

# 扦插时间对蝟实插穗生根率和相关指标的影响及生根效应综合评价

刘立成, 余刚<sup>①</sup>, 张莹, 韩桂军, 陈昊

(陕西省西安植物园, 陕西 西安 710061)

**摘要:** 在3月5日至9月5日期间,以蝟实(*Kolkwitzia amabilis* Graebn.)顶端枝条作为插穗,每隔10 d扦插1次,对扦插10 d后插穗的生根率,内源吲哚乙酸(IAA)、脱落酸(ABA)和赤霉素( $GA_3$ )含量,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性以及可溶性糖和可溶性蛋白质含量进行比较,对生根率与上述8项指标进行相关性分析和回归分析,并对这8项指标进行主成分分析;在此基础上,对不同扦插时间插穗的生根效应进行隶属函数值分析和综合评价。结果显示:随扦插时间推移,蝟实插穗的生根率总体上呈现先升高后降低的变化趋势,5月下旬至7月中旬期间扦插的插穗生根率相对较高,并以6月中旬至7月中旬期间扦插的插穗为最高,总体在70%以上。随扦插时间推移,插穗中IAA和可溶性糖含量均呈波动变化趋势;而插穗中的ABA含量、POD活性和可溶性蛋白质含量总体呈先逐渐升高后逐渐降低的趋势, $GA_3$ 含量和CAT活性变化不明显,SOD活性总体上呈缓慢升高的趋势。相关性分析结果表明:蝟实插穗的生根率与IAA含量、POD活性和可溶性蛋白质含量呈极显著( $P < 0.01$ )正相关,与CAT活性呈极显著负相关。主成分分析结果显示:前2个主成分的累计贡献率为84.383%,说明前2个主成分能够基本反映蝟实扦插生根的主要影响因子,其中第1主成分中可溶性蛋白质和IAA含量为主要因子,第2主成分中CAT活性为主要因子。综合评价结果显示:5月下旬至7月中旬期间扦插的蝟实插穗的综合评价指数( $D$ )较高,为0.747~0.983,与插穗生根率的实测值基本吻合。研究结果表明:在中国西北地区,蝟实插穗的适宜扦插时间为5月下旬至7月中旬,并以6月中旬至7月中旬为最佳;扦插过程中喷施适当浓度IAA溶液可以提高插穗的生根率。

**关键词:** 蝟实; 扦插时间; 生根率; 内源激素; 生化指标; 综合评价指数

中图分类号: Q945.52; S793.9.05 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2016)02-0048-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2016.02.06

**Effect of cutting time on rooting rate and related indexes of cuttings of *Kolkwitzia amabilis* and comprehensive evaluation on rooting effect** LIU Licheng, YU Gang<sup>①</sup>, ZHANG Ying, HAN Guijun, CHEN Hao (Xi'an Botanical Garden of Shaanxi Province, Xi'an 710061, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2016, 25(2): 48-54

**Abstract:** During the period from March 5th to September 5th, taking top branches of *Kolkwitzia amabilis* Graebn. as cuttings, cutting one time every 10 d, rooting rate, contents of endogenous indoleacetic acid (IAA), abscisic acid (ABA) and gibberellin ( $GA_3$ ), activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT), contents of soluble sugar and soluble protein in cuttings after cut for 10 d were compared, and correlation analysis and regression analysis on rooting rate with above eight indexes were carried out, also, principal component analysis on these eight indexes was carried out. On this basis, subordinate function value analysis and comprehensive evaluation on rooting effect of cuttings at different cutting times were carried out. The results show that along with cutting time, rooting rate of cuttings of *K. amabilis* generally appears the changing trend of firstly increasing and then decreasing, that of cuttings is relatively high during the period from the last ten-day of May to the middle

收稿日期: 2015-07-24

基金项目: 陕西省科技统筹创新工程计划项目(2011KTCL02-23)

作者简介: 刘立成(1982—),男,甘肃庆阳人,硕士研究生,助理研究员,主要从事植物生理生态学研究。

<sup>①</sup>通信作者 E-mail: yugang0802@qq.com

ten-day of July, and that is the highest during the period from the middle ten-day of June to the middle ten-day of July generally with a value of above 70%. Along with cutting time, contents of IAA and soluble sugar in cuttings appear fluctuant changing trend. While, ABA content, POD activity and soluble protein content generally appear the trend of firstly increasing gradually and then decreasing gradually, changes in GA<sub>3</sub> content and CAT activity are not obvious, and SOD activity generally appears the trend of increasing slowly. The correlation analysis result shows that there are extremely significantly ( $P < 0.01$ ) positive correlations of rooting rate of cuttings of *K. amabilis* with IAA content, POD activity and soluble protein content, and extremely significantly negative correlation with CAT activity. The principal component analysis result indicates that cumulative contribution rate of the first two principal components is 84.383%, meaning that the first two principal components can basically reflect the main affecting factors for rooting of cuttings of *K. amabilis*, in which, contents of soluble protein and IAA are main factor in the first principal component, and CAT activity is main factor in the second principal component. The comprehensive evaluation result shows that comprehensive evaluation index ( $D$ ) of cuttings of *K. amabilis* is high with a value of 0.747–0.983 during the period from the last ten-day of May to the middle ten-day of July, which is basically identical with measured value of rooting rate of cuttings. It is suggested that in the northwest of China, appropriate cutting time of cuttings of *K. amabilis* is the period from the last ten-day of May to the middle ten-day of July, and the period from the middle ten-day of June to the middle ten-day of July is the best. In cutting process, spraying appropriate concentration of IAA solution can improve rooting rate of cuttings.

**Key words:** *Kolkwitzia amabilis* Graebn.; cutting time; rooting rate; endogenous hormone; biochemical index; comprehensive evaluation index

蝟实 (*Kolkwitzia amabilis* Graebn.) 为忍冬科 (Caprifoliaceae) 蝟实属 (*Kolkwitzia* Graebn.) 落叶灌木, 为中国特有种, 因果实密被毛刺、形如刺猬而得名。蝟实的植株紧凑、树干丛生、花序紧簇、花色艳丽且盛开时繁花似锦, 具有较高的观赏价值及园林应用前景。近年来, 蝟实的生境遭到人为破坏加上其自身的生物学特性, 导致蝟实在自然界中的生存受到威胁, 已被列为国家三级稀有保护植物及陕西省第一批地方保护植物<sup>[1-3]</sup>。然而, 由于蝟实种皮坚硬、种子不易发芽, 且成苗率极低, 很大程度上限制了蝟实的繁殖、保护和利用<sup>[4]</sup>。

扦插是植物无性繁殖的主要途径之一。目前关于蝟实扦插方面的研究主要包括外源激素种类和浓度、基质筛选、插穗年龄和位置以及插穗状态等<sup>[4-6]</sup>, 而对扦插过程中其体内内源激素含量、抗氧化酶活性和可溶性物质含量的变化以及扦插时间对生根率的影响等方面的研究相对较少<sup>[4]</sup>。

为建立高效、稳定的蝟实扦插繁殖技术, 作者对不同扦插时间蝟实插穗的生根情况及其内源激素和可溶性物质含量、抗氧化酶活性等指标的变化进行分析, 并对各指标进行相关性分析、回归分析和主成分分析; 在此基础上, 对不同扦插时间插穗的生根效应进行隶属函数值分析和综合评价, 初步确定蝟实扦插生根的最佳时间及其扦插生根的生理机制, 以期

稀濒危植物蝟实的有效保护和合理开发应用奠定研究基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试插穗采自陕西省西安植物园花卉区种植的蝟实成年植株, 为当年生半木质化枝条; 采穗母株引自秦岭地区, 株高约 2 m、冠径约 1.5 m、树龄 10 a。

### 1.2 方法

1.2.1 扦插方法 于 2013 年 3 月 5 日至 2013 年 9 月 5 日在西安植物园自然光照温室内的全光喷雾扦插苗床上进行扦插实验, 室内温度与室外温度基本一致; 在每月的 5 日、15 日和 25 日分别扦插 1 批, 每批 150 支插穗, 分成 3 组, 每组 50 支插穗, 每组视为 1 个重复, 共扦插 19 批。插穗长度 12 ~ 15 cm, 均保留 2 节, 下剪口距节 0.5 cm 左右, 剪口均斜向上呈 45° 夹角, 每个插穗保留 2 ~ 4 片叶和顶端, 并修剪去叶片的前段部分<sup>[7]</sup>; 将修剪后的插穗插入扦插基质 (新鲜河沙和珍珠岩等体积混合) 中<sup>[8]</sup>, 根据当天天气情况于每日早、中、晚分别进行人工喷雾, 以保持基质湿润。扦插 10 d 后, 观察不同批次插穗的生根情况并计算生根率, 计算公式为“生根率 = (生根的插穗数/插穗总数) × 100%”; 同时, 随机采集插穗顶端的幼嫩茎 (不

低于 50 g),放入保温盒中并迅速带回实验室,置于 -20 °C 冰箱中保存、备用。

1.2.2 内源激素含量及部分生化指标的测定 采用酶联免疫法(ELISA)<sup>[9]</sup>测定吲哚乙酸(IAA)、赤霉素(GA<sub>3</sub>)和脱落酸(ABA)含量;采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法<sup>[10]</sup>测定超氧化物歧化酶(SOD)活性;采用愈创木酚比色法<sup>[11]</sup>测定过氧化物酶(POD)活性;采用紫外分光光度法<sup>[12]</sup>测定过氧化氢酶(CAT)活性;采用考马斯亮蓝 G250 染色法<sup>[13]</sup>测定可溶性蛋白质含量;采用蒽酮比色法<sup>[14]</sup>测定可溶性糖含量。每个指标重复测定 3 次,结果取平均值。

### 1.3 数据处理和统计分析

利用 SPSS 19.0 统计分析软件对生根率与上述 8 项指标进行相关性分析和回归分析,并对这 8 项指标进行主成分分析;基于主成分分析结果,采用隶属函数法<sup>[15-17]</sup>计算不同扦插时间插穗各主成分的得分(CI)和隶属函数值(U),并计算不同扦插时间插穗生根效应的综合评价指数(D),其中 D 值越高表明插穗的生根能力越强。

## 2 结果和分析

### 2.1 不同日期扦插的蛴实插穗生根率的比较

不同日期扦插 10 d 后蛴实插穗生根率的比较结果见表 1。实验结果表明:蛴实插穗的生根率随扦插日期推移总体上呈现先升高后降低的变化趋势。3 月 5 日扦插的插穗生根率均为 0.00%,表明该日期扦插的插穗均未生根;3 月 15 日和 3 月 25 日扦插的插穗生根数极少,生根率仅为 1.33%;4 月 5 日至 5 月 15

表 1 不同日期扦插 10 d 后蛴实插穗生根率的比较 ( $\bar{X}\pm SD$ )

Table 1 Comparison on rooting rate of cuttings of *Kolkwitzia amabilis* Graebn. after cut for 10 d at different dates ( $\bar{X}\pm SD$ )

扦插日期 Cutting date (MM-DD)	生根率/% Rooting rate	扦插日期 Cutting date (MM-DD)	生根率/% Rooting rate
03-05	0.00±0.00	06-15	75.67±4.04
03-15	1.33±1.15	06-25	74.00±9.64
03-25	1.33±1.15	07-05	66.33±11.06
04-05	5.33±1.15	07-15	74.30±4.04
04-15	4.67±3.05	07-25	29.67±10.97
04-25	5.33±2.31	08-05	34.00±6.93
05-05	10.67±3.06	08-15	18.67±7.23
05-15	16.67±1.15	08-25	11.00±3.00
05-25	50.00±7.21	09-05	6.33±1.53
06-05	64.33±0.67		

日期间扦插的插穗生根率也较低(仅为 4.67% ~ 16.67%)且增长缓慢;5 月 25 日以后扦插的插穗生根率明显增大,其中,6 月 15 日至 7 月 15 日期间扦插的插穗生根率总体保持在 70% 以上,并且插穗生根数量多、生长迅速;7 月 25 日以后扦插的插穗生根率总体上呈逐渐下降的趋势,至 9 月 5 日扦插的插穗生根率降为 6.33%。

### 2.2 不同日期扦插的蛴实插穗中内源激素含量及部分生化指标的比较

不同日期扦插 10 d 后,蛴实插穗中内源激素含量的比较结果见表 2,插穗中部分生化指标的比较结果见表 3。

由表 2 可见:随扦插时间推移,蛴实插穗中的吲哚乙酸(IAA)含量变化大体呈“降低—升高—降低—升高”的波动趋势;5 月 15 日扦插的插穗中 IAA 含量开始明显升高,而 7 月 5 日扦插的插穗中 IAA 含量最高,达到 145.09 ng·g<sup>-1</sup>,之后逐渐降低,8 月份扦插的插穗中 IAA 含量降至较低水平。3 月 5 日至 4 月 15 日期间扦插的插穗中脱落酸(ABA)含量随扦插时间推移逐渐升高,之后总体上呈现逐渐降低的趋势。

表 2 不同日期扦插 10 d 后蛴实插穗内源激素含量的比较 ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>  
Table 2 Comparison on endogenous hormone content in cuttings of *Kolkwitzia amabilis* Graebn. after cut for 10 d at different dates ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

扦插日期 Cutting date (MM-DD)	内源激素含量/ng·g <sup>-1</sup> Content of endogenous hormone		
	IAA	ABA	GA <sub>3</sub>
03-05	75.26±0.01	145.54±0.02	3.53±0.06
03-15	85.50±0.09	150.18±0.24	3.29±0.05
03-25	65.60±0.06	160.49±0.25	4.14±0.13
04-05	60.26±0.04	175.28±0.08	4.35±0.21
04-15	64.23±0.02	185.22±0.03	4.62±0.16
04-25	56.56±0.02	165.83±0.05	4.19±0.06
05-05	56.08±0.33	175.45±0.05	3.37±0.27
05-15	89.66±0.04	159.95±0.53	3.68±0.02
05-25	100.26±0.21	172.42±0.37	3.95±0.22
06-05	110.48±0.08	150.30±0.13	3.87±0.15
06-15	120.05±0.09	160.33±0.06	4.14±0.05
06-25	125.34±0.03	155.59±0.26	4.55±0.05
07-05	145.09±0.03	126.92±2.76	5.11±0.08
07-15	110.25±0.02	138.56±5.77	5.37±0.02
07-25	90.51±0.09	149.33±6.54	5.50±0.10
08-05	85.49±0.06	123.57±5.68	4.63±0.15
08-15	62.35±0.01	119.63±0.19	4.03±0.15
08-25	70.26±0.02	115.30±0.05	5.33±0.15
09-05	75.51±0.06	135.82±0.03	4.13±0.15

<sup>1)</sup> IAA: 吲哚乙酸 Indoleacetic acid; ABA: 脱落酸 Abscisic acid; GA<sub>3</sub>: 赤霉素 Gibberellin.

表3 不同日期扦插10 d后蛴实插穗部分生化指标的比较( $\bar{X} \pm SD$ )Table 3 Comparison on some biochemical indexes in cuttings of *Kolkwitzia amabilis* Graebn. after cut for 10 d at different dates ( $\bar{X} \pm SD$ )

扦插日期 Cutting date (MM-DD)	酶活性 <sup>1)</sup> /U · mg <sup>-1</sup> Enzyme activity <sup>1)</sup>			可溶性糖含量/mg · g <sup>-1</sup> Content of soluble sugar	可溶性蛋白质含量/mg · g <sup>-1</sup> Content of soluble protein
	SOD	POD	CAT		
03-05	250.29±0.06	300.33±0.15	41.61±4.45	41.15±3.57	18.66±2.65
03-15	260.14±0.01	350.35±0.19	44.30±4.14	38.68±1.59	22.69±3.61
03-25	245.57±0.08	345.40±0.22	52.14±3.25	53.33±3.27	20.87±3.11
04-05	256.78±0.20	310.27±0.08	61.04±5.20	31.26±3.62	20.65±1.37
04-15	254.62±0.33	356.23±0.03	40.36±4.40	53.78±9.38	25.16±2.94
04-25	265.80±0.63	344.56±0.01	50.12±1.78	66.20±1.45	21.80±1.48
05-05	267.64±0.27	321.53±0.06	54.51±4.05	68.25±4.57	27.13±2.81
05-15	277.80±0.28	392.25±0.16	52.71±2.45	41.15±4.18	31.59±5.85
05-25	287.69±0.27	400.35±0.15	34.73±3.73	66.76±4.49	33.08±3.13
06-05	285.83±0.29	415.59±0.04	38.19±3.77	77.00±5.62	36.39±8.93
06-15	395.93±0.50	450.30±0.03	33.45±1.98	82.75±6.68	35.58±7.38
06-25	298.83±1.13	420.35±0.05	30.28±2.50	78.54±4.58	36.32±2.69
07-05	300.80±0.65	415.56±0.01	36.14±5.35	87.62±3.29	41.53±6.09
07-15	313.44±1.15	369.53±0.27	34.25±4.50	66.02±4.46	38.48±2.42
07-25	330.20±0.18	375.76±0.11	36.14±3.06	59.50±3.99	35.53±3.69
08-05	350.22±0.20	385.51±0.11	45.14±4.30	76.66±3.84	33.92±4.19
08-15	345.50±0.46	395.32±0.01	53.26±2.08	85.03±4.55	25.12±3.68
08-25	365.58±0.38	415.43±0.18	61.70±6.56	89.41±4.94	23.05±3.57
09-05	370.18±0.07	365.70±0.13	63.62±8.43	87.16±7.33	22.65±3.82

<sup>1)</sup>SOD: 超氧化物歧化酶 Superoxide dismutase; POD: 过氧化物酶 Peroxidase; CAT: 过氧化氢酶 Catalase.

不同日期扦插的插穗中的赤霉素(GA<sub>3</sub>)含量变化不明显,基本上处于平稳状态。

由表3可见:随扦插时间推移,蛴实插穗中的超氧化物歧化酶(SOD)活性总体上呈现缓慢升高的趋势,但6月15日扦插的插穗中出现异常峰值(395.93 U · mg<sup>-1</sup>),这可能与2014年6月中旬的持续高温有关。随扦插时间推移,插穗中的过氧化物酶(POD)活性总体呈现先逐渐升高后逐渐降低的趋势,但3月5日至5月5日期间扦插的插穗中POD活性呈现一定的波动性,并处于相对较低水平。不同日期扦插的插穗中过氧化氢酶(CAT)活性则一直处于较稳定的状态,变化不明显。

由表3还可见:4月5日扦插的插穗中可溶性糖含量较前期扦插的插穗大幅降低,而4月15日至5月5日期间扦插的插穗中可溶性糖含量则处于平缓的高峰稳定期,在5月15日扦插的插穗中可溶性糖含量则大幅降低,之后总体上呈持续升高的趋势,并在7月5日扦插的插穗中达到此阶段的最高值(87.62 mg · g<sup>-1</sup>),在随后扦插的插穗中逐渐降低,在8月份扦插的插穗中又逐渐升高。插穗中的可溶性蛋白质含量总体上表现为随扦插时间推移先逐渐升高后逐渐降低的趋势,并在7月5日扦插的插穗中达到

最高值(41.53 mg · g<sup>-1</sup>)。

### 2.3 蛴实插穗生根率与内源激素含量和部分生化指标的相关性分析及回归分析

相关性分析结果表明:蛴实插穗的生根率与吲哚乙酸含量(IAA)、过氧化物酶(POD)活性和可溶性蛋白质含量均呈极显著( $P < 0.01$ )正相关,相关系数分别为0.876、0.713和0.928;与过氧化氢酶(CAT)活性呈极显著负相关,相关系数为-0.767。蛴实插穗生根率与赤霉素(GA<sub>3</sub>)含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性和可溶性糖含量均呈不显著正相关,相关系数分别为0.374、0.373和0.364;与脱落酸含量呈不显著负相关,相关系数为-0.173。

以蛴实插穗生根率为因变量 $y$ ,以IAA含量( $x_1$ )、POD活性( $x_2$ )、CAT活性( $x_3$ )和可溶性蛋白质含量( $x_4$ )为自变量进行回归分析,获得的回归方程为 $y = 0.031 - 0.013x_1 - 49.618x_1^3$ 、 $y = 0.001 + 0.001x_2 - 5.060x_2^2 + 3.053x_2^3$ 、 $y = 0.022 + 0.085x_3 - 0.003x_3^2 + 2.112x_3^3$ 和 $y = 0.001 - 0.017x_4 + 0.001x_4^2$ 。

### 2.4 蛴实插穗中内源激素含量和部分生化指标的主成分分析

对蛴实插穗的吲哚乙酸(IAA)、脱落酸(ABA)和赤霉素(GA<sub>3</sub>)含量,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化

物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性,以及可溶性糖(SS)和可溶性蛋白质(SP)含量共8项指标进行主成分分析,结果见表4。

由表4可以看出:第1和第2主成分的贡献率分别为67.538%和16.846%,累计贡献率为84.383%,说明前2个主成分能够基本反映蛭实扦插生根的主要影响因子。在第1主成分中,IAA和SP含量的特征向量数值明显高于其他6个指标,分别为0.962和0.968,表明第1主成分中IAA和SP含量为主要因子;在第2主成分中,CAT活性的特征向量数值最高,为0.973,表明第2主成分中CAT活性为主要因子。

## 2.5 不同日期扦插的蛭实插穗生根效应的隶属函数值分析及综合评价

基于主成分分析结果,采用隶属函数法对不同扦插时间蛭实插穗生根效应的主成分得分(CI)、隶属函数值(U)和综合评价指数(D)进行计算,并基于D值进行排序分析,结果见表5。

由表5可见:3月5日至4月5日期间扦插的蛭实插穗生根效应的D值为0.150~0.326,5月15日扦插的插穗生根效应的D值开始明显上升,并在6月15日扦插的插穗中达到最大值(0.983),随后开始下降。按照D值判定,5月25日至7月15日期间扦插

表4 蛭实插穗中内源激素含量和部分生化指标的主成分分析结果

Table 4 Result of principal component analysis on endogenous hormone content and some biochemical indexes in cuttings of *Kolkwitzia amabilis* Graebn.

主成分 Principal component	各指标的特征向量 <sup>1)</sup> Eigenvector of each index <sup>1)</sup>								贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate
	IAA	ABA	GA <sub>3</sub>	SOD	POD	CAT	SS	SP		
1	0.962	0.396	0.689	0.668	0.796	-0.114	0.605	0.968	67.538	67.538
2	0.021	0.623	0.569	0.668	0.576	0.973	0.585	0.142	16.846	84.383

<sup>1)</sup> IAA: 吲哚乙酸含量 Indoleacetic acid content; ABA: 脱落酸含量 Abscisic acid content; GA<sub>3</sub>: 赤霉素含量 Gibberellin content; SOD: 超氧化物歧化酶活性 Superoxide dismutase activity; POD: 过氧化物酶活性 Peroxidase activity; CAT: 过氧化氢酶活性 Catalase activity; SS: 可溶性糖含量 Soluble sugar content; SP: 可溶性蛋白质含量 Soluble protein content.

表5 不同扦插日期蛭实插穗生根的隶属函数值分析和综合评价结果<sup>1)</sup>

Table 5 Results of subordinate function value analysis and comprehensive evaluation on rooting of cuttings of *Kolkwitzia amabilis* Graebn. at different cutting dates<sup>1)</sup>

扦插日期 Cutting date (MM-DD)	CI <sub>1</sub>	CI <sub>2</sub>	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	D	排序 Order
03-05	-5.706	-3.988	0.000	0.749	0.150	17
03-15	-3.926	-2.939	0.049	0.554	0.150	17
03-25	-3.738	-1.030	0.095	0.379	0.152	16
04-05	-4.810	-0.617	0.144	0.363	0.188	15
04-15	-1.741	-0.563	0.164	0.625	0.257	14
04-25	-3.069	-0.306	0.204	0.542	0.271	13
05-05	-3.439	-0.435	0.292	0.463	0.326	11
05-15	-0.907	-0.413	0.526	0.482	0.518	8
05-25	1.557	-0.349	0.720	0.856	0.747	6
06-05	2.439	-0.190	0.832	0.881	0.842	3
06-15	5.686	2.179	1.000	0.914	0.983	1
06-25	4.214	0.140	0.802	1.000	0.841	4
07-05	5.842	0.648	0.909	0.979	0.923	2
07-15	3.218	-0.193	0.734	0.992	0.785	5
07-25	2.560	0.475	0.641	0.777	0.669	7
08-05	1.697	0.709	0.493	0.618	0.518	8
08-15	-0.739	0.971	0.432	0.387	0.423	10
08-25	1.283	3.418	0.345	0.061	0.288	12
09-05	-0.423	2.485	0.177	0.000	0.141	19

<sup>1)</sup> CI<sub>1</sub>, CI<sub>2</sub>: 分别为第1和第2主成分的得分 Scores of the first and the second principal components, respectively; U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub>: 分别为第1和第2主成分的隶属函数值 Subordinate function values of the first and the second principal components, respectively; D: 综合评价指数 Comprehensive evaluation index.

的蝟实插穗的生根效果均较好,并以6月15日扦插的插穗的生根效果最佳。

### 3 讨论和结论

蝟实具有初夏开花、适应性强等诸多优点,并具有明显的地域特色,是一种极具观赏价值的城市绿化花木,应用前景广阔<sup>[6,18]</sup>,但由于其自身生物学特性的限制,目前尚无法实现规模化繁殖和生产。梁有旺等<sup>[19]</sup>和韩路弯等<sup>[20]</sup>的研究结果表明:扦插时间对植物插穗的生根具有明显影响。在西安地区,蝟实于每年3月份开始枝条萌动,4月份开始枝条生长,4月下旬进入花期,5月中旬花期结束且枝条生长减缓,5月下旬开始结果,并在9月下旬开始进入第2生长期,枝条开始再次伸展,节间发育增速,顶芽不断伸长。本研究采用3月初至9月初期间采集的蝟实插穗进行扦插,结果显示5月下旬至7月中旬期间扦插的蝟实插穗的生根率均较高,并以6月中旬至7月中旬期间扦插的插穗的生根效果最好,虽然与传统的扦插时间(春秋两季)有较大差异,但这一时期是蝟实结束开花进入果实成熟的时期,植株的内源激素水平发生变化,枝条生长日渐成熟,且气温也处于全年较高的季节,这些因素均与蝟实插穗的生根有关。

生长素与根原基发生密切相关,在不定根形成的各阶段都有重要的调节作用<sup>[21-22]</sup>。吲哚乙酸(IAA)为重要的生长素之一,具有抑制插穗顶芽生长、促进不定根形成的作用,本研究中,蝟实插穗的内源 IAA 含量与生根率呈极显著正相关,对蝟实插穗顶芽的生长有抑制作用,从而促进其根系萌发;主成分分析结果也表明,IAA 含量为影响蝟实插穗生根的第1主成分中的主要因子,其特征向量数值为0.962,可见,IAA 含量在蝟实扦插生根过程中具有重要作用,较高含量的 IAA 可有效提高蝟实插穗的生根率,因此,建议在蝟实的扦插繁殖过程中喷施适当浓度 IAA 溶液以提高其插穗的生根率。蝟实插穗的内源脱落酸(ABA)含量与其生根率呈不显著负相关,说明较低含量 ABA 对蝟实插穗根和芽的生长有利,推测 ABA 可能通过影响生长素在根部的分布和含量,进而影响根尖分生区的细胞分裂,从而抑制根的伸长<sup>[23]</sup>。而蝟实插穗的内源赤霉素(GA<sub>3</sub>)含量则与其生根率呈不显著正相关,说明 GA<sub>3</sub> 含量变化对蝟实插穗生根无明显影响。

前人的研究结果表明:过氧化物酶(POD)活性可影响植物体内的 IAA 含量,并直接影响插穗不定根的形成<sup>[23-25]</sup>;过氧化氢酶(CAT)是细胞内清除活性氧的重要保护酶类<sup>[26-29]</sup>,可将扦插过程中插穗产生的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 转化为 H<sub>2</sub>O,以减少活性氧对机体的毒害作用。本文的研究结果表明:蝟实插穗的 POD 和 CAT 活性与生根率分别呈极显著的正相关和负相关,并且二者在影响蝟实插穗生根的第2主成分中的特征向量数值均较高(分别为0.579和0.973),而超氧化物歧化酶(SOD)活性则与生根率呈不显著正相关,部分印证了前人的研究结果。然而,有关蝟实插穗内源激素含量与保护酶活性间的交互作用尚不清楚,有待进一步深入研究。

上述研究结果表明:在3月份枝条萌动时扦插的蝟实插穗的可溶性糖含量较低,4月15日以后扦插的插穗中可溶性糖含量则保持在较高水平;5月中旬为花期,嫩枝逐渐转化为成熟枝条,此时期扦插的插穗中可溶性糖含量有所降低且之后逐渐升高,虽然蝟实插穗中的可溶性糖含量随扦插日期的推移呈波动的变化趋势,但其可溶性糖含量与生根率无显著相关性,说明可溶性糖含量并非蝟实插穗生根的主要影响因素。植物的可溶性蛋白质具有运输协调、免疫保护、产生和传导神经活动、控制生长分化等功能,并能够构成细胞的膜系统<sup>[30-31]</sup>;蝟实插穗中可溶性蛋白质含量与生根率呈极显著正相关(相关系数为0.928),并且,可溶性蛋白质含量在第1主成分中的特征向量数值为0.968,说明可溶性蛋白质含量是蝟实扦插插穗生根的主要影响因素。

综合评价指数(D)能够反映插穗的生根能力,D值越接近1,表明插穗的生根能力越强。综合评价结果显示:5月下旬至7月中旬期间扦插的蝟实插穗的生根能力较强,以6月15日扦插的插穗生根能力最强,这一研究结果与不同扦插时间蝟实插穗生根率的实际测定结果基本吻合,说明可根据D值来判定蝟实插穗的生根能力。

#### 参考文献:

- [1] 沈植国,谭运德,薛茂盛,等.我国稀有保护植物蝟实研究进展[J].江苏农业科学,2012,40(4):193-197.
- [2] 李智选,苏建文,王玛丽.稀有花卉植物蝟实在华山地区的种群繁育和分布特征[J].西北植物学报,2004,24(11):2113-2117.
- [3] 中国科学院植物研究所.中国珍稀濒危植物[M].上海:上海

- 教育出版社, 1989.
- [4] 周国全. 优良观赏植物——蜡实嫩枝繁殖技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学林学院, 2006.
- [5] 柏国清, 陈智坤, 李为民, 等. 蜡实的研究开发与利用进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(10): 39-43.
- [6] 郭魏, 沈植国, 韩健, 等. 珍稀园林植物蜡实的繁殖栽培技术及其开发利用[J]. 现代农业科技, 2007(19): 63-64.
- [7] 周志刚, 刘果厚, 邱润生, 等. 珍稀濒危植物四合木嫩枝扦插生根特性的研究[J]. 种子, 2011, 30(12): 21-25, 29.
- [8] 郭素娟. 林木扦插生根的解剖学及生理学研究进展[J]. 北京林业大学学报, 1997, 19(4): 65-69.
- [9] WEILER E W. An enzyme-immunoassay for *cis*-(+)-abscisic acid [J]. *Physiologia Plantarum*, 1982, 54: 510-514.
- [10] BEAUCHAMP C, FRIDOVICH I. Superoxide dismutase; improved assays and an assay applicable to acrylamide gels [J]. *Analytical Biochemistry*, 1971, 44: 276-287.
- [11] 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.
- [12] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] 俞建瑛, 蒋宇, 王善利. 生物化学实验技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [14] 王晶英, 敖红, 张杰, 等. 植物生理生化实验技术与原理[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2003.
- [15] 李叶云, 舒锡婷, 周月琴, 等. 自然越冬过程中3个茶树品种的生理特性变化及抗旱性评价[J]. 植物资源与环境学报, 2014, 24(3): 52-58.
- [16] 孙敬爽, 贾桂霞, 陶霞娟, 等. 越冬过程中刺柏属4树种叶片生理指标变化及适应性综合评价[J]. 植物资源与环境学报, 2013, 22(2): 59-66.
- [17] 柳新红, 何小勇, 苏冬梅, 等. 翅荚木种源抗寒性综合评价体系的构建与应用[J]. 林业科学, 2007, 43(10): 45-50.
- [18] 任学敏, 李思锋, 黎斌, 等. 秦岭山地主要野生木本观赏植物资源评价[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(5): 71-78.
- [19] 梁有旺, 杜旭华, 王顺财, 等. 楸树嫩枝扦插生根的主要影响因素分析[J]. 植物资源与环境学报, 2008, 17(4): 46-50.
- [20] 韩路弯, 华建峰, 刘江, 等. 不同基质和扦插时间对‘中山杉118’插条生根的影响[J]. 亚热带植物科学, 2015, 44(2): 150-153.
- [21] 李小方, 汤章城, 何玉科. 不定根的形态发生与调节机制[J]. 细胞生物学杂志, 2001, 23(3): 130-136.
- [22] 赵敏冲, 李莲芳, 李根前, 等. IAA 和 IBA 对云南松插穗扦插生根的影响[J]. 西部林业科学, 2008, 37(3): 13-17.
- [23] 袁冰剑, 张森磊, 曹萌萌, 等. 脱落酸通过影响生长素合成及分布抑制拟南芥主根伸长[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(11): 1341-1347.
- [24] 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): 61-65.
- [25] 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, 38(3): 211-214.
- [26] 黄玉山, 罗广华, 关荣文. 镉诱导植物的自由基过氧化损伤[J]. 植物学报, 1997, 39(6): 522-526.
- [27] 赵云龙, 陈训, 李朝婵. 糙叶杜鹃扦插生根过程中生理生化分析[J]. 林业科学, 2013, 49(6): 45-51.
- [28] 谭健晖, 王以红, 陈学政, 等. 桉树无性繁殖衰退过程中的生理变化[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(3): 15-22.
- [29] 赵红梅, 胡松竹, 常勇. 刨花楠扦插繁殖中 POD、CAT 的测定[J]. 江西林业科技, 2010(1): 1-2.
- [30] 王新建, 何威, 张秋娟, 等. 豫楸1号扦插生根过程中营养物质含量及氧化酶类活性的变化[J]. 林业科学, 2009, 45(4): 156-161.
- [31] 梁文斌, 聂东伶, 吴思政, 等. 短梗大参扦插生根特性及相关生理生化分析[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2014, 40(5): 519-524.

(责任编辑: 佟金凤)

## 《植物资源与环境学报》启事

为了扩大科技期刊的信息交流、充分实现信息资源共享,《植物资源与环境学报》已先后加入“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据——数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”等网络文献资源数据库,凡在本刊发表的论文将编入数据库供上网交流、查阅及检索,作者的著作权使用费与本刊稿酬一次性给付,不再另付。如作者不同意将文章收编入数据库,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。

《植物资源与环境学报》仅接受网上投稿,惟一投稿网址: <http://www.cnbg.net/Tg/Contribute/Login.aspx>。投稿咨询电话: 025-84347014; E-mail: [zwzybjb@163.com](mailto:zwzybjb@163.com); QQ: 2219161478。

《植物资源与环境学报》编辑部  
2016-05