

桃硬枝扦插生根机理研究进展

张帆, 王鸿*

甘肃省农业科学院林果花卉研究所, 兰州730070

摘要: 桃硬枝扦插繁殖成功与否主要决定于不定根的形成, 而不定根的形成受环境因子(光、温湿度、基质)以及外源激素、插穗生理生化性状以及扦插时间等诸多因素间的作用及其相互关系影响。桃的硬枝扦插技术还不够完善, 探索其生根机理对于理解不定根形成以及调控扦插环境具有重要意义。本文详细阐述了国内外有关桃硬枝扦插不定根形成所需环境、插穗生理生化(插穗激素、酶活性、养分等)和DNA分子水平等方面的研究进展, 以期为不易生根的桃硬枝扦插加速扦插生根速率和提高成活率提供技术参考和理论支持, 同时制定相应扦插生根策略。

关键词: 桃; 硬枝扦插; 生根机理; 生理生化; 协同关系

桃扦插繁殖技术在发达国家中被广泛利用, 是解决桃产业发展中存在问题的主要手段(Markovski等2015)。桃砧木扦插是我国主要的桃苗繁育方法, 目前毛桃、山桃和青州蜜桃等种子相对充足, 相对于无性系砧木繁殖方法来讲, 价格低廉是其主要优势(Mehri等2013)。但因实生砧木属有性繁殖, 有性繁殖易使后代发生变异和性状分离, 繁育的苗木整齐度较差, 易引起植株生长不整齐等问题, 还存在秋季直接在苗圃中播种时种子萌发率低的问题; 同时, 不能满足生产中对解决耐涝、抗重茬、耐旱和抗线虫等问题的需要。组培育苗成本较高, 繁育技术复杂, 所以优良砧木品种的无性繁殖都先从枝条扦插繁殖入手(Mehri等2013)。扦插繁殖可以克服后代分离缺点(Schreekenberg等2002)。与嫁接和组培繁殖相比, 此方法有繁殖系数高、费用低等优点, 获得苗木品质具有一致性(Schreekenberg等2002), 即扦插繁殖产生的植株具有与亲本相同的特性, 保持了理想的性状(高新一和王玉英2003), 有利于保持种苗质量一致性、标准化。桃树属无性扦插繁衍难生根树种, 扦插过程中存在生根率低、难成活等问题(Ferriani等2006), 很大程度上制约了桃资源的保育与应用(张翠玲等2017)。由于桃硬枝扦插中根原基发生、分化、发育到生根成活, 过程漫长且复杂(张帆和王鸿2018)。因此, 明确扦插根原基形成机理, 从而形成一项扦插技术规程, 对桃硬枝扦插技术的运用推广有很大意义。

扦插繁殖技术对果树和林业发展具有很大的推动力(沈熙环1990), 目前, 科学家们对难生根的树种进行了大量扦插尝试, 已取得很大进展。桃硬枝扦插不定根形成是一个比较繁复的生理、生态过程(Mehri等2013), 受多种因素综合影响(王富荣等2016)。如桃插穗扦插后内源生长素吲哚乙酸(indole-3-acetic acid, IAA)活性需要植物生长调节物质刺激后才能激发其活性(白晓燕等2014), 珍珠岩等疏松透气型基质有助于不定根产生(张帆和王鸿2018), 适宜的温湿度利于根原基形成(王富荣等2016)。目前研究桃硬枝扦插生根率和存活率文章不少(Gabriela等2017), 但此项技术应用到大规模生产中报道并不多。可能与影响桃扦插生根的内外因子、不定根形成机理、各因素间相互影响和相互协调效应的综合分析还不够深入全面有关。

本文综合分析目前国内外研究现状, 对桃硬枝扦插生根环境、生理生化和分子生物学等方面进行了阐述及分析, 结合笔者部分研究结果, 明确桃硬枝扦插过程中影响不定根产生的内因(基因、激素水平、插穗养分和酶活性等)和外因(生长调节剂种类及浓度、扦插基质、扦插时期、温湿度)

收稿 2019-03-03 修定 2019-08-12

资助 院列创新博士基金(2016GAAS29)、国家自然科学基金(31760558)和国家桃产业技术体系种苗扩繁与生产技术岗位(CARS-30-1-6)。

* 通讯作者(wanghong@gsagr.ac.cn)。

之间相互协同关系及生根机理, 以期对扦插难以生根的桃树种高效繁殖提供理论支持。

1 环境因素对桃硬枝扦插不定根形成的影响

扦插环境是影响植物扦插成活与否的重要因素, 适宜的环境有助于根原基形成, 为促进插穗不定根产生, 在硬枝扦插过程中必须控制好环境条件。

1.1 光照对扦插不定根形成的影响

桃硬枝扦插需要光照, 光照是影响不定根产生的因素之一(张帆和王鸿2018)。插穗发芽后光照可提高温度, 同时也能防止病菌的产生。插穗发芽后, 既需要一定的光照供叶片制造养分, 叶片将合成IAA, 通过极性运输向下运至插条基部, 直接促进生根(Markovski等2015), 并且叶片通过光合作用合成较多的光合同化产物, 为愈伤组织和根系的形成提供物质基础(Rosa等2017)。又不能在烈日下暴晒, 否则会使空气湿度降低造成枝叶凋萎, 因此应在扦插床上遮光, 使一部分直射光透过(魏书和司静1994), 将插条水分的吸收与蒸腾、干物质积累与消耗之间的矛盾有效地解决, 有利于不定根形成。

1.2 温度对扦插不定根形成的影响

温度对扦插生根影响很大, 温度包括基质温度和环境温度(白晓燕等2014), 扦插过程中温度须控制在扦插生根所需的适宜范围内。环境温度控制在插条易发芽范围, 后期便于促进光合能力(Tsipouridis等2005)。基质温度则有助于插穗营养物质运移、分解与合成, 对愈伤组织的产生和根的分化有益(Erez 1984)。基质和环境温度控制越好, 生根率越佳。桃硬枝扦插到生根这段时间, 通常要求将空气温度和基质温度控制在相近的程度,

同时昼夜间维持一定的温差, 对刺激插穗的生根有利(Matta 1987)。

为促进扦插生根, 以获得较高的繁殖率, 通常采用各种措施提高基质温度, 如苗床上加地热线、或苗床下面安装恒温加热器来为插枝提供适当的生根温度(Matta 1987; 张连忠等1993), 但这种加热方式存在局限性, 如对恒温的保持和加热时间的控制。也有学者在扦插基质表面覆膜等措施达到保温提高生根率(姜林等2011)。也有研究发现无论覆盖黑色薄膜、透明薄膜或是稻草, 均不影响桃生根率和成活率(褚丽丽等2013)。我们的试验中, 苗床铺上土工布, 在土工布上铺上地热带后按上控温器, 将桃砧木‘GF677’硬枝插条基部插到离地热线2 cm处, 扦插温度控制在22℃ (对照未铺地热线), 50 d后调查发现, 铺地热线控温生根率较对照高(张帆和王鸿2019)。由表1看出, 大部分研究认为适宜桃硬枝扦插生根的插床(基质)温度范围22~25℃ (郑开文和潘季淑1990; 张连忠等1993), 甚至可以扩大到12~29℃ (Tsipouridis和Thomidis 2004; Erez 1984), 桃砧木‘GF677’扦插生根率达81% (Tsipouridis和Thomidis 2004), 而我们试验发现桃砧木‘GF677’扦插基质温度22℃为最佳生根温度(张帆和王鸿2018), 造成同一品种需不同扦插温度或不同品种需同样扦插温度的原因可能是试验取材时间、品质、基因以及处理方式等各有差异, 需进一步研究。

同样品种扦插温度不同, 则生根率不同(表1)。张连忠等(1993)研究发现扦插基质温度25℃比15℃插条生根率增加68.9%。我们的试验研究了不同温度对桃砧木‘GF677’扦插生根影响发现, 基质温度22℃比18℃插条生根率提高63.1%, 插床温

表1 环境温度对桃硬枝扦插生根的影响

Table 1 Effect of ambient temperature on rooting of peach hardwood cuttings

品种	基质温度/℃	环境温度/℃	生根率情况	文献
桃砧‘GF677’	29	当时环境温度	81.00%	Tsipouridis等2005
桃砧‘GF677’	22	18~20	90.48%	张帆和王鸿2018
普通桃	>12	自然温度	生根良好	Erez 1984
肥城桃优系特大号等9个品种	25	当时冬春季自然温室温度	80%以上	张连忠等1993
黄桃‘金童8号’	20±1	自然温度	98.90%	郑开文和潘季淑1990

度22℃比15℃插条生根率提高68.9%, 22℃较24℃处理生根率稍高, 当基质温度超过26℃反而影响插条生根率(张帆和王鸿2018)。可见, 桃砧木‘GF677’硬枝扦插的适宜温度范围22~24℃。

1.3 水分含量对扦插不定根形成的影响

适宜水分含量有利于扦插生根, 过多或过少都会影响桃枝扦插存活和正常生根(白晓燕等2014), 基质含水量、环境湿度和插穗自身含水量之间相辅相成、相互调控。基质含水量对插穗生根成活起关键性作用, 是调控插穗体内水分收支平衡必要条件。

环境湿度大将减少插穗和基质水分的消耗(Tsipouridis等2005)。大多研究认为桃硬枝扦插的空气相对湿度保持在80%~90%有利于生根(郑开文和潘季淑1990; 张连忠等1993; 李焕勇等2014; Galal等2018), 但也有研究认为桃硬枝扦插空气相对湿度为90%~100%是最佳生根环境(李焕勇等2014)。扦插后基质含水量最好稳定在田间最大持水量的50.0%~60.0%, 基质相对含水量为60%左右(徐继忠和陈四维1988)。我们在桃砧木‘GF677’扦插试验过程中为了保持基质适宜含水量使用水分控制仪进行调控, 基质湿度前15 d控制在85%左右, 之后为70%左右, 则有利于生根(张帆和王鸿2018)。

插穗本身所含的水分对扦插成活也有决定性的作用, 因而采集插穗时应当尽量随剪就插, 如需要量很大需保存, 避免失水过多, 制约了插穗的生理生化活动, 必然影响插穗的成活。因此扦插前将经过存储过一段时间的插条宜用流水洗涤1~2 h, 以补充枝条水分, 维持插穗活力。时间长短根

据储存时间来定, 但浸水时间不宜过长, 普通以6 h为宜。

1.4 基质对扦插不定根形成的影响

基质是插穗的微环境, 其不同类型对插穗的生根存在较大差异(张帆和王鸿2019)。通常情况下通气好、排水好、无病菌感染的基质被认为理想的扦插基质, 如河沙、蛭石、珍珠岩和草炭等(Hartmann 1958), 基质反复利用, 会引起插条的霉烂。

扦插基质的选择应根据不同树种和品种。合理的单一基质或配方基质有利于不定根形成(张帆和王鸿2018)。按表2所示, 适宜基质桃硬枝扦插生根范围在63.8%~93.3%之间(白晓燕等2014; 郑开文和潘季淑1990; 张静翹等2008; 王富荣等2016)。同一基质对不同桃品种扦插生根率不同, 不同基质对同一品种生根率各异(张帆和王鸿等2018)。通常桃扦插基质为珍珠岩(魏书和司静1994), 由于珍珠岩排水和透气性好, 传热过程快, 有利于不定根产生。综上, 珍珠岩是桃硬枝扦插生根的最佳基质。

1.5 植物生长调节剂种类和浓度对扦插不定根形成的影响

植物生长调节剂用于植物繁殖, 加速生根, 增加生根数量和质量(Galal等2018)。

通常对扦插生根具有促进作用的植物生长调节物质主要有引哚丁酸(indole-3-butanoic acid, IBA)、萘乙酸(naphthalene acetic acid, NAA)、引哚乙酸(indole-3-acetic acid, IAA)、6-苄氨基腺嘌呤(6-benzyl aminopurine, 6-BA)和芸苔素等。

桃扦插试验中很少使用NAA、IAA、6-BA和芸苔素(张帆和王鸿2018)。NAA和6-BA扦插中组

表2 基质对桃硬枝扦插生根的影响
Table 2 Effect of substrate on rooting of peach hardwood cutting

品种	基质种类	比例	生根率/%	文献
桃砧木品系991091	蛭石	100%	73.33	白晓燕等2014
‘大久保’	蛭石	100%	93.00	郑开文和潘季淑1990
桃砧木‘GF677’	珍珠岩	100%	90.30	张帆和王鸿等2018
‘桃4月红’	河沙	100%	66.67	张静翹等2008
桃砧‘筑波6号’	河沙	100%	87.00	王富荣等2016
桃砧品系 991091	河沙:蛭石	1:1	76.67	白晓燕等2014
‘陇蜜9号’	河沙:蛭石:珍珠岩	1:1:1	63.80	张帆和王鸿等2018
‘桃4月红’	河沙:苔藓	1:1	93.30	张静翹等2008

合使用效果显著, 但多用于花卉扦插中(刘伟和曹晓慧2011; 马孟莉等2014)。芸苔素作为生长调节剂通常用喷施的方法促进壮根增产, 扦插中通常与IBA组合使用, 单一使用效果不佳(刘训金等2015)。

IBA为桃扦插中常用植物生长调节物质(魏书和司静1994; 白晓燕等2014; Galal等2018; Tsiouridis等2005)。NAA和IBA按比例混合使用具有很好效果(张帆和王鸿2018)。植物生长调节剂的使用可以增加植株细胞壁的透性, 激发插穗营养物质在根发端区积累, 促进淀粉水解形成可溶性糖, 提高根发区可溶性糖水平, 同时引起枝条内源激素IAA含量的变化。适宜浓度植物生长调节剂有助于促进糖向插条基部的运输和代谢(Fachinello 1982; Barrolimi 1980)。

外源和内源激素之间相互呼应、相互调控, 共同作用于不定根的产生(张帆和王鸿2018)。插穗经过IBA速蘸, 插穗内IAA的活性得到刺激, 明显提高, 脱落酸(abscisic acid, ABA)的含量相应降低, 生根的辅佐物质提前发挥活性(姜林等2011)。研究发现, 桃硬枝扦插前经外源IBA处理, 不定根构成破皮前到不定根长出来, IAA含量呈“先降后升”, 内源IAA含量出现峰值, 在这整个过程ABA含量呈下降趋势(李焕勇等2014)。

表3可知, 桃插穗不同品种的蘸根时间不同, NAA浓度范围在750~1 500 mg·L⁻¹之间有利于不定根产生; IBA的浓度范围在25~3 000 mg·L⁻¹之间, 且IBA较NAA更有利于不定根产生(姜林等2011), 浓

度越低浸蘸时间越长, 高浓度则需秒蘸。适宜激素组合同样能促进不定根的形成(Barrolimi 1980)。

2 插穗内因对桃硬枝扦插不定根形成的影响

2.1 插穗分子水平、品种、母体部位、采条及扦插时期对不定根形成的影响

桃属扦插难生根树种之一, 扦插生根率低, 是制约优良品种发展的瓶颈。迄今对扦插生根的研究虽然已在生理生化和解剖水平上取得一定进展(白晓燕等2015), 这些研究结果在一定程度上提高了桃扦插生根率, 但未探明桃扦插不定根形成机理。从分子水平上关于生根机理、分离生根相关基因及这些基因的功能仍不清楚(冯建等2006)。

与扦插生根有关的部分基因在芒果、拟南芥、猕猴桃、玫瑰和大豆等作物根系产生过程中已发现(表4), 并取得了一定的进展。冯建(2014)对日本落叶松扦插生根发现, 扦插生根过程中激素相关基因起非常关键作用, 并获得大量生根激素相关基因。袁晓云等(2015)研究认为激素ABA中相关转录因子、生长素运输载体蛋白PIN1分别通过调控ABA和生长素的运输而影响桑树不定根的发育与生长。张晓峰等(2013)研究结果发现生长素响应基因*MaGH3.6*可由IAA和NAA诱导上调表达, 推测该基因与扦插生根有关。并不是所有与不定根有关的基因用来延长生长的, 如*AUX1*、*NAC1*、*ROLA*、*ROLB*及*ROLC*等基因的过量表达促进不定根形成, 但*SINAT5*基因过量表达则相反。

表3 不同植物生长调节剂对桃硬枝扦插生根的影响

Table 3 Effects of different exogenous plant growth regulators on rooting of peach hardwood cuttings

品种	植物生长调节剂种类	浓度/mg·L ⁻¹	蘸根时间	生根情况	文献
普通桃	IBA	200	5~10 s	75%以上	Fachinello 1982
实生桃	IBA	150	10~15 s	86.70%	Sen 1983
桃砧‘GF677’	IBA	1 500	5 s	67.80%	Karimi和Yadollahi 2012
‘Gf-655’	IBA	2 500	速蘸	86.10%	Ahmed等2003
桃砧‘9910918’	IBA	2 500	速蘸	73.33%	白晓燕等2015
‘Prof. Black’	IBA	2 000~3 000	5~10 s	近100%	Barrolimi 1980
实生桃	IBA	25	4 h	96.90%	弦间洋1989
‘朝晖’	IBA	1 500	10 s	80%以上	魏书和司静1994
‘早艳’	NAA	750	1 s	54.00%	郑开文和潘季淑1990
桃砧‘GF677’	ABT	50	2~8 h	83.00%	王富荣等2016

表4 部分与生根有关的基因
Table 4 Some genes related to rooting

基因名称	基因名称缩写	基因功能	文献
<i>AUXIN RESISTAN1</i>	<i>AXR1</i>	根的形成和生长素应答	William等1999
<i>AUXIN RESISTAN4</i>	<i>AXR4</i>	根的向重力性以及侧根形成	Hobbie等1995
<i>BODENLOS</i>	<i>BDL</i>	根的形成以及激素应答	Hobbie等1995
<i>ACTIN</i>	<i>ACT7</i>	根发育	Gilliland等2003
<i>ABBE R RANT LATERAL ROOT FORMATION4</i>	<i>ALF4</i>	侧根的形成	DiDonato等2004
<i>GNOM</i>	<i>GN</i>	细胞以及组织极性	
<i>NAC1</i>	<i>NAC1</i>	侧根的形成	Xie等2000
<i>Pag FBL 1</i>	<i>PF1</i>	不定根形成	Shu等2019
<i>PeWOX11a</i>	<i>PW11a</i>	不定根形成	Xu等2015
<i>PeWOX11b</i>	<i>PW11b</i>	不定根形成	Xu等2015

目前, 其他树种扦插发现与生根有关的基因很多, 这些相关基因桃插穗中未见报道, 有待进一步深入研究。

扦插环境条件相同, 树种、品种不同, 插穗的生根能力差异很大(郑均宝等1991; 姜林等2011)。Ever和Smittle (1990)指出桃品种间生根率差异可达90%。对此, 有学者进行多品种以普通桃为主的20个基因杂交后代扦插验证, 生根率在7%~100%之间(张宇和1984)。也有学者连续4年做了220个桃品种扦插试验, 结果平均成活率为22%, 只有部分桃和油桃的成活率达到50%以上(魏书和司静1994)。王富荣等(2016)对4个桃砧木进行扦插试验发现, ‘筑波6号’生根率最高达70%, 桃砧木‘GF677’为62%, ‘GF43’为50%。相同条件下不同品种生根率不同是遗传基因造成的。

插条的取材时间对生根有重要影响(Erez 1984)。在一年内, 插穗内源糖含量、蔗糖、淀粉、IAA和ABA均发生变化, 直接影响扦插生根(Erez 1984)。Layne和Bassi (2008)每月取一次插条对‘P.S.B2’和‘GF677’两个品种硬枝的扦插条件进行了研究, 发现‘P.S.B2’不用植物生长调节物质处理, 10月份落叶80%时扦插生根率就可以达到70%, 而在其它几个月的时间最高为28% (Ever和Smittle 1990)。并且不同取材时间对IBA处理的反应不同, 休眠期的硬枝用IBA处理后, 大幅度提高了生根率, 这个时间段插穗花芽尚未解除休眠但即将膨大的时期, 插条生根率最高, 达到85%~95% (Erez 1984)。在

西北兰州我们试验发现, 落叶前采穗扦插生根率为10%。落叶50%采穗扦插生根率达22.7%, 12月中旬扦插生根率则为36.8%, 1月中旬扦插生根率则为53.6%, 2月初扦插生根率为66.8%。说明‘GF677’适宜的采穗时间12中旬以后或最好冷藏30 d之后扦插有利于不定根形成(张帆和王鸿2019)。

总体分析, 从完全落叶期开始到1月份, 均可以通过IBA处理获得较高的生根率(Karimi和Yadollahi 2012)。这个时间段内的最佳取材时间可因品种和地域不同而异, 如桃砧‘GF677’的适宜取材时间相对较短, 仅12月~次年1月是最佳取材时间, 而‘P.S.B2’则从10月到次年1月均可(Erez 1984)。可能与不同品种的需冷量有关, 需冷量低的宜早, 反之宜迟。2月份及以后生根率下降。

相同品种枝条不同部位采插穗, 其生根率也不尽相同。对‘GF677’硬枝进行不同部位扦插生根试验, 结果表明‘GF677’插条部位与生根率有很大关联性, 枝条基段作为插穗生根率不及基段次上段, 基段次上段生根率可达80%以上, 枝梢生根率最低, 仅为19.3%左右(张帆和王鸿2018)。

2.2 插穗营养物质含量对扦插不定根形成的影响

通常情况下, 营养状况是插穗根原基形成的基本条件之一(张帆和王鸿等2019), 插穗根原基分化、形成, 不定根延长整个生根过程消耗大量的营养物质(李大威等2012)。可溶性糖、总氮量、可溶性蛋白含量以及大量元素在整个过程中都发生各自的变化, 或被代谢消耗, 或被组织器官合成

积累为下一时期细胞分裂和分化提供物质储备(Radmann等2014)。

有研究认为插穗存活的养分主要由自身碳水和氮素化合物提供,但对脂肪利用不多(Gregory 1990)。Evern和Smittle (1990)对3个不同品种的桃树硬枝扦插时发现在生根过程中插穗体内淀粉含量最低的品种,生根率反而最高,说明参与扦插不定根形成的是碳水化合物可溶性糖而不是淀粉。研究者发现,插穗的营养物质水平影响其不定根的形成、数量和质量(弦间洋1989)。卢学义(2001)扦插研究发现,插穗的“C/N”值与插穗生根和芽的生长有很大关系。李大威等(2012)认为整个扦插时期内“C/N”值在与生根率成正相关。也有研究发现同一插穗不同部位的营养物质含量差异不大,其中,插穗基部碳水化合物与不定根的形成关系不显著,而与不定根的延长关系则更为密切(Gregory 1990)。主要是由于硬枝插穗木质化程度高,体内积累所致。当插穗内激素、碳水化合物和氮素化合物协同效应达到一定程度时,才有利于插穗不定根形成、延长(Fachinello 1982)。

插穗从扦插到生根,插穗体内的营养物质发生着一系列的转化、积累、分解和消耗(图1),此过程不乏以消耗本身养分为主(白晓燕等2015)。大量研究针对插穗中的氮、磷、钾、钙、硼和铁元素含量在生根、发芽过程中变化进行分析发现,插穗从一开始扦插到不定根形成以及延长自身养分要消耗到一半以上,同时发现插穗中氮和钾的含量与生根率成显著线性关系(Bartolini 1980)。不同树种其插穗生根对无机养分种类和含量的要求是有差别的(卢学义2001)。也有学者发现插穗生根率与其基部的硼、钾的含量呈正相关,与锰的含量呈负相关,钙的含量为先降后升(王文英等2002)。吉庆勇和柳旭波(2006)对12个不同熟期的水蜜桃扦插研究发现,插穗氮和铁元素含量与生根率正相关。姚瑞玲等(2010)在邓恩桉插穗扦插中发现铁含量呈上升趋势,与生根率关系不大,可能与插穗发芽后的光合作用、呼吸作用相关。磷素含量在插穗中普遍含量较低,且扦插过程中含量变化最小,与插穗生根率相关性不显著。可见,插穗中磷、锰和钙元素不直接影响插穗不定根的形成,

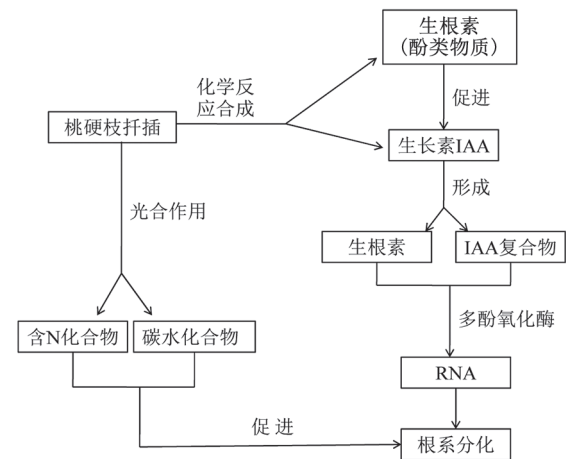


图1 桃硬枝扦插过程中营养物质转化与根形成过程
Fig.1 Process of nutrient transformation and root formation during the cutting of peach hardwood

可能是由于不同的品种与插穗内部酚类物质的不同造成的,其原因仍需进一步研究。因此在选枝扦插时尽量选发育良好粗壮一致的插穗进行扦插有助于生根成活。

目前对桃硬枝扦插过程中养分变化规律以及与生根率之间的关系研究很少,尤其插穗自身营养物质影响不定根形成机理,有待进一步研究。

2.3 插穗内源激素水平及酶活性对扦插不定根形成的影响

2.3.1 内源生长素IAA、ABA和GA含量的变化对不定根形成的影响

许多木本植物插条的难于生根与插条中内源激素水平有关(Tsipouridis和Thomidis 2004)。在扦插过程中通常研究的内源激素主要是IAA、ABA和GA这几种,其浓度是调控不定根生成的重要因素。其重要作用是调节内部养分的分配,使插条内养分向根原基部集中,同时能够促进酶活性加强。

插穗内激素IAA是使根原基发端区成为体内养分的吸收中心,为不定根的形成提供充裕的能量和代谢产物,诱发插穗组织内形成淀粉水解酶,提高磷酸激酶的活性,从而推动呼吸链的快速运转,使插穗下切口附近变成吸收体内营养物质的中心,有利于不定根形成(Hartmann 1958)。在不定根形成4个重要阶段中,脱分化、根原基出现时需

要较高水平的IAA, 根原基的形成和根的生长分化两阶段中则需较低水平的IAA (郑均宝等1991)。IAA通过消除不利生根基因的抑制, 促进了RNA的合成来影响再生初期酶和蛋白质合成的数量和质量, 进而影响根原基的发端和发育(李焕勇等2014)(图1), 随着可溶性有机养分集中, 多种酶活性随之增强, 下切口形成愈伤组织。

内源ABA具有抑制插穗生根的能力, 若整个扦插生根期间ABA含量持续下降到平缓状时, 则有利于插穗内的淀粉水解为糖, 同时也有利于根原基的形成, 从而促进了插穗生根(Noiyion等1992)。但是当插条内ABA含量下降到一定水平后, 若再继续下降, 反而降低生根率(Noiyion等1992)。也有研究明通过解剖学观察和内源激素的测定发现, 插条在生根诱导过程中ABA含量出现了高峰, 而且峰值越高, 则生根率越高(马孟莉等2014), 其主要原因的进一步研究分析。因此说明, 在扦插生根过程中内源激素促进水解酶和养分的动态变化是反映插穗生根能力的重要指标(马孟莉等2014)。

内源GA在扦插不定根产生过程中的变化趋势观点存在分歧。有研究在扦插试验中发现, GA含量的增加与插穗的愈伤组织和不定根的形成呈正相关性(肖关丽等2001)。曹帮华等(2008)对甘蔗的内源激素进行测定分析, 结果发现GA₃、GA₄与其生根率呈负相关性, 其主要原因可能与插条本身品种和树种有关。桃硬枝扦插时内源GA含量如何变化将在以后试验中详细研究。

总之, 插穗生根主要靠内部IAA和ABA含量的共同作用。IAA/ABA含量比值越高, 越有利于生根, 反之, 则越低。插穗内源激素作用的发挥不是单一而为, 而是经过外源植物生长调节物质刺激促进了内源激素作用。桃硬枝扦插过程中内源激素的变化规律如何研究较少, 有待进一步研究。

2.3.2 氧化酶活性对扦插不定根形成的影响

植物扦插过程中, 酶类在生长、发育、根形成以及其他新陈代谢中发挥着重要的作用(张宇和1984)。尤其吲哚乙酸氧化酶(indole acetic acid oxidase, IAAO)、多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)和过氧化物酶(peroxidase, POD)。硬枝扦插生根是一个在短时间内新陈代谢较为剧烈的过程,

又由于插穗基部本身存在切口, 植物体内保护性酶的活力减弱, 将直接影响插穗的生根能力。以上三种保护酶被证实与植物扦插不定根生长和发育密切相关(彭永康和崔世民1993)。

IAAO是植物体内普遍存在的一种酶, 具有降解IAA的作用, 调节植物体内IAA的含量。由于IAA对插条各器官的发育生长起关键作用, 所以在插穗不定根的形成过程中, IAAO活性影响着根原基体的启动和不定根的形成和生长(Pacura等2014)。在研究硬枝扦插过程中对IAAO活性研究发现, 导致植物生根困难的重要原因之一是插穗内IAAO活性一直处于较高的水平, 而容易生根的插穗内IAAO活性则较低(彭永康和崔世民1993)。原因可能为插穗内IAAO活性较高时, 降解了插穗中IAA含量, 插穗中IAA含量减少不利于不定根形成和生长。因此在扦插试验之前有必要先测定插条内部IAAO活性, 为插条能否很好生根作预判。

POD是一类含铁叶琳辅基的酶, 普遍存在于植物体内(Gaspar等1992)。参与植物体内的多种生理过程和木质素的形成, 对不定根的诱导和生长都具重要关系(Krisnankutty 2005)。有研究发现, 在扦插过程中POD活性呈现“升高→降低→升高”的趋势(刘玉艳等2003)。有部分研究发现, 插条在生根的初始期其POD活性比平常升高2~20倍, 而在生根后其活性则降低或回到初始水平(李明等2000)。

PPO是一种含铜的、活性比较高的一种水解酶, 能够催化酚类物质与IAA缩合形成一种“IAA-酚酸复合物”, 这种复合物是一种生根辅助因子, 对不定根形成和伸长密切相关(Yilmaz等2003)。有研究发现PPO主要集中在根原基形成的部位。在不定根形成早期, PPO处于较高的活性, 而不定根形成后期则表现出持续的下降趋势(Timm等2015)。说明PPO对根原基的形成起着重要的作用, 能够影响细胞分裂分化和根原基的形成生长。目前在桃硬枝扦插过程中插穗氧化酶活性变化规律相关研究缺少, 将是下阶段研究的重要方面之一。

综上, 植物扦插生根并不是由某种物质单独调节, 而是扦插环境和插穗内多种植物营养物质、激素和酶等多因素共同调控、相互作用的结果。

3 其它

3.1 炼苗移栽

插穗扦插20 d左右是其愈伤组织和不定根形成关键期,但根系发育完全则需要40 d。生根质量一般以根长和根数作为指标。扦插形成的不定根往往是长根、短根并存,当根数达到5~7条时,至少有一个根超过3 cm;当不定根长到5~10 cm时,往往发出2、3条侧根。正因为桃根系存在这两个现象,从而根越长,根的数量越多,发生侧根也越多。扦插成活苗,移栽时要注意炼苗,移栽前1周关闭苗床加温设备,使基质温度降低,使根组织能够实现更高的分化程度和更大的稳定性,即减少移植损伤的风险,并更快地恢复从移栽基质(土壤:珍珠岩:草炭=0.5:0.5:1)中吸收水分和养分,移栽后浇透水,7 d内用6针遮阴网遮荫保湿,保持成活率。

3.2 移栽苗处理

移栽后的扦插苗为了保持成活率,对插条上没有发芽的芽苞可以用1 000 mg·L⁻¹ GA₃喷洒,前2 d每天一次,之后每3 d一次,共喷洒4~5次即可。

4 小结与展望

目前关于影响桃硬枝扦插生根已进行了大量研究,这些研究主要集中在扦插条件(温湿度、光照、插条取材部位及扦插时间、外源生长调节剂等),对桃扦插生根过程中激素水平、酶活性以及营养物质等的动态变化及相互间消长作用缺少一定的掌握,尤其在插条解剖学和根源基的发生形成方面缺乏系统掌握。本文总结前人研究成果并在利用先进科学技术的基础上,通过对桃硬枝扦插生根过程中扦插环境、内外源激素水平、酶活性以及营养物质变化进行全面分析总结,明确了桃硬枝生根过程中根源基的发生机理及影响因素,为桃扦插繁殖技术提供理论支持。对于不定根的发生与生长这一复杂过程,还有许多机理需要去探讨研究,如各影响因素间如何相互协同和调控,以及决定生根类型的基因挖掘等方面,需要进一步深入研究。

参考文献(References)

Ahmed Ch. MS, Abbasi NA, Muhammad A (2003). Effect

of IBA on hardwood cuttings of peach rootstocks under greenhouse conditions. *Asian Plant Sci J*, 2: 265–269

Bai XY, Wang LR, Wang XW, et al (2015). Microscopic observation on adventitious root development of micropropagation and cutting propagation on peach rootstocks. *Fruit Sci J*, 32 (1): 74–78, 175 (in Chinese with English abstract) [白晓燕, 王力荣, 王新卫等(2015). 桃砧木组织培养和扦插生根的解剖学观察. *果树学报*, 32 (1): 74–78, 175]

Bai XY, Wang LR, Zhu GR, et al (2014). Study on the influencing factors of cutting propagation of semi-hardwood branches of peach rootstock. *Chin Fruits*, (5): 36–39 (in Chinese with English abstract) [白晓燕, 王力荣, 朱更瑞等(2014). 桃砧木半硬枝扦插繁殖影响因子的研究. *中国果树*, (5): 36–39]

Barrolimi G (1980). Studies on the causes of variability in the rooting capacity of cutting of different peach cultivar. *Hort Abst*, 50 (9): 69–72

Bartolini G (1980). The effect of sampling time on the rooting of peach cuttings from cultivars with different cold requirement. *Hort Abst*, 50 (7): 5028

Cao BH, Hu HJ, Zhang DP, et al (2008). Rooting capacity and correlative enzymes activities of hardwood cuttings of mulberr. *Sericul Sci*, 34 (1): 96–100 (in Chinese with English abstract) [曹帮华, 扈红军, 张大鹏等(2008). 桑树硬枝扦插生根能力及其生根关联酶活性的研究. *蚕业科学*, 34 (1): 96–100]

Chu LL, Chu MY, Tian JX (2013). Effects of hormones on the softwood branch cuttings effect of the Jisera No.5 cherry rootstock under the full-light mist and misty. *Shanxi Fruits*, (2): 6–7 (in Chinese with English abstract) [褚丽丽, 褚福侠, 田家祥(2013). 激素对吉塞拉5号樱桃砧木全光照弥雾嫩枝扦插效果的影响. *山西果树*, (2): 6–7]

Erez A (1984). Improving the rooting of peach hardwood cutting under field condition. *HortScience*, 19 (2): 245–247

Even DR, Smittle DA (1990). Limb girdling influences rooting, survival, total sugar and starch of dormant hardwood peach cuttings. *HortScience*, 25 (10): 1224–1226

Fachinello JG (1982). Effect of IBA on the rooting of hardwood cuttings of peach cultivars diamante. *Hort Abst*, 52 (12): 7765

Feng J (2014). Cloning and expressing analysis of *LaIAA2* gene from larch. *Liaoning For Sci Tech*, (6): 14–18 (in Chinese with English abstract) [冯健(2014). 落叶松 *LaIAA2* 基因的克隆及表达分析. *辽宁林业科技*, (6): 14–18]

Feng J, Qi LW, Zhang SG (2006). Review of molecular mechanism of plant rooting. *Biotechnol Bull*, (S1): 38–44 (in Chinese with English abstract) [冯健, 齐力旺, 张守攻(2006). 植物生根的分子机理研究进展. *生物技术通报*,

- (S1): 38–44]
- Ferriani AP, Bortolini MF, Zuffellato-Ribas KC, et al (2006). Vegetative propagation by cuttings of azaléia tree (*Rhododendron thomsonii* Hook f). *Semina: Ciências Agrárias* (Londrina), 27 (1): 35–42
- Gabriela GR, Ilisandra Z, Newton AM (2017). Effect of genotype on rooting and acclimatization of semihardwood cutting of peach rootstocks. *Revista de Ciências Agrovet-erínárias*, 16: 449–455
- Galal IE, Shaymaa NS, Naguib SG (2018). Comparative studies on the propagation of some imported peach rootstocks by using hardwood cuttings. *Acta Hort*, 8: 1–18
- Gao XY, Wang YY (2003). *Plant Asexual Reproduction Practical Technology*. Beijing: Golden Shield Press (in Chinese) [高新一, 王玉英(2003). 植物无性繁殖实用技术. 北京: 金盾出版社]
- Gaspar T, Kevers C, Hausman JF, et al (1992). Practical uses of peroxidase activity as a predictive marker of rooting performance of micropropagated shoots. *Agronomie*, 12 (10): 757–765
- Gemma H (1989). Study on cutting propagation of peach. *Foreign Agron-Fruits*, (1): 1–6 (in Chinese) [弦间洋(1989). 桃树扦插繁殖的研究. 国外农学(果树), (1): 1–6]
- Gregory L (1990). Rooting and survival potential of hardwood cutting of 406 species, cultivars and hybrids of *Prunus*. *HortScience*, 25 (5): 517–518
- Hartmann HT (1958). Effect of season of collecting, indolebutyric acid and preplanting storage treatment on rooting of *Marianna plum*, Peach and Quince hardwood cuttings. *Pro Amer Soc Hort Sci*, 71: 57–66
- Ji QY, Liu XB (2006). Influence of natural leaf drop and nutritional status of the stock plant on rooting of peach cuttings. *Zhejiang Agric Sci*, (3): 272–274 (in Chinese with English abstract) [吉庆勇, 柳旭波(2006). 叶片自然凋落与插穗营养状况对桃扦插生根的影响. 浙江农业科学, (3): 272–274]
- Jiang L, Zhang CL, Shao YC, et al (2011). Advance of the propagation technology for peach nursery plant worldwide. *Northern Fruits*, (2): 1–5 (in Chinese with English abstract) [姜林, 张翠玲, 邵永春等(2011). 国内外桃树育苗技术研究进展. 北方果树, (2): 1–5]
- Karimi S, Yadollahi A (2012). Using putrescine to increase the rooting ability of hardwood cuttings of the peach×almond hybrid GF677. *J Agrobiol*, 29 (2): 63–69
- Kochhar S, Kochhar VK, Singh SP, et al (2005). Differential rooting and sprouting behaviour of two *Jatropha* species and associated physiological and biochemical changes. *Current Sci*, 89 (6): 936–939
- Layne DR, Bassi D (2008). *The Peach Botany, Production and Uses*. UK: CABI Publishing
- Li DW, Jing M, Li W, et al (2012). Different periods of nutrient content on the cutting rooting of hazelnut. *Shandong For Sci Tech*, 42 (2): 27–29 (in Chinese with English abstract) [李大威, 景淼, 李伟等(2012). 不同时期插穗内营养物质含量对榛子扦插生根的影响. 山东林业科技, 42 (2): 27–29]
- Li HY, Liu T, Zhang HX, et al (2014). Research progress in rooting mechanism of plant cuttings. *World For Res*, 27 (1): 23–28 (in Chinese with English abstract) [李焕勇, 刘涛, 张华新等(2014). 植物扦插生根机理研究进展. 世界林业研究, 27 (1): 23–28]
- Li M, Huang ZL, Tan SM, et al (2000). Comparison on the activities and isoenzymes of polyphenol oxidase and indoleacetic acid oxidase of difficult and easy-to-root eucalyptus species. *For Res*, 13 (5): 493–500 (in Chinese with English abstract) [李明, 黄卓烈, 谭绍满等(2000). 难易生根按树多酚氧化酶、吲哚乙酸氧化酶活性及其同工酶的比较研究. 林业科学研究, 13 (5): 493–500]
- Liu W, Cao XH (2011). Effects of different levels, hormones and concentrations on scale cutting propagation for *Lilium subphureum* Baker. bud scale. *Northern Hort*, (8): 85–87 (in Chinese with English abstract) [刘伟, 曹晓慧(2011). 不同层次、不同激素及浓度对淡黄花百合鳞片扦插的影响. 北方园艺, (8): 85–87]
- Liu XJ, Tan YA, Bai LX (2015). Effects of different plant growth regulators on rooting of climbing *Rosa chinensis* ‘Ongela’ cuttings. *Jiangsu For Sci Tech J*, 42 (5): 26–32 (in Chinese with English abstract) [刘训金, 谭永安, 柏立新(2015). 芸苔素内酯等生长调节剂对藤本月季插穗生根影响初探. 江苏林业科技, 42 (5): 26–32]
- Liu YY, Yu FM, Yu J (2003). Primary study on the effects of IBA to the rooting of *Michelia figo*. *Hebei Agric Univ J*, 26 (2): 25–29 (in Chinese with English abstract) [刘玉艳, 于凤鸣, 于娟(2003). IBA对含笑扦插生根影响初探. 河北农业大学学报, 26 (2): 25–29]
- Lu XY (2001). *Garden Tree Seedling Technology*. Shenyang: Liaoning Science and Technology Publishing House (in Chinese) [卢学义(2001). 园林树种育苗技术. 沈阳: 辽宁科学技术出版社]
- Ma ML, Lu BY, Liu YH, et al (2014). Effects of applying bud, 6-BA and NAA treatment on the germination of *Zygocactus truncatus* orchid cuttings. *Jiangsu Agric Sci*, 42 (5): 156–158 (in Chinese) [马孟莉, 卢丙越, 刘艳红等(2014). 抹芽、6-BA和NAA处理对蟹爪兰扦插苗发芽的影响. 江苏农业科学, 42 (5): 156–158]
- Markovski A, Popovska M, Gjamovski V (2015). Investigation of the possibility for production of some stone fruit rootstocks by rooting cuttings. *Acta Agric Serbica*, 20 (39): 75–83
- Matta FB (1987). Influence of mulch and propagation date on

- rooting and survival of semi-hardwood peach cuttings under field condition. Mississippi Agr For Expt Sta Res Rpt, 12 (14): 1–3
- Mehri H, Mhanna K, Soltane A, et al (2013). Performance of olive cuttings (*Olea europaea* L.) of different cultivars growing in the agro-climatic conditions of Al-Jouf (Saudi Arabia). Am J Plant Physiol, 8 (1): 41–49
- Noiyion D, Vine JH, Mullins MG (1992). Effects of serial subculture *in vitro* on the endogenous levels of indole-3-acetic acid and abscisic acid and rootability in microcutting of 'Joostan' apple. Plant Growth Regul, 11 (4): 377–384
- Pacurar DI, Perrone I, Bellini C (2014). Auxin is a central player in the hormone cross-talks that control adventitious rooting. Physiol Plant, 151 (1): 83–96
- Peng YK, Cui SM (1993). The structure, catalytic reactions and physiological function of peroxidase in plants. Tianjin Nor Univ J (Nat Sci Ed), 22 (2): 65–72 (in Chinese with English abstract) [彭永康, 崔世民(1993). 植物过氧化物酶的结构、催化反应及生理功能. 天津师大学报(自然科学版), 22 (2): 65–72]
- Qiu XY, Chen L, HU WJ, et al (2015). Expressional variations of *ABI4* and *PIN1* genes during the rooting process of mulberry softwood cutting propagation and their correlation with rooting ability. Acta Sericologica Sin, 41 (2): 204–210 (in Chinese with English abstract) [裘晓云, 陈琳, 胡文君等(2015). 桑树绿枝扦插繁殖过程中*ABI4*和*PIN1*基因的表达变化及与生根性能的相关性. 蚕业科学, 41 (2): 204–210]
- Radmann EB, Feijó AR, Goulart RC, et al (2014). Interaction between genotype and aib in rooting of semi hardwood cuttings of peach rootstocks. Pesquisas Agrárise Ambientais, 2 (4): 129–133
- Rosa GG, Zandrandrea I, Mayere NA, et al (2017). Effect of genotype on rooting and acclimatization of semi hardwood cutting of peach rootstocks. Revista de Ciências Agroveterinárias, 16 (3): 449–455
- Schreekenberg K, Degrande A, Mbosso C, et al (2002). The social and economic importance of *Daeryodes edulis* (G. Don) H. J Lam in southern Cameroon. For Trees Livelihoods, 12 (1/2): 15–40
- Sen SM (1983). Factors affecting survival of 'in field' rooted hardwood peach cuttings. HortScience, 18 (3): 324–325
- Shen XH (1990). Forest Breeding. Beijing: China Forestry Publishing House (in Chinese) [沈熙环(1990). 林木育种学. 北京: 中国林业出版社]
- Shu W, Zhou H, Jiang C, et al (2019). The auxin receptor TIR1 homolog (PagFBL1) regulates adventitious rooting through interactions with Aux/IAA 28 in *Populus*. Plant Biotechnol J, 17 (2): 338–349
- Timm CRF, Schuch MW, Tomaz ZFP, et al (2015). Rooting of herbaceous minicuttings of peach rootstock under effect of indolebutyric acid (IBA). Ciências Agrárias, Londrina, 36 (1): 135–140
- Tsipouridis C, Thomidis T (2004). Rooting of 'GF677' (almond×peachhybrid) hardwood cuttings in relation to hydrogen hyperoxide, moisture content, oxygen concentration and pH of substrate. Austr J Exp Agric, 44: 801–805
- Tsipouridis C, Thomidis T, Michailides Z (2005). Influence of some external factors on the rooting of GF677. peach and nectarine shoot hardwood cuttings. Aust J Exp Agric, 45: 107–113
- Wang FR, Wang HL, Gong LZ, et al (2016). Hardwood cuttage rooting of four varieties of peach rootstocks. J Anhui Agric Sci, 44 (17): 39–40, 60 (in Chinese with English abstract) [王富荣, 王会良, 龚林忠等(2016). 4种桃砧木品种硬枝扦插生根研究. 安徽农业科学, 44 (17): 39–40, 60]
- Wang WY, Wen HL, Xing SY (2002). Application of plant growth regulators in cutting propagation. Practical For Technol, (7): 9–10 (in Chinese) [王文英, 翁和录, 邢世岩(2002). 植物生长调节剂在扦插繁殖中的应用. 林业实用技术, (7): 9–10]
- Wei S, Si J (1994). Research progress on cutting propagation technique of peach hardwoods. J Fruits Sci, 11 (3): 186–189 (in Chinese) [魏书, 司静(1994). 桃硬枝扦插繁殖技术研究进展. 果树科学, 11 (3): 186–189]
- Xiao GL, Yang QH, Li FS, et al (2001). Study on the relationship between endogenous hormones and the rooting rate of plantlet of sugarcane in the course of subculture. J Yunnan Agric Univ, (4): 271–273 (in Chinese with English abstract) [肖关丽, 杨清辉, 李富生等(2001). 甘蔗组培苗继代培养中内源激素与绿苗生根率关系研究. 云南农业大学学报, (4): 271–273]
- Xu JZ, Chen SW (1998). Study on cutting rooting of peach. J Hebei Agric Univ, 11 (1): 12–22 (in Chinese) [徐继忠, 陈四维(1998). 桃树扦插生根的研究. 河北农业大学学报, 11 (1): 12–22]
- Xu M, Xie WF, Huang MR (2015). Two *WUSCHE*-related *HOMEBOX* genes, *PeWOX11a* and *PeWOX11b*, are involved in adventitious root formation of poplar. Physiol Plant, 155 (4): 446–456
- Yao RL, Xiang DY, Chen JB, et al (2010). Variation of nutrient elements content in rooting process of two eucalyptus species cuttings. J Anhui Agric Sci, 38 (33): 18992–18993 (in Chinese with English abstract) [姚瑞玲, 项东云, 陈健波等(2010). 2种桉树插穗生根过程中营养元素含量的变化. 安徽农业科学, 38 (33): 18992–18993]
- Zhang CL, Jiang L, Yu FS, et al (2017). Progress of research on peach tseedlings technology. Xi'an: Proceedings of the 3rd Symposium of the Chinese Hort Society Peach

- Branch, 31–37 (in Chinese with English abstract) [张翠玲, 姜林, 于福顺等(2011). 桃树育苗技术研究进展. 西安: 中国园艺学会桃分会第三届学术研讨会论文集, 31–37]
- Zhang F, Wang H (2018). Effects of substrate and hormone on rooting of hardwood cuttings of peach rootstock GF677. *Forest Sci Tech*, 12: 53–56 (in Chinese) [张帆, 王鸿(2018). 基质和激素对桃砧木GF677硬枝扦插生根的影响. *林业科技通讯*, 12:53–56]
- Zhang F, Wang H (2019). Research progress of peach greenwood cutting. *China Fruits*, (2): 20–25 (in Chinese with English abstract) [张帆, 王鸿(2019). 桃绿枝扦插研究进展. *中国果树*, (2): 20–25]
- Zhang JC, Gong HJ, Jiang QS, et al (2008). Effects of different substrate on cutting rooting of a early-ripening peach cultivar ‘Siyuehong’ in Guangxi. *Northern Hortic*, (10): 22–25 (in Chinese with English abstract) [张静翹, 龚弘娟, 蒋桥生等(2008). 广西桃早熟品种“四月红”不同基质的扦插生根效果研究. *北方园艺*, (10): 22–25]
- Zhang LZ, Zhao CZ, Lou XS (1993). Preliminary report on the test of hardwood cutting of ‘feicheng peach’. *Deciduous Fruits*, (4): 18 (in Chinese) [张连忠, 赵春芝, 罗新书(1993). 肥城桃硬枝扦插试验初报. *落叶果树*, (4): 18]
- Zhang YH (1984). *Fruit Tree Reproduction*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 91–92 (in Chinese) [张宇和(1984). *果树繁殖*. 上海: 上海科学技术出版社, 91–92]
- Zhen JB, Liu YJ, Pei BH, et al (1991). Relationship between several woody plants cutting roots and endogenous IAA, ABA. *Plant Physiol J*, 17 (3): 313–316 (in Chinese with English abstract) [郑均宝, 刘玉军, 裴保华等(1991). 几种木本植物插穗生根与内源IAA、ABA的关系. *植物生理学报*, 17 (3): 313–316]
- Zhen KW, Pan JS (1990). Preliminary report on peach cutting propagation. *Beijing Agric Univ J*, 16 (1): 165–169 (in Chinese with English abstract) [郑开文, 潘季淑(1990). 桃扦插繁殖试验初报. *北京农业大学学报*, 16 (1): 165–169]

Research status of rooting mechanism of peach hardwood cutting

ZHANG Fan, WANG Hong*

Institute of Fruit and Floriculture Research, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China

Abstract: Peach propagation from hardwood cuttings is based on the ability of plant cells to resume meristematic activity and produce adventitious roots in tissues that have reached a fairly advanced stage of differentiation. Since the cutting is represented by a portion of an organ that is separated from the mother plant, it may suffer from the influence of environmental conditions (light, temperature, humidity, substrates), exogenous hormones, the physiological and biochemical characters of the cuttings, including the characteristics of the mother tree, the time of harvesting of the cuttings, rhizogenic treatment and the propagation technique adopted. Thus in order to promote rooting, metabolic activity must be shielded from the adverse effects of stress that could impair rhizogenesis. Numerous studies on the behaviour of self-rooted peach cultivars have shown that the results were poor. However, this propagation method is adopted exclusively for some clonal rootstocks. Exploring the rooting mechanism is important for understanding of the formation of adventitious roots. This review was related to investigations of environment, physiology and biochemistry (scion hormone, enzyme, nutrient, etc.) and molecular study of peach hardwood cuttings propagation. Through the comprehensive analysis of the latest research progress, combined with our own study results, we aimed to provide technical reference and theoretical support for accelerating rooting rate and increasing survival rate of peach hardwood cuttings which are not easy to root, furthermore, to formulate corresponding peach hardwood cuttings rooting strategies.

Key words: peach; hardwood cutting; rooting mechanism; physiological and biochemical; synergistic relationship

Received 2019-03-03 Accepted 2019-08-12

This work was supported by the Institute of Innovation Ph.D. (2016GAAS29), the National Natural Science Foundation of China (31760558), and National Peach Industry Technology System Seedling Expansion and Production Technology Post (CARS-30-1-6).

*Corresponding author (wanghong@gsagr.ac.cn).