,44(6):60-65.
- [15] 付喜玲,郭先锋,康晓飞,等. IBA对芍药扦插生根的影响及生根过程中相关酶活性的变化[J]. 园艺学报,2009,36(6):849-854.
- [16] 张玉臣. 木香扦插繁殖技术及生根机理研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2010.
- [17] 宋金耀,何文林,李松波,等. 毛白杨嵌合体扦插生根相关理化特性分析[J]. 林业科学,2001,37(5):64-67.
- [18] BITTIN A, EXCESS N. Application inhibits rooting: The influence of nutrient supply to azalea motherplant on the rooting of cuttings [J]. Gartnerborse und Gartenwelt,1990,90(6):232-255.
- [19] 宋丽红,曹帮华. 光叶楮扦插生根的吲哚乙酰胺氧化酶、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.
- [20] 曾端香,尹伟伦,王玉华,等. 5个矮生牡丹品种黄化嫩枝扦插技术研究[J]. 园艺学报,2005,32(4):725-728.
- [21] 钟军,贺再新,孙焕良,等. 苤蓝打顶对低位分枝扦插苗生长发育和纤维产量品质的影响[J]. 华北农学报,2012(6):134-140.
- [22] 王连润,杨松光,刘家迅,等. 接种与非接种菌根菌条件下蓝莓扦插苗生长差异比较[J]. 西南农学报,2012(5):1823-1826.
- [23] 田国江. 河北杨地膜覆盖扦插育苗技术在隆德县的推广应用[J]. 内蒙古农业科技,2013(1):118.
- [24] 张雅新,陈洪强,王婷,等. 夏黑葡萄扦插快繁与丰产栽培技术[J]. 宁夏农林科技,2011,52(1):93-94.