

张秀祿, 马天路, 孙雨桐, 等. 果树嫁接提高植株抗逆性机理的研究进展[J]. 江苏农业学报, 2025, 41(12): 2472-2480.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2025.12.019

果树嫁接提高植株抗逆性机理的研究进展

张秀祿, 马天路, 孙雨桐, 张梦娇, 张静, 梁婧, 姚文孔
(宁夏大学葡萄酒与园艺学院, 宁夏 银川 750021)

摘要: 果树嫁接是一种植物无性繁殖技术, 可将优良砧木与接穗结合形成新的植株体。合理的嫁接能有效提高果树响应逆境胁迫的能力, 改善果树农艺性状和生理生化性状, 提高果实产量和品质。本研究综述了果树嫁接植株抗逆机理和砧穗互作机制, 展望了果树嫁接未来研究方向, 旨在为果树嫁接砧木的选择及优良砧木的培育提供依据和参考。

关键词: 砧木; 嫁接; 抗逆; 激素调控; 互作机理

中图分类号: S66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2025)12-2472-09

Research progress on the mechanism of fruit tree grafting to improve plant stress resistance

ZHANG Xiulu, MA Tianlu, SUN Yutong, ZHANG Mengjiao, ZHANG Jing, LIANG Jing, YAO Wenkong
(School of Enology and Horticulture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Fruit tree grafting is a kind of plant asexual reproduction technology, which can combine excellent rootstocks with scions to form new plants. Reasonable grafting can effectively improve the stress response ability of fruit trees, improve the agronomic traits and physiological and biochemical traits of fruit trees, and improve fruit yield and quality. This study reviewed the stress resistance mechanism and rootstock-scion interaction mechanism of fruit tree grafted plants, and prospected the future research direction of fruit tree grafting, aiming to provide basis and reference for the selection of fruit tree rootstocks for grafting and the cultivation of excellent rootstocks.

Key words: rootstock; grafting; stress resistance; hormonal regulation; interaction mechanism

嫁接是植物无性繁育方法之一, 被广泛应用于果树、蔬菜、花卉等园艺作物的种苗选育、品种改良、产量提高等方面。嫁接技术能突破传统育种的局限, 在种质资源保护、遗传稳定性检测及杂交种早期

鉴定等方面具有广阔的应用前景。果树嫁接主要分为枝接和芽接。近年来, 组织培养快速繁殖与嫁接技术结合的微嫁接技术逐渐成为果树抗性研究的重要手段^[1], 在柑橘等果树生产中应用颇多。根据微嫁接所选用的接穗不同, 可分为茎尖嫁接、微枝嫁接、愈伤组织嫁接和细胞嫁接^[2]。果树嫁接中砧木与接穗之间的联系贯穿嫁接后整个生命时期, 其中愈伤组织桥、层环、维管束桥等组织的形成是嫁接成活的关键, 新的维管系统建成、砧穗韧皮部与木质部重新连接对新植株体的生命活动至关重要^[3-4]。目前, 关于砧穗亲合力、矮化、乔化及抗逆机理等方面的研究较多, 但接穗与砧木之间的相互作用机制尚不明确。

收稿日期: 2025-03-07

基金项目: 宁夏自然科学基金项目(2024AAC05049); 宁夏回族自治区农业育种专项(NXNYZ202101); 宁夏回族自治区重点研发项目(2025BBF02019)

作者简介: 张秀祿(1998-), 女, 甘肃武山人, 硕士研究生, 主要从事葡萄逆境栽培及育种研究。(Tel) 18919243955; (E-mail) zhangxiulu123456@163.com

通讯作者: 姚文孔, (Tel) 15121817013; (E-mail) yaowenkong@163.com

果树产业是中国农业产业的重要组成部分,但生物胁迫和非生物逆境是制约中国果树产业发展的瓶颈,筛选出抗性良好的砧木,可有效缓解逆境胁迫对果树栽培生产的不利影响,实现优质高产,增加经济效益。本研究综述了嫁接对果树生物胁迫和非生物胁迫抗性的影响、砧穗互作机制、植物激素对砧穗生理调控机制,旨在为果树抗逆栽培、适宜砧木的选择与利用提供参考。

1 嫁接可以提高果树对生物胁迫的抗性

果树种植中,由真菌、细菌、病毒、虫害等引起的生物胁迫严重限制果品的产量和品质^[5-8]。果树病虫害防治方法主要包括农业防治、物理防治、生物防治和化学防治。利用抗性砧木提高嫁接植株病虫害抗性在生产中得到越来越多的应用。

1.1 嫁接可以提高果树对病毒病的抗性

果树病毒病常采用钝化病毒活性、抑制病毒复制等手段进行防控。病毒病的传播除昆虫、螨类、嫁接和土壤等媒介,还包括苗木自身携带、修剪整枝等果园管理过程。利用热处理、茎尖培养和化学处理等脱毒技术培育无病毒植株,可从根源上杜绝病毒传播^[9]。利用抗性砧木嫁接,可以有效缓解病毒病对嫁接植株的威胁^[10]。以枳或枳橙为砧木,可提高嫁接柑橘对碎叶病抗性,以枳橙、酸橘和红橘等为砧木可提高嫁接柑橘植株对衰退病和裂皮病的抗性^[11]。以中砧1号为砧木,可提高苹果嫁接植株对褪绿叶斑病、茎痘病、茎沟槽病的抗性^[12]。以沙地葡萄为砧木,可缓解茎痘病对嫁接葡萄植株的危害^[13]。

1.2 嫁接可以提高果树对真菌病害的抗性

在降水量较多的年份,果树极易受到花叶病和黄叶病等真菌性病害的感染^[14]。果树真菌性病害的防治方法以化学防治为主。近年来利用抗病砧木嫁接防治果树真菌病害亦得到较多研究。姜中武等^[15]研究发现,以烟砧一号砧木为中间砧,可提高富士苹果对轮纹病的抗性。以平邑甜茶为砧木,可显著降低嫁接秋富红苹果轮纹病的发病率和病情指数,并提高产量和优质果率^[16]。魏灵珠等^[17]比较了不同砧木对嫁接葡萄新雅抗灰霉病的影响,研究发现自根苗的灰霉病穗率高于嫁接苗,420A、哥洛尔、SO4、麦可达木斯和5BB等砧木嫁接苗的灰霉病穗率为0。以枳属砧木进行嫁接处理,可显著提高

柑橘植株抗脚腐病能力^[18]。以君迁子为砧木,可提高嫁接柿的抗炭疽病能力^[19]。

1.3 嫁接可以提高果树对细菌病害的抗性

细菌对果树的危害仅次于病毒和真菌,根癌病和穿孔病是果树生产中常见的细菌性病害^[20]。目前生产中细菌性病害常采用物理方法、化学方法和生物方法等进行防治,但效果均不理想。虽然利用基因工程培育抗病品种是理想的防治措施,但挖掘抗性基因耗时费力。目前,利用砧木提高果树植株的抗性已成为果树细菌性病害防治的常用手段^[21-24]。以河岸葡萄和SO4为砧木,可提高葡萄植株对根癌病的抗性^[22]。以马哈利CDR-1为砧木,可提高樱桃植株对根癌病的抗性^[23];以长柄扁桃为砧木,可提高欧李植株对根癌病的抗性^[24]。目前樱桃等核果类果树共有的细菌性穿孔病主要采用化学药物进行防治,抗细菌性穿孔病砧木选育对该病害防治具有较好的发展前景^[25]。

1.4 嫁接可以提高果树对虫害的抗性

果树种植中,蚧壳虫、线虫等害虫对果实品质和植株生长发育存在严重威胁。根结线虫属(*Meloidogyne*)、毛刺线虫属(*Trichodorus*)、根腐线虫属(*Pratylenchus*)等属线虫侵害果树根系后,可直接破坏根系结构、介导次生病害、干扰果树营养吸收,导致果树生长缓慢甚至死亡。利用抗虫害的砧木可有效防止果树虫害的发生与蔓延,是果树绿色无公害生产的主要手段之一。朱伟生等^[26]研究发现,枳和枳橙砧木对柑橘根结线虫虫害具有较强抗性。列玛格、阿克拉娃、筑波2号、筑波3号和寿星桃1号等砧木对桃南方根结线虫有明显的抑制作用^[27]。葛启要^[28]以中国野生山葡萄与美国野生葡萄杂交得到的36个杂种株和砧木5BB为材料,筛选出7个有效抵抗葡萄根结线虫的砧木品种,为利用嫁接技术进行葡萄根结线虫防治提供了基础。

从上述分析可以看出,嫁接植株的抗病性增强本质是无病接穗与抗逆砧木协同构建的地上-地下立体防御体系,其效能取决于脱毒技术的彻底性与砧木遗传抗性的精准匹配。

2 嫁接可以提高果树对非生物胁迫的抗性

2.1 嫁接可以提高果树对温度胁迫的抗性

2.1.1 低温胁迫 果树遭受低温危害时,表型萎

焉、叶片呈水渍状、长势变弱、产量下降、品质降低,严重时会出现掉果和局部组织坏死症状。任群红等^[29]研究发现,低温胁迫下,葡萄植株枝条相对电导率增加,细胞内电解质渗出率增加。李桂荣等^[30]研究结果表明,随着低温胁迫强度的增加,葡萄枝条电解质渗出率呈增加趋势,不同无核葡萄品种枝条可溶性蛋白含量和可溶性糖含量呈现不同的规律。龚玲等^[31]比较了柑橘不同砧木的耐寒性,发现砧木枳能耐-26℃低温,耐寒能力强。杨锋等^[32]研究发现,抗寒砧木 CX 系(矮化砧木 CX3 和半矮化砧木 CX4)能使苹果嫁接植株抵御-24.6℃低温。青砧系、新疆野苹果、山定子和山荆子等耐寒砧木能有效缓解低温对苹果嫁接植株的胁迫^[33-35]。贝达、左山一、双红、北冰红、110R、5C、101-14、188-08、5BB、SO4 和 1103P 等抗寒砧木能增加葡萄嫁接植株对极端低温的适应能力^[36-37]。因此,利用砧木的抗寒性可提高嫁接果树植株对低温的抵御能力。

2.1.2 高温胁迫 果树植株对高温的响应机制较为复杂。一方面,高温能影响果树光合作用、呼吸作用、水分吸收、糖分积累和果实转色等生理过程^[38];另一方面,高温还能破坏植物叶片细胞膜系统、叶绿体和线粒体结构等,导致碳平衡失调,进而影响植物耐热性^[39]。利用耐热砧木可提高果树植株的耐高温能力。周军永等^[40]研究发现,贝达、华佳 8 号和 SO4 等砧木可增强高温胁迫下醉金香葡萄的生长势,提高其耐热性。砧木较强的根系吸水能力有利于满足高温带来的果树植株水分需求,维持果树植株体内的水分平衡^[41]。高温条件下,以五叶香丝瓜为砧木的嫁接处理不但能提高黄瓜果实中的可溶性糖含量和游离氨基酸含量,还有助于促进黄瓜果实的正常转色^[42]。与自根苗相比,嫁接处理有利于维持苹果叶片细胞膜的稳定性,避免可溶性蛋白变性和超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)等抗氧化酶失活,减少电解质和水分流失,进而缓解高温胁迫的不利影响^[43]。综上所述,选用合适的耐热砧木进行嫁接处理不仅可以提高果树的耐高温能力,还能在一定程度上缓解高温对果树生理过程的负面影响,提高果树的生产力和果实品质。

2.2 嫁接能提高果树对水分胁迫的抗性

2.2.1 干旱胁迫 干旱胁迫是中国果树栽培中常见的非生物胁迫之一。干旱胁迫对果树形态结构和

生理代谢过程有广泛影响。干旱胁迫下,光合同化物向根系的分配比例增加,加速根系生长,而叶绿素生成受到抑制,光合产物减少^[44];果树植株一方面通过调节蒸腾作用和光合作用来降低代谢速率,另一方面还利用无机离子(K^+ 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 等)和有机溶质(脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白、甜菜碱等)调节果树植株体内水分平衡,缓解干旱胁迫^[45-46]。同时,果树植株中抗氧化酶、谷胱甘肽还原酶(GR)、脱氢抗坏血酸还原酶(DHAR)和谷胱甘肽-S-转移酶(GST)等酶活性增强,以消除干旱导致的细胞器、膜系统和细胞壁中过量活性氧(ROS),进而提高植株的抗逆性^[47]。耐旱砧木提高嫁接植株抗旱能力的机制在于 2 个方面,一是通过嫁接部位将抗旱基因传递至接穗植株,二是通过耐旱砧木调节嫁接植株的生理反应。在干旱胁迫下,二倍体桑树分别与本砧和异砧(三倍体桑树)嫁接,其叶片相对含水量分别比自根苗高 33.16%和 5.56%^[48]。以酸橘和狗头橘为砧木能提高柑橘嫁接植株的抗旱能力^[11]。利用 3309C、196-17 和 1103P 等抗旱能力较强的砧木与接穗赤霞珠葡萄嫁接,能显著提高嫁接植株的抗旱性^[49-50]。Maleki Asayesh 等^[51]研究结果表明,干旱胁迫条件下,欧洲梨(*Pyrus communis* L.)嫁接植株比未嫁接植株具有更高的总酚含量、类黄酮含量和抗氧化酶活性,且酶促反应下的增效优于非酶促反应,即嫁接苗的酶促处理能更好地提高植株对干旱胁迫的耐受性。抗旱砧木与接穗结合,可有效降低干旱胁迫对澳洲坚果生长的影响^[52]。利用抗旱砧木缓解果树、蔬菜以及花卉等植物的干旱胁迫在生产中有广泛应用。

2.2.2 洪涝胁迫 在中国沿海及南方地区,排水不良、地势低洼的果园常遭受洪涝灾害的影响。长时间的淹水胁迫会导致果树植株根系缺氧、叶片黄化、落果等现象。植物体内抗氧化酶活性及丙二醛(MDA)含量、可溶性蛋白含量和脯氨酸(Pro)含量与植物的耐涝性能相关,是果树耐涝性的重要评价指标。朱炜等^[53]研究发现,在淹水条件下,桃树叶片的抗氧化酶活性呈现先上升后下降的趋势,其光合参数指标和光合色素含量随品种表现出不同的变化特征。张晓明等^[54]对 3 个甜樱桃新砧木品种进行评价,发现京春 2 号耐涝性最强,马哈利耐涝性较弱。砧木 SO4、101-14、3309C 和贝达均可提高接穗赤霞珠的耐涝性^[55];砧木布鲁诺、徐香、红实 2 号、

红阳和玉玲珑也能缓解嫁接猕猴桃的淹水胁迫^[56]。

2.3 嫁接能提高果树对盐碱胁迫的抗性

盐碱胁迫下,果树植株生长发育受阻,叶片早衰,果实脱落,胁迫严重时甚至引进果树植株死亡^[57]。盐碱胁迫能通过渗透胁迫和离子胁迫共同作用,导致果树出现生理干旱、离子毒害及代谢紊乱等伤害。盐碱胁迫条件下,果树细胞中有益离子(K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等)向外渗透,而有害离子(Na^+ 、 Cl^- 等)则进入细胞,导致细胞内离子平衡被破坏,进而表现出缺素症状^[58]。同时,盐碱胁迫还能降解光合色素、降低净光合速率和暗呼吸,进而对植物蒸腾速率和光合作用产生影响^[59]。Zhang等^[60]研究发现,盐碱胁迫下,嫁接到8个不同基因型砧木上的苹果栽培品种叶片 Na^+/K^+ 比、相对电导率(REC)、MDA含量、Por含量、可溶性蛋白含量和可溶性糖含量均比标准1/2强度Hoagland营养液对照(CK)有不同程度的增加,抗氧化酶[SOD、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、POD、CAT]活性和应激信号转导相关基因(*MdRD22*、*MdRD29A*、*MdRD29B*、*MdAREB1A*、*MdAREB1B*、*MdDREB2A*)的表达水平在Zumi、Qingzhen 1等耐盐碱砧木处理中升高或上调,而在Mark、M.26、B.9等敏感型砧木处理中降低或下调。此外,嫁接到砧木八棱海棠的苹果植株耐盐性较好^[61]。嫁接到酸橘、狗头橘、红橘、香橙等砧木的柑橘同样具有更好的耐盐碱能力^[11]。Zhao等^[62]研究认为,赤霞珠葡萄嫁接植株的耐盐碱能力与砧木的耐盐碱性一致,赤霞珠葡萄对盐碱胁迫的抗性增强源于砧木耐盐碱性向接穗的转移,这也说明砧木对盐碱胁迫的抗性具有转移性。葡萄砧木河岸7号、冬葡萄、贝达、5BB、5C、3309M、3309C、110R和SO4等亦是抗性良好的耐盐碱砧木^[63-64]。梨树中常见的耐盐碱砧木以杜梨、豆梨和木梨为主^[65-66]。培育耐盐碱性优良的砧木是果树优质丰产的基础之一。

3 果树嫁接砧穗互作机制

3.1 砧木与接穗的相互作用

3.1.1 砧木对接穗生长发育和果实品质的影响

抗性砧木对接穗的影响涉及生理、生长和果实品质方面,砧木通过影响激素信号转导、光合作用、矿物质运输、水分关系、解剖特征和遗传标记等多种因素,调节接穗的表型及其对环境胁迫的耐受性^[67]。矮化砧木根系发达,可缩短水分运输距离,加强根系

向接穗部分的水分、营养物质运输,改善植株代谢途径,有利于嫁接植株花芽分化,缩小树冠^[68]。耐盐性砧木根系有选择性地向接穗运输 Na^+ 和 K^+ ,接穗也会发生反馈调节,从而降低 Na^+/K^+ 比值来提高植株的耐盐性^[69]。砧木还可以调控接穗品种的产量和果实品质。朱燕芳等^[70]的研究结果表明,以3309M、5BB和110R为赤霞珠葡萄嫁接砧木,以SO4、5BB和3309M为马瑟兰葡萄嫁接砧木,嫁接葡萄生长势、枝条抗寒性和果实品质较优。甜樱桃美早嫁接到大青叶、吉塞拉5号和ZY-1等砧木上时,具有较好的早花早果特性^[71]。李宏建等^[72]研究发现,与低位嫁接GM256中间砧相比,苹果砧木平邑甜茶高位嫁接丽嘎拉处理果实产量高,外观品质好,单果质量大,可溶性固形物含量高;此外,嫁接位置不同,砧木对接穗的有效作用也有所差异。徐伟等^[73]研究结果表明,以3309M和101-14为砧木可提高嫁接赤霞珠葡萄果实的可溶性固形物含量,而嫁接SO4和5BB砧木则降低葡萄果实的可溶性固形物含量,嫁接5BB、3309M和101-14等砧木可提高葡萄果实果皮花色苷含量。同样,利用砧木嫁接技术提高番茄^[74]、蓝莓^[75]、柑橘^[76]等果树长势与接穗果实产量和品质亦得到了研究。

3.1.2 接穗对砧木根系的影响 强健的根系是植株良好生长的基础,砧木接穗同样能促进砧木根系的发育。耿杰等^[77]研究发现,桃嫁接到欧李砧木上,可显著影响砧木的生长习性,根系分支能力加强,解剖结构发生改变,无氧呼吸能力下降。郑芳奕等^[78]研究发现,接穗处理能显著影响砧木根的解剖结构、营养物质贮藏和酶活性,从而影响根的吸收效率和运输能力。Shu等^[79]研究发现,接穗处理可以调控根毛的发育。甜樱桃福星嫁接到8-102实生苗砧木上,表现出“大脚”现象(嫁接口以上的树干粗度<嫁接口以下的树干粗度),而嫁接到大青叶、吉塞拉6和考特等砧木上时,表现出“小脚”现象(嫁接口以上的树干粗度>嫁接口以下的树干粗度),但嫁接到马哈利砧木上时,“大小脚”现象不明显^[80]。“大小脚”现象在葡萄嫁接中亦有发生^[81]。接穗与砧木共同组成一个新的生长体,彼此之间相互影响,共同促进植株的生长发育,提高抗逆性,达到优质高产的目标。

3.2 植物激素对砧穗的调控机制

激素在砧穗互作过程中起到重要的调控作用。

砧穗植株间愈伤组织的形成、植株的性状表达均受生长素(IAA)、赤霉素(GA)、细胞分裂素(CK)、脱落酸(ABA)、乙烯(ET)和茉莉酸(JA)等激素调控^[82-83]。

3.2.1 生长素(IAA)调控机制 生长素(Auxins)在砧穗互作中起核心作用。吲哚-3-乙酸(Indoleacetic acid, IAA)直接参与细胞伸长、组织分化和胚胎发育等过程^[84]。IAA还影响矿物质的吸收和接穗的生长。矮化砧木中,IAA减少能限制根系生长,从而影响植株的发育^[85]。IAA的调节作用不仅限于自身,还与其他植物激素(CK、GA和ABA等)协同调控作物组织的分化和生长及器官发育^[86-87]。IAA还在植株对逆境的胁迫响应过程中发挥重要作用。韩敏^[88]的研究结果表明,砧木可通过影响接穗中IAA和SA的信号转导途径来影响其耐冷性,而接穗则可能通过影响砧木的乙烯信号转导途径、细胞分裂素信号转导途径和脱落酸信号转导途径来影响其耐冷性。苹果砧木M.9显著降低接穗木质部汁液中IAA的扩散速率,同时减少活性赤霉素GA₁含量,抑制新梢伸长并促进休眠相关基因表达,从而增强低温适应能力^[89]。乙烯能加速嫁接体老化,抑制愈合,而IAA通过促进维管分化缓解乙烯的不利影响^[90]。IAA通过直接调控维管重建、与多种激素协同作用,影响砧穗的生长势、亲和性及农艺性状。

3.2.2 赤霉素(GA)调控机制 赤霉素(Gibberellins, GA)对果树砧木和接穗的调控涉及生长调节、愈合促进、代谢调控、环境适应以及果实品种改善等多个方面。这些作用不仅依赖于GA本身的水平和分布,还受到砧木与接穗间激素信号传递、基因表达调控以及环境条件的共同影响。GA能够调节植物内源激素(如IAA、细胞分裂素和脱落酸等)水平,进而影响嫁接部位的愈合和植物整体的生长状况^[91]。GA通过与其受体GID1蛋白结合,促进DELLA蛋白的降解,从而解除其对植物生长发育的抑制作用^[92]。在嫁接过程中,GA通过促进细胞分裂和伸长,进而促进茎部节间的伸长生长,影响接穗的表型^[93]。而在嫁接愈合过程中,GA通过影响形成层细胞的分裂和分化,促进嫁接部位的愈合以及维管束的重建^[94]。此外,GA与油菜素甾醇(BR)协同影响种子萌发、细胞伸长、开花等过程^[95]。砧木能通过调节GA水平,增强接穗番茄的抗旱能力^[96]。GA在植物应对盐胁迫和其他非生物胁迫的

过程中也发挥关键作用^[97]。GA能够从接穗运输到砧木,促进砧木中吲哚乙酸(IAA)的积累,从而影响砧木的生长特性^[98]。此外,GA还能通过调节其他激素(如ABA)的水平来影响砧木的生理反应。因此,GA对砧木和接穗之间的调控是一个互相影响的过程。

3.2.3 细胞分裂素(CK)调控机制 细胞分裂素(Cytokinins, CK)一方面能通过促进细胞周期中D型细胞周期蛋白CycD的表达来调节细胞的分裂增殖^[99],另一方面还通过调节糖信号和激素互作延缓叶片衰老^[100]。矮化砧木中IAA运输减少能抑制根系生长,而CK供应减少则通过减少分枝来改变接穗结构^[101]。果树植株通过调节CK合成与信号转导,促进嫁接愈合及响应逆境胁迫^[102]。

3.2.4 脱落酸(ABA)调控机制 脱落酸(Abscisic acid, ABA)可通过影响砧木和接穗的水分及养分吸收、激素调节、应激响应等途径,调节嫁接植株的生长和发育^[103]。ABA可与生长促进激素协同调控嫁接植株对盐胁迫的响应^[104]。ABA通过调节细胞分裂和分化,促进砧木与接穗接口处愈伤组织的形成与融合,影响嫁接成活率,调控地上部分和地下部分的生长发育^[105]。焦妍妍^[106]的研究结果表明,钾高效基因型西瓜勇士作为接穗可以促进钾低效基因型西瓜早佳8424根系的生长,提高钾吸收能力、ABA和IAA内源激素水平;以钾低效基因型西瓜早佳8424作为接穗则降低钾高效基因型西瓜勇士根系的生长、钾吸收能力。

3.2.5 乙烯(ET)调控机制 乙烯(Ethylene, ET)能促进植物的次生组织生长,可诱导相关转录因子促进维管细胞的分裂。砧木和接穗之间的基因表达差异以及乙烯信号的传递对于嫁接成功起着关键作用。Habibi等^[107]的研究结果表明,在嫁接过程中,砧木和接穗之间会通过韧皮部传递分子物质(如mRNA、蛋白质),这些物质可能通过乙烯信号通路影响嫁接部位的愈伤组织形成、嫁接植株的生长发育以及其对干旱、盐碱等逆境的响应,提高嫁接成活率。果树嫁接中,砧木和接穗的遗传背景可能会影响嫁接果枝果实中乙烯的合成,进而影响果实的风味、香气和储藏寿命^[108]。乙烯与其他植物激素(IAA、CK和GA等)的协同作用能刺激细胞分化,促进维管束的形成及木质部和韧皮部的重新连接、调控愈伤组织的形成^[109-110]。

3.2.6 茉莉酸(JA)调控机制 茉莉酸(Jasmonic acid, JA)通过调控细胞分裂、细胞壁重塑、防御基因表达、次生代谢产物合成以及与其他激素互作等多种机制,在果树嫁接过程中发挥重要作用。JA与受体COI1结合,促进JA-Ile(茉莉酸异亮氨酸)的合成,JA-Ile进一步激活转录因子,调控下游响应基因的表达^[111]。JA还与其他植物激素(如ABA、IAA、SA等)存在复杂的互作关系,共同影响嫁接植株的生长发育和逆境调控,提高嫁接成活率^[112]。Sun等^[113]研究认为,JA和ABA互作可以抑制愈伤组织的形成。进一步挖掘JA在果树砧穗之间的具体调控机制,可以为果树嫁接技术的优化提供基础。

4 研究展望

抗性砧木育种是国内外育种工作者的研究热点。砧木抗性机理和砧穗互作机制不断被探索和发现。嫁接对植株生长和果实产量和品质的影响已有广泛研究。砧穗之间植物激素、营养物质和遗传物质的交换,在果蔬植株嫁接中均有初步探讨。但砧穗之间遗传物质交换的不稳定性^[114]、物质交换如何调控植株的表型和抗性^[115]、表型和抗性改变是否具有遗传效应,尚需要进一步的试验验证。

嫁接技术在多种果树生产中得到了广泛应用,抗性较好的果树株系及微嫁接组合、适宜的嫁接方法和培养条件得到了广泛研究^[116]。近年来,试管微嫁接技术在苗木脱毒、果树检疫、植物病毒快速检测、果实品质提高等方面得到广泛应用。目前,单子叶植物微嫁接的突破和微嫁接技术体系的建立已成为下一步主要的研究方向,这些工作对根诱导、试管苗活力恢复及植物种质资源保护至关重要^[117]。

目前果树抗逆性的研究主要集中在砧木与接穗之间的响应及互作调控机理,但对嫁接植株的成活机理、不同砧穗组合对苗木抗逆性提高机制、砧穗互作分子机制和信号通路等研究仍较有限,尚需进一步挖掘与探索。

参考文献:

[1] 杨德翌. 鲜食枣优系组培快繁技术体系建立和微嫁接技术的研究[D]. 阿拉尔:塔里木大学,2023.

[2] 李雪雪,郭雯岩,周璇,等. 响应面法优化葡萄微嫁接组培快繁体系[J]. 湖北农业科学,2019,58(9):69-74.

[3] 王春梅,沈珊,王红,等. 枫杨砧木与核桃嫁接接合部愈合过程的解剖学研究[J]. 中国南方果树,2022,51(1):118-123,

129.

- [4] 舒秀阁,唐贵敏,梁静,等. 不同砧木枝接‘元林’核桃愈合过程扫描电镜观察[J]. 生物灾害科学,2022,45(1):62-67.
- [5] RUKUNA A L, ZAMBUK F U, GITAL A Y, et al. Citrus diseases detection and classification based on efficientnet-B5[J]. Systems and Soft Computing,2025,7:200199.
- [6] 李鸿雁,何卓远,白玫,等. 柑橘黄龙病效应子致病机制研究进展[J]. 广东农业科学,2024,51(6):34-47.
- [7] 戴蓬博,张荣,孙广宇. 中国苹果病害病原菌物名录[J]. 菌物学报,2021,40(4):936-964.
- [8] ZHANG Z, CHEN Q M, JIA L T, et al. Genome-wide identification of the mitogen-activated protein kinase kinases in pear and their functional analysis in response to black spot[J]. Horticultural Plant Journal,2023,9(4):681-692.
- [9] 庞建文. 西北地区梨主栽品种主要潜隐性病毒脱除[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2023.
- [10] 王澍,刘保军,张李娅,等. 吐鲁番葡萄病毒病的发生情况及病原鉴定[J]. 植物检疫,2024,38(3):40-46.
- [11] 朱世平,陈娇,马岩岩,等. 柑橘砧木评价及应用研究进展[J]. 园艺学报,2013,40(9):1669-1678.
- [12] 韩振海,王忆,张新忠,等. 苹果砧木新品种中砧1号[J]. 农业生物技术学报,2013,21(7):879-882.
- [13] 姚延兴,金莉,宿福园,等. 葡萄脱毒与病毒检测技术研究进展[J]. 浙江柑橘,2015,32(3):38-41.
- [14] 张建. 苹果园病虫害综合治理技术[J]. 世界热带农业信息,2022(1):49-50.
- [15] 姜中武,李元军,于青,等. 苹果抗轮纹病新砧木——烟砧一号的选育[J]. 果树学报,2011,28(2):363-364,188.
- [16] 张广仁,张秀美,李广旭. 平邑甜茶砧木对苹果轮纹病的影响[J]. 辽宁农业科学,2020(3):62-64.
- [17] 魏灵珠,沈碧薇,程建徽,等. 砧木对‘新雅’葡萄生长及果实品质的影响[J]. 果树学报,2020,37(9):1346-1357.
- [18] 赵柳莹. 柑橘砧木枳和枳壳根系中FRO2基因的表达差异研究[D]. 武汉:华中农业大学,2020.
- [19] AKAGI T, KAJITA K, KIBE T, et al. Development of molecular markers associated with sexuality in *Diospyros lotus* L. and their application in *D. kaki* Thunb.[J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science,2014,83(3):214-221.
- [20] 肖蓉,邓舒,张春芬,等. 果树根癌病原菌的分类、命名变迁及抗根癌病果树种质的筛选[J]. 果树资源学报,2023,4(2):68-72.
- [21] 袁仲玉,张庆霞,赵菊莲,等. 樱桃根癌病研究进展[J]. 中国果树,2024(7):41-46,57.
- [22] 赵沁,孙平平,张磊,等. 抗逆葡萄砧木概述[J]. 北方果树,2024(2):1-4.
- [23] LIANG C L, WAN T, WU R D, et al. Resistance analysis of cherry rootstock ‘CDR-1’ (*Prunus mahaleb*) to crown gall disease[J]. BMC Plant Biology,2020,20(1):516.
- [24] 徐美隆,乔改霞,刘玉娟,等. 不同砧木对欧李嫁接成活及果实品质的影响[J]. 核农学报,2023,37(12):2503-2509.

- [25] 董京萍,范若渝,王友德,等. 桃细菌性穿孔病的接种方法与不同品种抗性鉴定研究[J]. 落叶果树,2023,55(1):16-19.
- [26] 朱伟生,陈 荟,兰晓瑜,等. 柑桔根线虫田间消长规律及不同砧木抗病性观察[J]. 中国柑桔,1993,22(1):17-18.
- [27] 王慧敏,李 勇,吴金龙,等. 桃(*Prunus persica*)砧木抗南方根结线虫分子标记开发与利用[J]. 果树学报,2024,41(7):1429-1437.
- [28] 葛启要. 葡萄砧木杂种优株田间繁育特性及抗南方根结线虫表现[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2022.
- [29] 任群红,谭小丽,罗尧兴,等. 6 个葡萄品种抗寒性比较分析[J]. 山西农业科学,2015,43(10):1240-1242,1278.
- [30] 李桂荣,朱自果,马俊伟,等. 低温胁迫对几种无核葡萄品种抗寒生理指标的影响[J]. 西北林学院学报,2015,30(5):75-78,291.
- [31] 龚 玲,黄 伟,王双友,等. 枳和柠檬低温锻炼相关基因 *COR8* 结构比较与低温响应分析[J/OL]. 分子植物育种 [2025-03-01]. <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20240524.1704.010>.
- [32] 杨 锋,王冬梅,闫忠业,等. M9 在苹果矮化砧木育种实践中的应用价值[J]. 北方果树,2024(1):1-6.
- [33] 栗博文,贾亚男,周 群,等. 不同砧穗组合苹果枝条的抗寒性评价[J]. 北方园艺,2023(19):36-43.
- [34] SU Y F, LIU L J, MA H X, et al. Metabolomic analysis of the effect of freezing on leaves of *Malus sieversii* (ledeb.) M. Roem. histoculture seedlings[J]. International Journal of Molecular Sciences,2024,25(1):310.
- [35] 侯丽媛,董艳辉,邓 舒,等. 部分苹果属种质遗传多样性分析及分子身份证构建[J]. 山西农业科学,2020,48(8):1171-1179.
- [36] 钟海霞,艾尔买克·卡卡斯木,张付春,等. 7 个葡萄砧木根系的抗寒性研究[J]. 新疆农业科学,2016,53(3):429-436.
- [37] 何 伟,艾 军,范书田,等. 葡萄品种及砧木抗寒性评价方法研究[J]. 果树学报,2015,32(6):1135-1142.
- [38] 徐滔杞,陈奇凌,吴翠云. 花期高温对果树花器官发育、生殖及生理机制的影响[J]. 北方果树,2022(5):1-4.
- [39] 李 菲,王司琦,赵艳莉,等. 高温胁迫下不同耐热性切花菊光化学活性和能量分配差异[J]. 植物生理学报,2024,60(3):549-560.
- [40] 周军永,陆丽娟,孙其宝,等. 不同砧木对醉金香葡萄生长及果实品质的影响[J]. 安徽农业大学学报,2015,42(1):130-133.
- [41] 刘要鑫,陈东奎,李果果,等. 不同砧木对沃柑树体及果实品质的影响[J]. 南方农业学报,2019,50(2):338-343.
- [42] 李思思. 不同砧木嫁接黄瓜提高其根际高温耐受性的生理机制[D]. 南京:南京农业大学,2017.
- [43] 田 佳. 苹果叶片对高温胁迫的反应及外源水杨酸对其耐热性的影响[D]. 保定:河北农业大学,2020.
- [44] 吴振秋. 不同矮化中间砧对苹果叶片光合特性的影响[J]. 农业技术与装备,2024(5):96-98.
- [45] 高梦澜,马锋旺. 苹果砧木富平椴子嫁接高度对抗旱性的影响[J]. 陕西农业科学,2023,69(3):28-34.
- [46] 陈 丽,艾 军,王振兴,等. 干旱胁迫对葡萄生理特性及显微结构影响的研究进展[J]. 北方园艺,2011(6):205-209.
- [47] 薛 鑫,张 芊,吴金霞. 植物体内活性氧的研究及其在植物抗逆方面的应用[J]. 生物技术通报,2013,29(10):6-11.
- [48] HUI T, BAO L J, SHI X, et al. Grafting seedling rootstock strengthens tolerance to drought stress in polyploid mulberry (*Morus alba* L.) [J]. Plant Physiology and Biochemistry,2024,208:108441.
- [49] 刘竞择,曹 柠,张艳霞,等. 葡萄砧木冬季抗抽干能力及抗旱性综合评价[J]. 果树学报,2020,37(3):339-349.
- [50] BONAROTA M S, TOUPS H S, BRISTOW S T, et al. Drought response and recovery mechanisms of grapevine rootstocks grafted to a common *Vitis vinifera* scion[J]. Plant Stress,2024,11:100346.
- [51] MALEKI ASAYESH Z, ARZANI K, MOKHTASSI-BIDGOLI A, et al. Enzymatic and non-enzymatic response of grafted and ungrafted young European pear (*Pyrus communis* L.) trees to drought stress[J]. Scientia Horticulturae,2023,310:111745.
- [52] KANG Z M, ZHANG W E, GUO G Z, et al. Morphological and physiological responses of 14 *Macadamia* rootstocks to drought stress and a comprehensive evaluation of drought resistance [J]. Environmental and Experimental Botany,2024,219:105630.
- [53] 朱 炜,龚林忠,王富荣,等. 5 个桃砧木品种对淹水胁迫的生理响应及耐涝性评价[J]. 南方农业学报,2022,53(10):2937-2945.
- [54] 张晓明,闫国华,段续伟,等. 3 个砧木新品种嫁接萨米脱甜樱桃的耐涝性初步评价[J]. 中国果树,2022(7):37-39,65,109-110.
- [55] 李 艳. 葡萄砧木的耐涝性研究[D]. 泰安:山东农业大学,2013.
- [56] 袁雪倩. 猕猴桃砧木的耐涝性评价及外源褪黑素对猕猴桃耐涝性的影响[D]. 雅安:四川农业大学,2022.
- [57] 王新亮,王 健,贾晶晶,等. 果树响应盐碱胁迫机理的研究进展[J]. 河北农业科学,2020,24(5):63-67,100.
- [58] 张 星. 葡萄砧木杂种的耐碱性与抗旱性鉴定[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [59] 卜祥瑞,李姗姗,段莹娜,等. 一氧化氮对盐碱胁迫下盐地碱蓬抗逆性及饲用品质的影响[J]. 草业学报,2024,33(9):60-69.
- [60] ZHANG X Y, LI S H, TANG T, et al. Comparison of morphological, physiological, and related-gene expression responses to saline-alkali stress in eight apple rootstock genotypes[J]. Scientia Horticulturae,2022,306:111455.
- [61] TANG W X, ZHANG R, WANG M, et al. Effects of two apple rootstocks on the soil microecology of replanted apple orchard soil [J]. Scientia Horticulturae,2024,324:112640.
- [62] ZHAO B L, LIU Z Y, ZHU C M, et al. Saline-alkaline stress resistance of cabernet sauvignon grapes grafted on different rootstocks and rootstock combinations[J]. Plants,2023,12(15):2881.
- [63] 白世贞,户金鸽,李 超,等. 葡萄砧木苗期对混合盐碱的生理响应及耐盐碱性评价[J]. 新疆农业科学,2022,59(7):1666-1679.

- [64] 鲁倩君,刘迎,赵宝龙,等. 葡萄砧木耐盐碱性研究进展[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2022(4):75-80.
- [65] 王超,霍宏亮,田路明,等. 3种梨野生砧木资源叶片抗氧化酶活性分析[J]. 果树学报,2021,38(5):646-654.
- [66] 王莉莉,魏海霞,杨庆山,等. 8种豆梨无性系对盐胁迫的生理响应[J]. 山东林业科技,2023,53(6):60-65.
- [67] 李春燕,杨廷桢,高敬东,等. 砧木对苹果接穗品种果实品质影响的研究进展[J]. 山西农业科学,2020,48(1):114-116.
- [68] 孙鲁龙,闫雷玉,王辉,等. 瑞雪/青砧1号苹果幼树在陕西渭南的栽培特性研究[J]. 中国果树,2024(4):38-44.
- [69] 李智锋. 不同矮化中间砧对‘长富2号’生长结果与矿质元素吸收的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2023.
- [70] 朱燕芳,王元元,郝燕,等. 不同砧木对河西走廊酿酒葡萄枝条及果实品质的影响[J]. 西北农业学报,2024,33(4):642-653.
- [71] 甄丽君. 不同砧木对甜樱桃美早生长发育、产量及果实品质的影响[J]. 现代农业科技,2024(9):59-62.
- [72] 李宏建,于年文,宋哲,等. 平邑甜茶高位嫁接丽嘎拉苹果树冠层内枝类结构和果实品质、产量的分布[J]. 果树学报,2024,41(5):887-896.
- [73] 徐伟,陈光,白世践,等. 不同砧木对‘赤霞珠’酿酒葡萄果实品质的影响[J]. 北方果树,2022(4):8-10,22.
- [74] 杨洋. 枸杞嫁接提高番茄果实品质的生理与分子基础初步研究[D]. 杭州:浙江大学,2023.
- [75] DARNELL R L, WILLIAMSON J G, BAYO D C, et al. Impacts of *Vaccinium arboreum* rootstocks on vegetative growth and yield in two southern highbush blueberry cultivars[J]. HortScience,2020,55(1):40-45.
- [76] DONG T T, XIONG B, HUANG S J, et al. Investigation of the cause of reduced sugar content in Kiyomi tangor fruit of Ziyang Xiangcheng (*Citrus junos* Sieb. ex Tanaka) rootstock[J]. Scientific Reports,2019,9(1):19263.
- [77] 耿杰,丁杰,段艳婷,等. 桃接穗对欧李砧木根系生长习性的影响[J]. 河南科技大学学报(自然科学版),2020,41(5):82-87.
- [78] 郑芳奕,杨志坚,陈辉,等. 接穗对油茶砧木根生理特性及解剖结构的影响[J]. 森林与环境学报,2020,40(6):636-642.
- [79] SHU B, LIU L Q, JUE D W, et al. Effects of avocado (*Persea americana* Mill.) scion on arbuscular mycorrhizal and root hair development in rootstock[J]. Archives of Agronomy and Soil Science,2017,63(14):1951-1962.
- [80] 张福兴,刘美英,李淑平,等. 甜樱桃新品种“福星”选育报告[J]. 烟台果树,2012(4):23-25.
- [81] 钟海霞,潘明启,张付春,等. 7种砧木对克瑞森无核葡萄生长及产量品质的影响[J]. 新疆农业科学,2016,53(10):1786-1793.
- [82] GHANEM M E, ALBACETE A, SMIGOCCI A C, et al. Root-synthesized cytokinins improve shoot growth and fruit yield in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants[J]. Journal of Experimental Botany,2011,62(1):125-140.
- [83] KAZAN K, MANNERS J M. Jasmonate signaling:toward an integrated view[J]. Plant Physiology,2008,146(4):1459-1468.
- [84] 黄妍,吴迪. 微生物合成吲哚乙酸及其对植物作用的研究进展[J]. 浙江农业科学,2024,65(11):2659-2664.
- [85] 赵海艳. 苹果 BBR/BPC 转录因子 MdBPC2 在调控植株生长中的功能研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2023.
- [86] 张俊,陶群,张朋磊,等. 不同夏花生品种苗期发育规律研究[J]. 花生学报,2024,53(3):53-59.
- [87] 贾礼聪,王连军,杨子桐,等. 不同 IAA 和 6-BA 质量浓度组合对甘薯茎尖培养和表型变异的影响[J]. 河南农业科学,2023,52(12):42-48.
- [88] 韩敏. 砧穗互作对番茄嫁接苗耐冷性的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2018.
- [89] VAN HOOIJDONK B, WOOLLEY D, WARRINGTON I, et al. Rootstocks modify scion architecture, endogenous hormones, and root growth of newly grafted ‘Royal Gala’ apple trees[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science,2011,136(2):93-102.
- [90] 刘婧冉,杜长霞,樊怀福. 植物嫁接砧穗愈合机制研究进展[J]. 浙江农林大学学报,2018,35(3):552-561.
- [91] 孙胜,田永生,冷丹丹,等. 不同砧木对西瓜嫁接苗耐寒性的影响[J]. 生态学杂志,2009,28(8):1561-1566.
- [92] 高秀华,傅向东. 赤霉素信号转导及其调控植物生长发育的研究进展[J]. 生物技术通报,2018,34(7):1-13.
- [93] 杨钧贺,刘畅,钮世辉,等. 茎部形成层赤霉素在植物生长发育中的调控作用[J]. 北京林业大学学报,2019,41(7):68-74.
- [94] 梅文字,李涛,孙保娟,等. 嫁接番茄砧穗互作机理研究、应用现状与展望[J]. 广东农业科学,2021,48(8):47-57.
- [95] GHANEM M E, ALBACETE A, SMIGOCCI A C, et al. Root-synthesized cytokinins improve shoot growth and fruit yield in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants[J]. Journal of Experimental Botany,2011,62(1):125-140.
- [96] GAION L A, MONTEIRO C C, CRUZ F J R, et al. Constitutive gibberellin response in grafted tomato modulates root-to-shoot signaling under drought stress[J]. Journal of Plant Physiology,2018,221:11-21.
- [97] LIU X Y, LI J, LIU M M, et al. Transcriptome profiling to understand the effect of *Citrus* rootstocks on the growth of ‘shatangju’ mandarin[J]. PLoS One,2017,12(1):e0169897.
- [98] WANG J, JIANG L B, WU R L. Plant grafting:how genetic exchange promotes vascular reconnection[J]. New Phytologist,2017,214(1):56-65.
- [99] 吴晓霞. 细胞分裂素与细胞的分裂增殖[J]. 安徽农业科学,2007,35(36):11755-11756.
- [100] 彭凯轩,章薇,朱晓仙,等. 细胞分裂素延缓叶片衰老的机制研究进展[J]. 植物生理学报,2021,57(1):12-18.
- [101] 沈月,陶宝杰,华夏,等. 独脚金内酯与激素互作调控根系生长的研究进展[J]. 生物技术通报,2022,38(8):24-31.
- [102] 余钧明. 水稻细胞分裂素代谢相关基因调控序列的鉴定与功能研究[D]. 北京:中国农业科学院,2023.

- [103] 张捷, 艾迪, 孟景祥, 等. 植物嫁接砧木与接穗互作机制研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2022, 50(5): 139-145.
- [104] YU Z P, DUAN X B, LUO L, et al. How plant hormones mediate salt stress responses[J]. Trends in Plant Science, 2020, 25(11): 1117-1130.
- [105] 靳鹏, 汤敏, 王丽华, 等. 植物嫁接中砧穗互作分子机制的研究进展[J]. 植物生理学报, 2024, 60(1): 45-55.
- [106] 焦妍妍. 嫁接西瓜接穗对砧木钾吸收的反馈调控机理[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [107] HABIBI F, LIU T, FOLTA K, et al. Physiological, biochemical, and molecular aspects of grafting in fruit trees[J]. Horticulture Research, 2022, 9: uhac032.
- [108] 徐倩, 殷学仁, 陈昆松. 基于乙烯受体下游转录因子的果实品质调控机制研究进展[J]. 园艺学报, 2014, 41(9): 1913-1923.
- [109] 杜浩, 陈瑶, 吴庆贤, 等. 砧/穗间交流的物质及其嫁接愈合效应[J]. 中国细胞生物学学报, 2024, 46(2): 327-335.
- [110] 刘旭东. 不同进化类型维管束植物基于乙烯的落叶行为分化[D]. 兰州: 兰州大学, 2019.
- [111] DONG K, WU F Q, CHENG S Q, et al. OsPRMT6a-mediated arginine methylation of OsJAZ1 regulates jasmonate signaling and spikelet development in rice[J]. Molecular Plant, 2024, 17(6): 900-919.
- [112] 张乐欢, 邹昌玉, 朱天翔, 等. 茉莉酸在植物抗逆性中的研究进展[J]. 生物工程学报, 2024, 40(1): 15-34.
- [113] SUN J J, WANG Y C, CHEN X S, et al. Effects of methyl jasmonate and abscisic acid on anthocyanin biosynthesis in callus cultures of red-fleshed apple (*Malus sieversii* f. *niedzwetzkyana*)[J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2017, 130(2): 227-237.
- [114] 艾迪. 不同砧穗组合对风铃木生长及耐盐性影响的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2023.
- [115] 于宁宁, 杨器, 叶小滢, 等. 不同砧木及嫁接方法对有刺黄龙果嫁接育苗的影响[J]. 中国南方果树, 2021, 50(5): 80-85.
- [116] 冯鑫慧. 秋子梨遗传转化体系优化和微嫁接体系建立[D]. 南京: 南京农业大学, 2020.
- [117] WANG M R, BETTONI J C, ZHANG A L, et al. *In vitro* micrografting of horticultural plants: method development and the use for micropropagation[J]. Horticulturae, 2022, 8(7): 576.

(责任编辑: 石春林)