杜学梅,高敬东,王骞,等.影响'红满堂'绿枝插条生根因子的研究[J].山西农业大学学报(自然科学版),2024,44(1):43-52.
Du X M, Gao J D, Wang Q, et al. Study on the factors influencing the rooting of green branch cuttings in 'Hongmantang' variety [J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2024,44(1):43-52.
doi: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202308025

影响'红满堂'绿枝插条生根因子的研究

杜学梅,高敬东,王骞,蔡华成,李春燕,王淑婷,杨廷桢*

(山西农业大学 果树研究所/果树种质创制和利用山西省重点实验室,山西 晋中 030801)

摘　要:[目的]研究扦插基质、插穗部位、生长调节剂及生长调节剂处理时间对'红满堂'品种绿枝扦插生根效果的影响,筛选绿枝扦插的适宜组合,可为其工厂化育苗提供理论依据和技术支撑。[方法]以'红满堂'品种当年生绿枝为材料,采用$L_9(3^4)$正交试验设计,从扦插后3 d开始,每3~4 d观察插穗基部变化,并记录插穗生根状况,在扦插50 d时,调查不同处理水平下插穗的生根率以及不定根数量、不定根均长和最长根长,综合评价生根效果。[结果]影响'红满堂'品种绿枝扦插生根的主导因子是插穗部位,同一枝条发育充实、木质化程度相对较高的中、下部位插穗的生根率(36.67%、40.67%)显著高于上部插穗(9.33%)。生长调节剂的种类、浓度和处理时间长短是影响扦插繁殖的关键因素,对扦插繁殖的生根率、不定根条数、不定根均长、最长不定根长和生根效果综合评价值均有极显著影响,不同生长调节剂和时间处理'红满堂'绿枝扦插的生根率、不定根条数、不定根均长、最长不定根长、生根效果综合评价值分别为14.67%~38.00% 和 23.33%~36.00%、2.40~5.03 条 和 3.40~4.57 条 、1.93~2.27 cm 和 1.10~2.93 cm、2.47~3.41 cm和1.66~3.39 cm、43.70%~86.40%和56.00%~81.07%。扦插基质显著影响不定根的生长发育,不同基质的不定根条数、不定根均长、生根效果综合评价值分别为3.37~5.00条、1.34~3.10 cm、58.43%~76.37%。[结论]'红满堂'品种绿枝扦插属综合生根类型,以愈伤组织生根类型为主。绿枝插穗生根最佳处理组合为:采用当年生绿枝下部做插穗,用生长调节剂IBA(吲哚丁酸)2500 mg•L^{-1}浸蘸插穗基部20 s,扦插于椰糠:蛭石:珍珠岩(1:2:4)的基质中。根系发育最佳的处理组合为:采用当年生绿枝的中间部位做插穗,用生长调节剂IBA 2500 mg•L^{-1}浸蘸插穗基部5 s,扦插于草炭:蛭石:珍珠岩(1:2:4)的基质中。

关键词:苹果属;'红满堂'品种;绿枝扦插;影响因子;生根率
中图分类号:S615　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2024)01-0043-10

'红满堂'是山西农业大学果树研究所将舞美(*Malus domestica* (L.) Borkh)和山定子种间杂(*Malus baccata* (L.) Borkh)交选育而成的苹果观赏良种,2014年通过山西省林木品种审定委员会审定。该品种树形紧凑,花期长,春可赏花,夏可赏叶、观果,而且适应性强,管理简单,是难得的观赏品种,亦可作为果园防风带、授粉树以及做为红肉苹果和紫叶类观赏树种的育种材料进一步利用。加之其果实原花青素、总花色苷含量丰富,黄酮类物质含量高[1],是医药品、保健品和化妆品行业难得的原料,产业化前景广阔。

扦插繁殖具有取材方便,可繁育周期长,繁育系数高,繁殖速度快,管理相对简单,能够保持母本优异性状等特点,是木本植物最经济、简单和快捷的育苗方法,已被广泛应用于园林生产中[2-3]。目前国内外尚无'红满堂'扦插繁殖方面的研究报道,急需开展扦插繁育技术的研究工作。

'红满堂'扦插生根性弱,扦插生根率低,不定根发生困难。插穗不定根的发生是一个复杂的生物学过程,受插穗生理状况、下切口形状,以及插穗的化学和物理处理方法、扦插基质状况、扦插时间和光温气湿等多因素影响。许多学者通过选择

收稿日期:2023-08-14　　**修回日期**:2023-10-18
基金项目:国家现代苹果产业技术体系晋中综合试验站(CARS-27);山西省科技重大专项计划课题(202201140601027-1);山西农业大学生物育种工程项目(YZGC034)
作者简介:杜学梅(ORCID:0009-0001-2873-2487),研究员,研究方向:果树新品种选育与栽培技术
*通信作者:杨廷桢(ORCID:0009-0008-3115-2265),研究员,研究方向:苹果砧木资源的评价、筛选及新品种选育,E-mail:ytzabc@126.com

幼龄、营养状况良好的插条及用激素处理插穗,调控环境光、温、湿等措施来提高难生根品种的生根率[4]。肖祖飞等[5]通过选用童期小金海棠绿枝做插穗获得的移栽率(94%)远高于成年期小金海棠绿枝插穗的移栽率(15%)。张广仁等[6]研究表明,同一枝条中部插条生根率(88%)远高于基部(63%)。史锋厚等[7]、许晓岗等[8]通过激素处理插穗,使难生根的红缨海棠、小金海棠、垂丝海棠获得了较高的生根率。这些研究为'红满堂'品种的扦插繁殖提供了参考。本试验选用'红满堂'品种绿枝做插穗,在预试验的基础上将扦插基质、生长调节剂、插穗选取部位和生长调剂处理时间作为影响扦插生根的主要因素,采用正交试验设计,研究各因素对其绿枝扦插生根的影响,探寻提高'红满堂'品种扦插生根率和提高根系质量的适宜组合,为建立'红满堂'扦插繁殖技术体系,实现工厂化繁育苗木提供科学依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在山西省晋中市山西农业大学果树研究所砧木课题组科研温室(112°29′32″E,37°20′36″N)进行。该温室为玻璃温室,东西走向,南北有通风窗,顶部有遮阳网,室内有风扇、湿帘及自动迷雾装置。扦插期间温室温度白天控制在25~30 ℃,夜间17 ℃以上。

1.2 试验设计和方法

1.2.1 试验设计

采用正交试验设计,按正交表$L_9(3^4)$安排试验[9]。以扦插基质(A)、插穗部位(B)、生长调节剂(C)和生长调节剂处理时间(D)为试验因素,每个因素下设3个水平,共9个处理,每个处理50个插穗,2次重复,具体见表1。

1.2.2 试验方法

(1)育苗穴盘、扦插基质、生长调节剂:育苗穴盘为50孔黑色育苗盘,规格54 cm×28 cm×9 cm,每个穴孔下面有1个渗水孔。扦插基质由珍珠岩、草炭、蛭石、椰糠按体积比配制(表1)。生长调节剂为根太阳(广东植物龙生物技术有限公司生产,主要成分6%胺鲜酯水剂)、吲哚丁酸(IBA,北京康倍斯科技有限公司产品)、吲哚乙酸(IAA,北京康倍斯科技有限公司产品)。

(2)插穗采集与处理:插穗选自山西农业大学果树研究所砧木课题组试验田4年生嫁接苗(基砧八棱海棠)。于2019年6月20日采集插条,选取生长健壮,生长势基本一致的植株作为采穗株,剪取树冠外围中上部新梢,将其基部浸入干净水中,运回预备间。将插条剪成上中下3个部位,枝条基部向上4~5个芽为下部插条,粗3.26~6.38 mm,长13.0~20.5 cm;再向上4~5个芽为中部插条,粗3.01~5.06 mm,长10.0~21.0 cm;其余为上部插条,带嫩梢,粗2.38~3.51 mm,长20.0~39.0 cm。插条下部切口斜剪,上部平剪,中、下部插条留上部2个叶片,每个叶片保留约1/2,上部插条去掉下部3~4叶,其余叶片全部保留。插穗制备好后立即按照试验处理浸蘸生根剂后扦插。

(3)扦插与插后管理:基质配制好后,装入穴盘,用800倍液多菌灵浇透,然后放入温室,不同处理及重复随机摆放。每个穴孔插1根插条,插深2~3 cm,插好后喷800倍多菌灵,并在上面用无滴膜搭设小拱棚。以后每7 d喷1次800倍多菌灵,视天气情况小拱棚内每日喷水雾3~4次,使棚内湿度保持在95%以上,叶片表面有一层水膜。小拱棚的温度控制在19~31 ℃。

(4)插后调查:插后每3~4 d观察1次插穗基部变化情况,记录插穗的生根过程。插后50 d时调查插穗生根率,每个插穗的一级不定根发生数、

表1 '红满堂'绿枝扦插正交试验设计的因素与水平

Table 1 Orthogonal factors and levels of 'Hongmantang' green branch cutting propagation

水平 Level	因素 Factor			
	扦插基质(A) Substrates(A)	插穗部位(B) Cutting position(B)	生长调节剂(C)/(mg•L^{-1}) Growth regulator(C)	处理时间(D)/s Treatment time(D)
1	草炭:蛭石:珍珠岩(1:2:4)	上	IBA(2500)	5
2	椰糠:蛭石:珍珠岩(1:2:4)	中	IBA+IAA(1800)	20
3	草炭:蛭石:珍珠岩(2:1:2)	下	根太阳50倍液	40

平均长、最长根长,以及二、三级根发生情况,并计算各处理生根效果综合评价值(用d表示)。插穗有长度≥1 mm的根生成视为生根插穗。插穗生根率计算公式为(生根插穗数/插穗总数)×100%。插穗根长用电子游标卡尺测量,长度精确到0.1 cm。

生根插穗根系的分级参考见图1),将根系分为3个等级,1、2、3等级分别评定为1、2、3分:

1级,一级根数量小于3条或一级根为3条,无二级根或二级根少于10条或一级根3条以上,但分布在插穗的同一侧;

2级,一级根3~5条,分布大体均匀,或一级根3条着生均匀,二级根多且发达,有多级根,能部分固定基质;

3级,一级根5条以上且分布均匀,根系发达,能很好地固定基质。

至少3位试验人员对根系进行综合评价,计算平均值为每个插穗的最后分值。将每个处理得1分的插穗计作d1,得2分的计作d2,得3分的计作d3,每处理生根效果综合评价值计算公式为d=[(d1×1+d2×2+d3×3)/(d1+d2+d3)×3]×100%。

1.3　数据处理

对每个处理的生根率、平均根长、最长根长、平均生根数及生根效果综合评价值,采用SPSS19.0和Excel2010进行极差和方差分析,对有显著性差异的指标进行Duncan多重比较。



图中(a)、(b)、(c)为1级根系;(d)为2级根系;(e)、(f)为3级根系

(a), (b) and (c) represent the first level root, (d) represents the second level root, and (e) and (f) represent the third level

图1　插穗根系分级参照图

Fig. 1　Reference chart for root classification of cuttings

2　结果与分析

2.1　'红满堂'绿枝插条生根过程及类型

扦插1周左右时大部分插穗基部没有明显变化,2周左右时插穗切口处开始有愈伤组织形成,有的插穗基部皮孔略显膨大;3周左右时大部分插穗切口处有愈伤组织形成,个别插穗皮部颜色变浅,插入部位稍有膨大或表皮开裂;4周左右大部

分插穗切口处愈伤组织上逐渐发育出透明的瘤状突起,个别插穗已有根尖突出;至5周左右切口周围愈伤组织处已可见白色幼嫩的根,皮部皮孔处也可见有白色的根尖;6周左右大部分插穗均已生根;7周左右此前个别未生根插穗亦开始生根,已生根插穗上仍有新根从愈伤组织伸出(图2)。



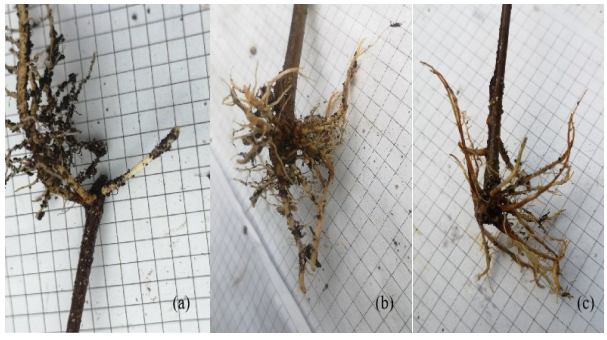
(a)、(e)为扦插第8天,(b)为扦插第17天,(c)、(f)为扦插第25天,(d)、(g)为扦插第35天;(a)、(b)、(c)、(d)为不定根从愈伤组织伸出过程,(e)、(f)、(g)为不定根从皮部伸出过程

(a) and (e) were the 8th day after cutting, (b) was the 17th day, (c) and (f) were the 25th day, and (d) and (g) were the 35th day;(a),(b),(c),(d): process of adventitious roots extending out from callus , (e), (f), (g) were process of adventitious roots extending out from the skin process

图2 '红满堂'绿枝扦插生根过程

Fig. 2 Rooting process of 'Hongmantang' green branch cutting

随机抽取9个处理共123支插穗调查其不定根发生类型,其中不定根从愈伤组织伸出的插穗有101支,占到82.1%,从皮部伸出根的17支,占到13.8%,从愈伤组织和皮部同时伸出根的5支,占到4.1%(图3)。初步认为,'红满堂'属综合生根类型,以愈伤组织生根类型为主。本研究只是从肉眼可见的外部形态对其生根类型进行了观察研究,后续应从解剖结构进行验证。



(a) 皮部生根,(b) 愈伤组织生根,(c) 皮部愈伤组织混合生根

(a) roots are induced from the bark , (b) roots are induced from callus tissue , (c) roots are induced from the bark and callus tissue

图3 '红满堂'插穗不定根发生类型

Fig. 3 The adventitious root types of 'Hongmantang' cuttings

2.2 不同处理对'红满堂'绿枝插条生根率影响

2.2.1 试验因素对'红满堂'绿枝插条生根率影响的极差分析

从正交试验极差值(R)可以判断各因素对试验指标的影响程度,R值越大说明该因素对指标的作用越明显[10],从表2可以看出,插穗部位的R值最大,其余依次为生长调节剂、药剂处理时间、扦插基质。说明插穗部位的选取对生根率的影响最大,其次便是生长调节剂,影响最小的是基质。

依据各因素各水平试验结果平均值的大小可

表2　'红满堂'生根性状指标的极差分析结果

Table 2　Analysis of rooting traits of 'Hongmantang'

生根性状指标 Rooting traits index	不同试验因素影响下的极差值(R) The range value affected by different test factors(R)				因素影响的主次顺序 The priority order of the factors	最优处理组合 Optimal combination
	扦插基质(A) Substrates(A)	插穗部位(B) Cutting position(B)	生长调节剂(C) Growth regulator(C)	处理时间(D) Treatment time(D)		
生根率/%	8.0	31.4	23.3	12.7	B>C>D>A	A2B3C1D2
不定根数/条	1.6	2.6	2.7	1.2	C>B>A>D	A2B2C1D3
不定根均长/cm	0.9	0.1	1.2	1.2	C=D>A>B	A1B1C1D1和A1B2C1D1
最长根长/cm	1.0	0.4	1.9	1.7	C>D>A>B	A1B2C1D1
生根效果综合评价值/%	17.6	39.7	42.7	25.1	C>B>D>A	A1B2C1D1

以确定正交试验的最佳组合,从表2可见,本试验中就生根率而言,最佳处理组合为A2B3C1D2,选取一年生插条靠下部位置,使用IBA浸蘸20 s,插于2号基质中,生根率最高。该处理组合为本研究正交表内第6个处理组合,在9个处理组合中生根率最高,达62%。由于生长调节剂对生根率存在极显著影响,后续试验可设置不同种类和浓度的生长调节剂进一步试验,以提高生根率达到工厂化育苗的要求。

2.2.2　试验因素对'红满堂'生根率影响的方差分析

极差分析简单方便,可直观反映试验结果,但极差分析不能反映试验的误差大小和精确度[9],因此对本试验结果进行了方差分析。结果表明,插穗部位、生长调节剂及其处理时间对生根率有极显著影响,基质处理对插条生根率无显著影响。

进一步对插穗部位、生长调节剂和生长调节剂处理时间进行多重比较(表3),结果表明,枝条中、下部位插穗生根率显著高于上部插穗,但中部和下部插穗间无显著差异;生长调节剂IBA处理和IBA+IAA处理插穗生根率显著高于根太阳处理,而IBA处理和IBA+IAA处理间无显著差异;生长调节剂处理20 s插穗生根率显著高于处理5 s和40 s的,而处理5 s和40 s间无显著性差异。

表3　'红满堂'绿枝插条生根率的多重比较

Table 3　Multiple comparison of rooting rate of 'Hongmantang' greenwood cutting

水平 Level	扦插基质 Substrates	插穗部位 Cutting position	生长调节剂 Growth regulator	处理时间 Treatment time
1	26.00a	9.33b	38.00a	27.33b
2	34.00a	36.67a	34.00a	36.00a
3	26.00a	40.67a	14.67b	23.33b

注:表中小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

Note:Lowercase letters indicated that there were significant difference($P<0.05$)

2.3　不同处理对'红满堂'根系发育影响

2.3.1　试验因素对根系发育指标的极差分析

在'红满堂'扦插50 d时结合移栽调查了其根系发育状况,对其根系发育指标进行了极差分析(表2),结果显示,一级不定根数量以生长调节剂和插穗部位的极差值最大,其次是扦插基质,生根剂处理时间最小。根系均长和最长根长的极差值均以生长调节剂处理的最大,其次为药剂处理时间和基质处理,极差值最小的为插穗部位。极差分析结果表明,就插穗一级不定根生根数而言,最佳组合为A2B2C1D3;就平均根长、最长根长而言,最佳组合分别为A1B1C1D1和A1B2C1D1、A1B2C1D1。但这些组合在本试验中均未出现,还有待于后续试验进一步验证。

2.3.2　试验因素对根系发育指标的方差分析

对根系一级不定根数量、均长和最长根长的方差分析结果表明,扦插基质、生长调节剂处理时间和插穗选取部位对根系发育有极显著影响。多重比较结果表明(表4),扦插于不同基质中插穗的不定根数量存在显著差异,在含有椰糠的基质

(A2)中的不定根发生数量显著高于其余2种含有草炭的基质,高草炭含量的基质(A3)显著高于草炭含量适中(A1)的基质;不定根均长也存在显著差异,在草炭含量适中的基质中不定根长显著高于草炭含量高的基质和不含草炭的基质,不含草炭的基质和高草炭含量的基质间无显著性差异;最长不定根均长也以草炭含量适中的基质显著高于高草炭含量的基质,二者同不含草炭的基质间均无显著性差异。不同部位插穗的不定根数量也存在显著性差异,枝条中间部位插穗不定根发生数显著高于下部插穗,下部插穗又显著高于上部插穗;不同部位插穗间不定根长和最长根长均无显著性差异。生长调节剂IBA和IBA+IAA处理间插穗不定根发生数量和最长根长均无显著性差异,但都显著高于根太阳处理;生长调节剂处理对不定根均长存在显著影响,以IBA处理显著高于IBA+IAA处理和根太阳处理。对插穗浸蘸生长调节剂5 s处理不定根发生数量和最长根长均显著高于生长调节剂浸蘸20 s的处理,同浸蘸40 s的处理无显著性差异,不定根均长则以浸蘸40 s处理显著高于5 s和20 s处理,5 s和20 s处理间无显著性差异。

表4 试验因素对'红满堂'绿枝插条根系发育指标影响的多重比较

Table 4 Multiple comparison of influence of experimental factors on root development index of 'Hongmantang' green branch cutting

因素 Factor	水平 Level	不定根数/条 Adventitious root number	不定根均长/cm Mean adventitious length	最长根长/cm Maximum root length	生根效果综合评价值/% Rooting effect
扦插基质	1	3.37c	3.10a	3.24a	76.37a
	2	5.00a	1.80b	2.65ab	65.40b
	3	4.03b	1.34b	2.26b	58.43c
插穗部位	1	2.57c	1.87a	2.75a	42.07c
	2	5.17a	1.90a	2.89a	81.83a
	3	4.67b	1.78a	2.51a	76.30b
生长调节剂	1	5.03a	2.27a	3.41a	86.40a
	2	4.97a	1.90b	3.26a	70.10b
	3	2.40b	1.93b	2.47b	43.70c
处理时间	1	4.43a	1.87b	3.39a	81.07a
	2	3.40b	1.10bc	1.66b	56.00c
	3	4.57a	2.93a	3.10a	63.13b

注:表中小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

Note: Lowercase letters indicated the significant difference within the same column at $P<0.05$ level

2.4 不同处理对'红满堂'绿枝插条生根效果综合评价值影响

2.4.1 试验因素对生根效果综合评价值影响的极差分析

生根效果综合评价值综合了一级不定根数,同时又考虑到侧根数量、不定根的分布和根系固定基质能力等因素,更能客观反映根系的发育状况。作者在扦插生根苗田间的移栽实践中也发现生根效果综合评价值同移栽成活率正相关。

极差分析结果表明(表2),对生根效果综合评价值影响最大的是生长调节剂和插穗部位,其次为药剂处理时间和扦插基质;就生根效果综合评价值而言,本试验最佳组合为A1B2C1D1,即选取'红满堂'当年生枝条中间部位,用IBA处理5 s,扦插于草炭含量适中的A1基质中,生根效果最好。

2.4.2 试验因素对生根效果综合评价值影响的方差分析

对生根效果综合评价值方差分析结果表明扦插基质、插穗部位、生长调节剂及其处理时间均能极显著地影响生根效果综合评价值。多重比较结果表明(表4),不同基质间生根效果综合评价值存在显著差异,在草炭含量适中的基质中生根效果综合评价值显著高于不含草炭的基质和草炭含量高的基质。不同部位插穗的生根效果综合评价值也存在显著差异,中间部位插穗的生根效果综合评价值显著高于下部插穗,下部插穗又显著高于上部插穗。不同生长调节剂处理间生根效果综合评价值也存在显著差异,IBA处理插穗生根效果

综合评价值显著高于IBA+IAA处理,IBA+IAA处理又显著高于根太阳处理。生长调节剂处理时间各处理间生根效果综合评价值也存在显著差异,用生根剂浸蘸5 s的生根效果综合评价值显著高于其余处理。

综合试验结果,生根率最高的处理组合为A2B3C1D2,生根效果综合评价值最高的处理组合为A1B2C1D1,但该试验组合在本试验设计中未出现。本试验结果表明,生长调节剂既显著影响生根率又显著影响根系各项发育指标及生根效果综合评价值,因此,在后续试验中通过调整生长调节剂的种类或浓度配比等,有望进一步提高'红满堂'的扦插生根效果,获得更理想的生根率和更发达的根系,实现'红满堂'的高效繁育。

3　讨论

扦插繁殖是目前木本植物工厂化育苗的重要途径,插穗不定根的诱导和形成以及不定根系发育状况是扦插繁殖能否成功的关键所在。除插穗本身的遗传特性外,其不定根的诱导和发生还受插穗年龄、扦插时期、插穗部位、生根剂处理方法、扦插基质以及光温气湿等多种因素影响[3]。本试验结果表明,对'红满堂'扦插繁殖不定根诱导和发生影响最大的因素是插穗部位,其余依次为生长调节剂、药剂处理时间和扦插基质。

3.1　插穗部位对不定根发生影响

碳水化合物对发根有良好的促进作用,可溶性糖是植物扦插生根的主要能源物质,氮素化合物也是发根必要的营养物质[11]。枝条所贮藏的营养物质多少与扦插生根成活有密切关系,同一枝条不同部位因其营养物质的含量不同,不定根发生的难易也就不尽相同。李先明等[12]认为枝条基部剪制的插穗木质化程度高,贮藏营养物质较多,能更好地促进杜鹃红山茶插穗愈伤组织的形成和利于不定根的诱导和生长。吕跃东等[13]认为黑穗醋栗下部插条的生根时间明显早于上部插条,且下部插条的生根率、均根长显著高于中上部插条。本试验也印证了上述观点,'红满堂'下部插穗的生根率显著高于上部插穗,高于中部插穗但差异不显著,而不定根发生数则以中部显著高于下部插穗,下部插穗又显著高于上部插穗。分析原因认为是插条中下部位相对粗壮、发育充实,所含营养物质丰富,生命力强,扦插时可以将营养物质大量输送到伤口处,促进愈伤组织的形成和不定根的发生。但不同树种间有差异。如垂丝海棠[8]和四倍体刺槐[14]就以上部插条生根效果最好,而楸树[15]以中部枝条最优。可见不同树种由于其生理特性不同,其解剖结构、营养成分、根原基发育状况等不尽相同,生根所需营养物质与条件也不相同,其不定根发生能力及效率也就不同。

3.2　生长调节剂及处理时间对不定根发生影响

植物生长调节剂在影响扦插生根的外部因素中起重要作用,其中生长素在不定根形成中起着关键作用。IAA被认为是促进不定根形成的主要因素,而IBA则可刺激IAA向基部运输促进生根,但由于IAA的稳定性不及IBA,普遍认为IBA的生根效果要好于IAA[16-17]。本研究的预试验也验证了上述观点,对'红满堂'而言,单独使用IAA、NAA(萘乙酸)及GGR(双吉尔,氨基酸肥料)的生根效果均不及IBA及根太阳。用GGR6号和7号生根剂处理后生根率低于2%;NAA处理浓度高时愈伤较多且多为松散型,不能生根,浓度低时根特别细,生根率也在2%左右;IAA则需要更高的浓度才能获得一定的生根率,但高浓度的IAA极易伤害插穗组织,造成插穗基部腐烂,致使生根插穗后期移栽成活率低。但许晓岗[8]认为用IAA处理垂丝海棠和楸子,扦插效果显著优于IBA和NAA处理,而王忆等[18]认为红花玉兰嫩枝扦插用NAA处理的效果明显好于IBA、IAA和GGR6处理。可见,不同植物由于自身遗传特性不同,其内源激素的含量及分布运输规律也不尽相同,对外源激素处理的反应也就不同。今后应继续研究更多类型生长调节剂对'红满堂'根系发育影响的研究,以寻找更适合其生根的生长调节剂类型。

生长素的作用效果因生长素的种类、浓度及配比、处理时间不同而异。林茂等[19]研究表明,炮仗花嫩枝扦插以IBA10 mg·L^{-1}浸泡插条30 min效果好。胡勐鸿等[20]认为,ABT1和IBA合理浓度对欧洲云杉扦插生根起主导作用,且处理效益随着穗条类型和处理时间不同而异。乔峰等[21]研究发现新疆野生樱桃李绿枝扦插以IBA+NAA(1:1)2000 mg·L^{-1}处理插穗20 s生根效果好。本研究扦插生根和根系发育指标均以IBA2500 mg·L^{-1}处理效果好,显著高于根太阳处理,但同IBA+IAA

(5∶1)1800 mg·L^{-1}差异不显著,分析认为IAA与IBA配合具有协同作用。

生长调节剂的处理时间也显著影响着插穗的生根效果,浸泡插穗20 s时生根率最高,速沾插穗5 s时株均根条数、最长根长及根系得分率最高。通常认为浸泡时间长插穗吸收的量大,对生根的效果好,但过长时间浸泡,吸收激素量过大时激素的促进作用就会转为抑制作用。本研究对插穗的生根率影响符合这一规律,同张沛健等[22]的研究结果相一致。但在根系发育指标方面以速蘸和浸泡40 s效果显著高于浸泡20 s,这可能是生长素对不定根诱导的调节机制与不定根生长调控机制不同而造成的,也可能是本试验处理所设的浓度处理少,梯度差小,规律没有完全展现,还需进一步开展深入的试验研究。

3.3 扦插基质对不定根发生的影响

扦插基质影响插穗的生根环境,基质需要具备良好的透气性,适宜的pH值以及必需的营养成分,才能保证所插穗条根系发达,移栽成活率高[23-24]。蛭石、椰糠、珍珠岩、河沙、草炭等是目前林木扦插繁殖常用基质,不同基质理化性质不同,对插穗的生根效应也不同,生产实践中常需要根据插穗的生长发育特性选择1种或数种基质按比例混合使用,为不同插穗不定根的诱发及根系生长发育创造适宜的生根环境。赵翔等[25]研究表明,用泥炭∶蛭石按体积比3∶1比例混合后做基质扦插灰木莲的效果优于单一泥炭、蛭石、珍珠岩、黄泥土和河沙基质,表现为生根率高,生根数量大,根长更长。本研究得出了相同的结论,采用草炭、蛭石、珍珠岩和椰糠、蛭石、珍珠岩按一定比例混合做基质扦插'红满堂'生根率分别达26%、36%、27%,而预试验采用单一的草炭、椰糠和河沙基质生根率均不足10%。在试验中还发现随扦插时间的延长,基质对根系的影响更大,在混配基质中根系发达,固土性能好,移栽于田间成活率高,而单一的河沙、珍珠岩基质根系生长量小,根系不能固定基质,不利于后期移栽。分析原因认为与基质的材料特性有关。单一的河沙基质能很好地固定插穗,但养分含量低,持水能力略差,需频繁浇水,影响了根系的发育;珍珠岩基质虽然透气性、持水性好,但不能很好固定插穗,养分含量也低,不利于插穗不定根的诱导及扦插后期插穗根系的生长。草炭养分含量高,对根系生长有利,椰糠有一定养分,透气性更好,对不定根发生更有利,本研究结果也表明,在含椰糠的基质中不定根数量高,而草炭含量适中的基质中,不定根生长量大;但二者吸水性保水性均好,吸水过多透气性差,尤其是草炭含有较高的腐殖质,容易滋生细菌造成插穗基部腐烂而影响生根及根系发育。蛭石容重略高于珍珠岩,总孔隙度和珍珠岩相当,也具有较好的透气性和保湿功能,混配时可提高基质的缓冲能力。本研究将草炭椰糠蛭石珍珠岩按一定比例配合,虽然较单一基质获得了较高的生根率,但效果仍不理想,今后应调整基质的配比种类及比例,详细分析基质的理化性质,进行多组合试验,筛选更适合的'红满堂'扦插基质。

植物的扦插生根是一个复杂的多因素影响的生物学过程,各因素间存在着显著的交互作用[26]。本研究结果表明,扦插基质、插穗部位、生长调节剂,处理时间等单因素的最高生根率分别为34%、41%、34%、36%,各因素组合的最高生根率可达62%,各因素间如何交互影响尚需继续深入研究。还需加强不定根发生的生理和分子机理研究,为'红满堂'等难生根树种种苗的高效繁育提供技术支撑和理论依据。

4 结论

'红满堂'绿枝扦插大部分插穗在扦插4周左右时开始生根,6周左右时完成生根过程,综合生根类型,以愈伤组织生根类型为主。插穗部位、生长调节剂和生长调节剂处理时间显著影响扦插生根率和不定根的发育状况,基质类型显著影响根系发育状况。'红满堂'绿枝插穗生根的最佳处理组合为:采用当年生绿枝下部做插穗,用生长调节剂IBA2500 mg·L^{-1}浸蘸插穗基部20 s,扦插于椰糠∶蛭石∶珍珠岩(1∶2∶4)的基质中。根系发育最佳的处理组合为:采用当年生绿枝中间部位做插穗,用生长调节剂IBA2500 mg·L^{-1}浸蘸插穗基部5 s,扦插于草炭∶蛭石∶珍珠岩(1∶2∶4)的基质中。

参 考 文 献

[1]杨廷桢,高敬东,王骞,等.苹果属观赏新品种——'红满堂'的选育[J].果树学报,2015,32(4):727-729,520.
Yang T Z, Gao J D, Wang Q, et al. A new *Malus* ornamental variety 'Hongmantang' [J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32

(4):727-729,520.

[2]吕晓冉,艾呈祥,朱陈宇,等.生长调节剂和柠檬酸处理对柿砧木嫩枝扦插生根的影响[J].果树学报,2021,38(9):1515-1523.
Lü X R, Ai C X, Zhu C Y, et al. Effect of plant growth regulators and citric acid on the rooting of softwood cuttings of persimmon rootstocks[J].Journal of Fruit Science,2021,38(9):1515-1523.

[3]贾志远,葛晓敏,唐罗忠.木本植物扦插繁殖及其影响因素[J].世界林业研究,2015,28(2):36-41.
Jia Z Y, Ge X M, Tang L Z. Research progress in cutting propagation technology for woody plants and its affecting factors [J].World Forestry Research,2015,28(2):36-41.

[4]杜学梅,杨廷桢,高敬东,等.影响苹果矮砧扦插生根因素的研究进展[J].农学学报,2017,7(8):55-59.
Du X M,Yang T Z,Gao J D, et al. Influencing factors of cutting rooting in apple dwarf rootstock [J]. Journal of Agriculture, 2017,7(8):55-59.

[5]肖祖飞.童性对苹果砧木绿枝扦插生根的影响[D].北京:中国农业大学,2014.
Xiao Z F. Impact of juvenility on the adventitious rooting of leafy cuttings in apple rootstocks [D]. Beijing: China Agricultural University,2014.

[6]张广仁,李广旭,张秀美.苹果砧木'辽砧2号'和SH40扦插技术研究[J].北方果树,2015(6):7-9.
Zhang G R,Li G X,Zhang X M. Study on cutting propagation of apple rootstock with 'Liaozhen 2' and SH40 [J]. Northern Fruits,2015(6):7-9.

[7]史锋厚,刘斯通,陈欣,等.生根剂处理对红缨海棠嫩枝扦插生根的影响[J].西南林业大学学报,2012,32(5):96-99.
Shi F H,Liu S T,Chen X,et al. Effect of plant growth regulator treatment on rooting of *Malus* 'Hongying' softwood cuttage propagation[J]. Journal of Southwest Forestry University,2012, 32(5):96-99.

[8]许晓岗.垂丝海棠、榔子的扦插生根机理研究[D].南京:南京林业大学,2006.
Xu X G. The research of rooting mechanism of *Malus halliana* Roehne & *Malus prunifolia* Borkh cutting[D].Nanjing: Nanjing Forestry University,2006.

[9]骆建霞,孙建设.园艺植物科学研究导论[M].北京:中国农业出版社,2002:43-47.
Luo J X, Sun J S. Introduction to principles applied to horticultural plants research [M]. Beijing: China Agricultural Publishing House,2002:43-47.

[10]罗鸣福.林业试验设计方法[M].北京:中国林业出版社,1984:49-74.
Luo M F. Experiments design method in forestry[M]. Beijing: China Forestry Publishing House,1984:49-74.

[11]郗荣庭.果树栽培学总论[M].北京:中国农业出版社(第3版),2000:146.
Xi R T. Introduction to scientific research in horticultural plants [M]. Beijing: China Agricultural Publishing House (3rd edition),2000:146.

[12]李先民,李春牛,卜朝阳,等.基质、促根剂及插穗对杜鹃红山茶扦插生根的影响[J].西南农业学报,2017,30(2):426-431.
Li X M,Li C N,Bu Z Y,et al. Effect of cutting propagation techniques of *Camellia azalea* on its rooting rate [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2017, 30 (2):426-431.

[13]吕跃东,姚颖,吕跃伟,等.不同激素和基质对黑穗醋栗扦插繁殖的影响[J].经济林研究,2015,33(4):144-147.
Lü Y D,Yao Y,Lü Y W, et al. Effects of different hormones and media on cutting propagation in black currant [J]. Nonwood Forest Research,2015,33(4):144-147.

[14]孟丙南.四倍体刺槐扦插技术优化及生根机理研究[D].北京:北京林业大学,2010.
Meng B N. Study on optimizing of cuttage propagation and mechanism of rooting in tetraploid *Robinia pseudoacacia*[D]. Beijing:Beijing Forestry University,2010.

[15]王改萍,王良桂,王晓聪,等.楸树嫩枝扦插生根发育及根系特征分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(6):94-102.
Wang G P, Wang L G, Wang X C, et al. Dynamic characteristics of cutting rooting of *Catalpa* bungei with tender branches[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition) ,2020,44(6):94-102.

[16]朱永超,李彬,廖伟彪.3种生长素对蓝叶忍冬枝条扦插生根的影响[J].草业科学,2016,33(1):61-66.
Zhu Y C,Li B,Liao W B. Effects of three auxins treatments on cutting rooting of *Lonicera korolkowi* 'Zabclii' [J]. Pratacultural Science,2016,33(1):61-66.

[17]Amri E. The effect of auxins (IBA, NAA) on vegetative propagation of medicinal plant *Bobgunnia madagascariensis* (Desv.) J. H. Kirkbr & Wiersema[J]. Tanzania Journal of Natural and Applied Sciences,2011,2(2):359-366.

[18]王艺,贾忠奎,马履一,等.4种植物生长调节剂对红花玉兰嫩枝扦插生根的影响[J].林业科学,2019,55(7):35-45.
Wang Y,Jia Z K,Ma L Y,et al. Effects of four plant growth regulators on rooting of the softwood cutting of *Magnolia wufengensis*[J]. Scientia Silvae Sinicae,2019,55(7):35-45.

[19]林茂,李进华,唐庆,等.植物生长调节剂种类、浓度及浸泡时间对炮仗花扦插繁殖效果的影响[J].南方农业学报,2020,51(1):155-161.
Lin M,Li J H,Tang Q,et al. Effects of different kinds of plant growth regulators, concentrations and soaking time on cuttage propagation of *Pyrostegia venusta* [J]. Journal of Southern Agriculture, 2020,51(1):155-161.

[20]胡勐鸿,欧阳芳群,贾子瑞,等.欧洲云杉扦插生根影响因子研究与生根力优良单株选择[J].林业科学,2014,50(2):42-49.
Hu M H,Ouyang F Q,Jia Z R,et al. Factors affecting rooting of *Picea abies* shoot cuttings and individual selection with high rooting ability[J]. Scientia Silvae Sinicae,2014,50(2):42-49.

[21]乔峰,李虎,朱翔,等.新疆野生樱桃李扦插繁殖不定根的形成及生长调节剂对扦插成活率的影响[J].中国农业大学学报,2014,19(5):73-79.
Qiao F,Li H,Zhu X,et al. Formation of adventitious roots and effect of plant growth regulator on the survival rate of Xinjiang

wild Myrobalan plum cuttings [J]. Journal of China Agricultural University, 2014, 19(5): 73-79.

[22]张沛健,高丽琼,尚秀华.不同激素种类、浓度及浸泡时间对金蒲桃扦插生根的影响[J].热带作物学报,2020,41(6):1084-1091.
Zhang P J, Gao L Q, Shang X H. Effects of different hormone types, concentrations and soaking time on cutting rooting of *Xanthostemon chrysanthus* [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(6): 1084-1091.

[23]杜学梅,杨廷桢,高敬东,等.我国林木扦插基质研究现状与展望[J].世界林业研究,2019,32(6):73-78.
Du X M, Yang T Z, Gao J D, et al. Research on forest tree cutting medium in China: current state and prospect[J]. World Forestry Research, 2019, 32(6): 73-78.

[24]Akwatulira F, Gwali S, Bosco J, et al. Influence of rooting media and indole-3-butyric acid(IBA) concentration on rooting and shoot formation of *Warburgia ugandensis* stem cuttings[J]. African Journal of Plant Science, 2011, 5(8): 421-429.

[25]赵翔,李清莹,姜清彬,等.不同基质和促根剂对灰木莲嫩枝扦插生根的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(2):23-30.
Zhao X, Li Q Y, Jiang Q B, et al. Effects of substrates and rooting regulators on rooting of cuttings in *Manglietia conifera* Dandy [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2019, 43(2): 23-30.

[26]王书胜,单文,张乐华,等.基质和IBA浓度对云锦杜鹃扦插生根的影响[J].林业科学,2015,51(9):165-172.
Wang S S, Shan W, Zhang L H, et al. Effects of media and IBA concentrations on rooting of *Rhododendron fortunei* for cutting propagation[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2015, 51(9): 165-172.

Study on the factors influencing the rooting of green branch cuttings in ´Hongmantang´ variety

Du Xuemei, Gao Jingdong, Wang Qian, Cai Huacheng, Li Chunyan, Wang Shuting, Yang Tingzhen*

(*Research Institute of Pomology/Shanxi Key Laboratory of Germplasm Improvement and Utilization in Pomology, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, China*)

Abstract: [Objective] This study aimed to investigate the effect of cutting substrate, cutting position, growth regulators, and the duration of growth regulator treatment on the rooting efficiency of green branch cuttings of the 'Hongmantang' and to identify suitable combination for green branch cuttings, providing theoretical and technical support for its factory seedling cultivation. [Method] The current year green branches of 'Hongmantang' variety was used as research materials, and $L_9(3^4)$ orthogonal experimental design was adopted. Starting from three days after cutting, observations of changes at the base of the cuttings were made every 3~4 days. Rooting conditions of the cuttings was recorded, and at 50 days post-cutting, the rooting rate, number of adventitious roots, average length of adventitious root, and the longest adventitious root length were investigated to comprehensively evaluate the rooting effect. [Result] The dominant factor affecting the rooting of green branch cuttings in 'Hongmantang' variety was the cutting position. Cutting from the middle and lower parts of the same branch, which were relatively well-developed and lignified, exhibited significantly higher rooting rates at 36.67% and 40.67% than upper cuttings at 9.33%. The key factors affecting cutting propagation of 'Hongmantang' were determined as the type, concentration, and treatment duration of growth regulator which displayed a significant impact on rooting rate, number of adventitious roots, average and longest adventitious root, and comprehensive evaluation of rooting effect. Different growth regulators and treatment durations resulted in rooting rates ranging from 14.67% to 38.00% and 23.33% to 36.00%, adventitious root numbers of 2.40 to 5.03 and 3.40 to 4.57, average length of 1.93 to 2.27 and 1.10 to 2.93 cm, the longest length of 2.47 to 3.41 and 1.66 to 3.39 cm, and comprehensive evaluation value of 43.70% to 86.40% and 56.00% to 81.00% for the'Hongmantang' green branch cuttings. The cutting substrate significantly affected the growth and development of adventitious root, with different substrates resulting in adventitious root number of 3.37 to 5.00, average lengths of 1.34 to 3.10 cm, and comprehensive evaluation values of 58.43% to 76.37%. [Conclusion] The green branch cutting of 'Hongmantang' belongs to the comprehensive rooting type, with a predominant focus on callus tissue rooting. The optimal treatment combination for rooting green branch cutting involved using the lower part of the current year green branches, soaking the cutting base in IBA at a concentration of 2500 mg·L^{-1} for 20 s, and planting in a substrate mix of coconut coir, vermiculite, and perlite at 1:2:4. For optimal root development, using the middle part of the current year green branches, soaking the cutting base IBA at a concentration of 2500 mg·L^{-1} for 5 s, and planting in a substrate mix of peat, vermiculite, and perlite at 1:2:4 was recommended.

Keywords: Malus, 'Hongmantang', Green branch cutting, Effect factors, Rooting ratio

(编辑:郭玥微)