

# 嫁接技术在茄果类植物抗性改良中的研究进展

董 琪, 李军利, 谭秀芳, 魏 芳, 甄俊琦, 陈 曦

新乡市农业科学院新乡市作物遗传改良重点实验室, 河南 新乡

收稿日期: 2025年10月26日; 录用日期: 2025年11月25日; 发布日期: 2025年12月4日

## 摘 要

本文综述了嫁接技术在茄果类植物抗性改良中的研究进展。嫁接技术作为一种环境友好的农业措施在克服连作障碍、提高作物抗逆性方面具有独特优势。本论文致力于深入探讨嫁接技术在提高茄果类植物抗性方面的应用及其机制, 旨在为农业科学领域提供一份全面的研究综述。通过对近年来相关文献的系统整理和分析, 本文将详细阐述嫁接技术如何通过改良砧木选择、优化嫁接过程以及探索嫁接后的生理与分子机制来增强茄果类植物对生物和非生物胁迫的抵抗能力。

## 关键词

嫁接技术, 茄果类植物, 抗性改良

# Progress on Grafting Technology in Resistance Improvement of Solanaceous Crops

Qi Dong, Junli Li, Xiufang Tan, Fang Wei, Junqi Zhen, Xi Chen

Xinxiang Key Laboratory of Crop Genetic Improvement, Xinxiang Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang Henan

Received: October 26, 2025; accepted: November 25, 2025; published: December 4, 2025

## Abstract

This paper reviews research progress on grafting technology for improving resistance in solanaceous crops. As an environmentally friendly agricultural practice, grafting offers unique advantages in overcoming continuous cropping obstacles and enhancing crop stress tolerance. This paper is dedicated to an in-depth exploration of the application and mechanisms of grafting technology in enhancing the resistance of solanaceous crops, aiming to provide a comprehensive research review

文章引用: 董琪, 李军利, 谭秀芳, 魏芳, 甄俊琦, 陈曦. 嫁接技术在茄果类植物抗性改良中的研究进展[J]. 农业科学, 2025, 15(12): 1411-1417. DOI: 10.12677/hjas.2025.1512176

for the field of agricultural science. Through systematic collation and analysis of recent literature, this paper will elaborate in detail how grafting technology enhances the resistance of solanaceous crops to biotic and abiotic stresses by improving rootstock selection, optimizing the grafting process, and exploring the physiological and molecular mechanisms post-grafting.

## Keywords

Grafting Technology, Solanaceae Crops, Resistance Improvement

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

茄果类植物, 如番茄、茄子、辣椒等, 在全球农业中占据重要地位。它们不仅是人们日常饮食中不可或缺的食材, 还在医疗保健和工业应用等方面发挥着重要作用。然而, 这些作物在生长过程中常面临多种生物和非生物胁迫的严峻挑战。生物胁迫主要包括土传病害(如由线虫引起的根结线虫病, 及由细菌、真菌引起的青枯病、枯萎病等), 这些病害一旦在土壤中出现, 往往难以根除, 严重影响作物的生长发育、产量和品质。非生物胁迫, 如盐碱地、干旱、极端温度(高温和低温)及重金属毒性等, 也极大地限制了茄果类植物的生长和产量潜力。此外, 长期连作导致的连作障碍也是一个普遍问题, 通过改变根际微生物群落结构对作物产生不利影响。鉴于这些挑战, 开发有效的应对策略以提高茄果类植物的抗逆性和产量成为农业科研的重点方向。

嫁接技术作为一种古老而有效的园艺方法, 可追溯至数千年前(如中国古代《齐民要术》中已有果树嫁接记载)。通过将具有优良抗性性状的砧木与高产优质的接穗结合, 显著增强了茄果类植物对生物和非生物胁迫的耐受性[1]。这种技术在茄果类植物上的规模化应用发起于 20 世纪 20 年代的日本和韩国, 最初主要用于防治枯萎病和线虫病等土壤传播病害, 并逐渐在欧洲、中东、北非和中南美洲等地区推广[2]。嫁接技术在提高茄果类植物抗性、克服连作障碍方面展现出独特优势, 既环保又高效, 为农业生产提供了可持续的解决方案[3]。一方面, 嫁接技术具有显著的环保优势。长期使用化学农药可能导致土壤和水质污染, 而嫁接是一种物理手段, 不引入额外化学物质, 减少了对环境的影响[4]。此外, 长期施用化学农药还可能诱导出具有耐药性的害虫或病原体, 而嫁接技术能够有效避免这一问题[5]。另一方面, 嫁接技术能够有效提高植物抗性。通过选择优良砧木与接穗结合, 不仅可以增强植株抵抗病害的能力, 还能改善植物对非生物胁迫(如干旱、盐碱、极端温度、重金属胁迫等)的适应性, 进而提高产量和品质[6]。相较于传统抗病育种, 嫁接技术允许在短时间内实现作物品种的改良, 无需长时间等待新品种的培育过程。同时, 嫁接技术不依赖核基因重组, 仅通过营养体结合实现性状互补, 只要砧木与接穗亲和性良好, 改良效果就较为稳定, 且相较于传统抗病育种, 操作更简便、见效更快。

## 2. 嫁接技术在改良茄果类植物主要抗性方面的研究

### 2.1. 茄果类植物嫁接后对生物胁迫的抗性

茄果类植物嫁接后的抗病性改良已成为当前研究热点, 其核心在于利用抗性砧木增强植株对多种生物胁迫的耐受性, 从而减少化学农药使用, 提升作物产量与品质。这一技术在应对青枯病、枯萎病、黄萎病和根结线虫病等土传病害方面展现出显著优势。

在抗青枯病方面,嫁接技术通过筛选和利用对青枯雷尔氏菌(*Ralstonia solanacearum*)具有抗性的砧木品种,有效控制了该病害的发生与蔓延。番茄嫁接到托鲁巴姆上,田间青枯病发病率可控制在 6.67%以下,显著低于对照[7]。辣椒嫁接到抗性砧木上,不仅显著提高对青枯病的抗性,且研究发现该抗性提升与植株渗透调节能力(如细胞渗透压等)的增强显著正相关,推测渗透调节能力优化可能是抗性提升的重要生理机制之一[8]。茄子感病接穗和抗病砧木嫁接提高了接穗品种的抗病性[9]。

在抗枯萎病方面,选用针对尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)的抗性砧木,可显著提升植株整体抵抗力:例如番茄选用“斯克番”等强抗性砧木,能有效防治番茄枯萎病并提高产量[10]-[12]。茄子嫁接于“茄砧 1 号”等抗枯萎病砧木上,也可显著降低发病率[13]。针对黄萎病,嫁接抗病砧木是有效的防治策略。研究表明,通过对使用不同砧木的番茄嫁接苗进行抗病性鉴定,所选砧木嫁接苗均表现为抗病,其中“健壮 25”对黄萎病表现为高抗[14]。对茄子黄萎病的研究显示,托鲁巴姆等砧木表现出良好的抗性和嫁接亲和性,能有效控制黄萎病并提高产量[15]。此外,辣椒疫病防治中,研究发现砧木抗病性越强,嫁接苗抗病性越强[16]。

在根结线虫病防治中,嫁接抗线虫砧木是重要的策略。番茄利用“SIS-1”抗线虫砧木嫁接病情指数极低,产量比普通番茄增加 100%以上[17]。托鲁巴姆嫁接的茄子健康根的占比更大,并且随着嫁接茬数增多,虫口基数越来越少[18]。总的来说,嫁接技术在茄果类植物抗病性改良中发挥了关键作用。抗性砧木通过提供物理屏障、改变根系生理代谢以及调节激素信号通路等多种机制,增强了植物对病原菌和线虫的抵抗力。

## 2.2. 对非生物胁迫的抗性

通过嫁接技术将茄果类栽培品种与具有强耐盐特性的砧木进行嫁接,以此改良栽培品种的耐盐碱能力、提升其在盐碱土环境中的适应性与抗逆性,已成为当前突破盐碱地种植瓶颈、保障茄果类作物生产安全的重要应用技术。山东农业大学从 8 种番茄砧木中筛选发现,瑞克斯旺公司的“西方番茄砧木”(T8)在盐土(对照土壤添加 0.3% NaCl)条件下,产量比自根苗对照提高 37.7%,优于其他 7 种砧木[19]。上海农业科学院园艺研究所研究表明,茄子苗的光合作用被盐胁迫抑制,嫁接苗的耐盐性优于自根苗[20]。河南农业大学园艺学院辣椒品种“墨玉”嫁接后,高盐浓度下,嫁接苗比自根苗抗逆性好[21]。

在探讨茄果类植物通过嫁接技术水分胁迫适应性的研究中,通过选择特定的抗逆砧木,可以有效改善接穗的气孔调节、渗透调节以及根系对缺氧环境的耐受性,从而增强作物的抗逆性。山东农业大学研究发现用强抗旱“砧木 606”嫁接番茄,果实产量、品质及叶片光合速率、水分利用效率更高,尤其在水分胁迫下表现突出,可一定程度实现生物节水[22]。沈阳农业大学研究发现以野生茄托鲁巴姆为砧木嫁接西安绿茄,可增强植株长势,通过调节渗透调节物质含量与保护酶系统活性减轻干旱伤害,维持正常生理代谢,提升抗旱耐旱能力[23]。山西农业大学研究表明干旱胁迫会破坏辣椒幼苗抗氧化系统与水分代谢、阻碍生长;以“红缨枪”为砧木、“奥黛丽”为接穗的嫁接处理,可通过提高幼苗抗氧化酶活性与水分调节能力,显著增强“奥黛丽”辣椒幼苗的抗旱性,缓解干旱伤害[24]。

低温弱光严重影响秋冬季节茄果类植物的生长发育和产量形成,采用抗寒性强、耐弱光的砧木进行嫁接,能有效增强接穗植株对低温弱光的适应能力。山东农业大学通过对砧木苗期和成株的耐冷性进行鉴定发现在冬季自然低温下番茄嫁接苗和自根苗的研究结果一致。抗冷砧木嫁接苗的耐冷指标、生长发育和产量明显优于自根苗[25]。扬州大学研究表明以低温耐受性品种为砧木进行嫁接可以在一定程度上提高低温敏感型茄子的低温耐受性[26]。湖南农业大学研究发现春提早和秋延后设施栽培辣椒嫁接苗与自根苗相比,耐低温能力显著提高[27]。在保护地栽培中,通过对砧木的合理选择,可以有效提升植株的整体抗寒性和耐弱光能力,为作物提供一个更为稳定的生长环境。

### 3. 优良砧木嫁接提高茄果类植物抗性的生理与分子机制

嫁接技术在茄果类植物抗性改良中发挥着关键作用,其核心在于抗性砧木能够为接穗提供显著的生理优势,从而提升植物对各种环境压力的适应性。优良的砧木被视为植物的“根系泵”,这得益于其强大的根系结构和高效的水分、养分吸收能力,使得嫁接植株即使在逆境下也能维持充足的水分和营养供应,进而增强整体健康和抗逆性[28]。

砧木作为“信号中转站”的作用机制日益受到关注。它能感知外部环境变化,调节砧木和接穗间的长距离信号传输,通过嫁接界面将这些信息传递给接穗,进而激活接穗的防御机制。这种信号传递涉及复杂的生理与分子机制,包括激素信号(如脱落酸 ABA 和茉莉酸 JA)的调控以及相关基因的表达[29]。

#### 3.1. 优良砧木嫁接提高茄果类植物抗性的生理机制

嫁接技术在茄果类植物抗性改良中主要体现在根系构型的调整、根系活力的提升以及对特定环境条件的适应性增强等方面。

根系构型的调整使得植物能更好地适应不同土壤类型。研究表明,根系构型显著影响植物对养分和水分的吸收效率,是作物育种中提高水分和养分利用效率的关键因素。发达的侧根和主根有助于在干旱或贫瘠的土壤条件下,增加植株从深处获取水分和营养物质的能力[30]。Balliu 等研究表明嫁接能够增加番茄植株的根长,从而增强其在盐分胁迫下获取水分和养分的能力[31]。

根系活力的提升能够提供更为活跃的根系分泌物,提高植株根系周围微生物群落的多样性,进而促进养分的有效循环与吸收。这些微生物能够分解土壤中的有机物质,释放出植物可吸收的矿物质和养分,同时还能保护植物免受土壤中病原体的侵害。广西大学农学院研究表明丛枝菌根真菌(AMF)与 80% 的陆生植物形成共生关系,能够显著影响植物生长、水分吸收、矿质营养的利用和对非生物胁迫的保护。AMF 通过增加抗氧化代谢产物和酶活性,促进渗透调节物质(如脯氨酸、多胺、糖)的积累,提高根系的吸水能力和养分吸收效率,增强植物的抗旱性[32]。

嫁接可激活茄果类植物系统性抗性以提升抗病能力。系统获得性抗性(SAR)和诱导系统抗性(ISR)是植物抵御病原体入侵的重要生理反应, SAR 由局部感染诱导,提供广谱、持久的全身性防御; ISR 由有益微生物在全身诱导,增强植物对多种侵害的抵抗力[33]。嫁接作为非遗传改良手段,能增强接穗与砧木交流互动,促进这些抗性机制激活。嫁接时,砧木与接穗的物理接触促进水分、养分和信号分子交换,如水杨酸(SA)、茉莉酸(JA)等信号分子迁移至接穗不同部位,激活基因表达,诱导植株进入防御模式[34]。比如,番茄中水杨酸可触发远距离信号传导,诱导番茄黄化卷叶病毒(TYLCV)抗性[35];茉莉酸能在局部和远距离激活 ISR。此外,嫁接还增加抗氧化系统活性,减轻生物胁迫引起的活性氧(ROS)积累,超氧化物歧化酶(SOD)等抗氧化酶活性上升,帮助植物抵御氧化压力。同时,嫁接能调控内源激素水平影响植物免疫状态,如脱落酸(ABA)升高可调节气孔开闭,降低病原菌入侵机会[36]。

#### 3.2. 优良砧木嫁接提高茄果类植物抗性的分子机制

嫁接提高茄果类植物抗性的分子机制是一个多层面且复杂的过程,主要涉及基因表达调控、遗传物质远程传输以及系统性抗性激活等。嫁接不仅能改善茄果类植物的抗逆性,还能通过调节砧木与接穗之间的基因表达,增强植株的整体适应性[32]。

在基因表达调控层面,嫁接能够促进砧木与接穗之间信使 RNA (mRNA)、小分子 RNA (miRNA)和小干扰 RNA (siRNA)等遗传物质的传输与交流,这对激活植物的防御系统及提高抗逆性具有重要意义。这些信号分子通过韧皮部进行远程传递,进而影响接穗中的基因表达模式[29]。拟南芥微嫁接实验表明,miR399 过表达的接穗可促使野生型根部生成大量成熟形式的 miRNA,而当 miR399 过表达的植株充当

砧木时,则接穗中几乎检测不到或者仅能测得微量的 miR399。miR399 可调控植株磷元素稳态[37]。Spanò Roberta 等研究发现,具备番茄斑萎病毒抗性的砧木,通过嫁接技术能够使高感品种的接穗获得病毒抗性。在此过程中, siRNA 可由根部向接穗中运输, 调控植物内源基因表达, 从而有效提升嫁接植株的抗病毒能力[38]。

嫁接也可影响染色质结构和表观遗传修饰,进一步调控砧木与接穗间的基因表达。通过改变 DNA 甲基化模式或组蛋白修饰状态,嫁接可促进或抑制特定基因的表达,从而响应外界胁迫,调节植物的生长发育和逆境适应机制。嫁接通过调节砧木与接穗之间的基因表达网络,实现了对植物生理和抗逆性的有效调控。Hardik Kundariya 等人的研究发现,非编码小 RNA 是一种可嫁接传递的信号分子,参与 RNA 介导的 DNA 甲基化(RdDM)过程,从而引发稳定的表观遗传变异[39]。东北师范大学通过 3 种茄科植物的纯系品种进行相互嫁接发现不同种相互嫁接会引起广泛的 DNA 甲基化模式改变,且这种改变在接穗中尤为明显。异嫁接诱导的接穗中改变的甲基化模式能够遗传给有性后代,部分位点在遗传过程中还会出现进一步的改变或修正,表明这种甲基化变化具有可遗传性[40]。这一过程涉及复杂的分子机制,包括遗传物质的远程运输、信号分子的识别以及表观遗传修饰的调节等。

## 4. 展望与结论

### 4.1. 砧木育种创新

随着基因组学和基因编辑技术的快速发展,为砧木育种创新提供了强有力的技术支持。通过这些先进的生物技术手段,科研人员能够精确地对砧木进行遗传改良,培育出具有多重抗性且品质优良的新一代砧木品种。基因组学为科学家深入解析砧木与接穗的相互作用机制提供了高通量数据支撑,助力科研人员揭示嫁接在植物抗性改良中的作用机理。通过基因组学和基因编辑技术的结合应用,不仅可增强砧木的抗病性、耐逆性,还能优化其与接穗的兼容性及其养分传导效率,进而间接提升接穗的果实品质与产量。基因编辑技术如 CRISPR-Cas9,则允许科学家精准地修改这些关键基因,以期达到增强砧木抗逆性的目的。

此外,通过基因组学和基因编辑技术的结合应用,不仅可以提高砧木的抗病性,还可以优化砧木的生长特性(如根系发育、养分吸收效率),进而间接提升接穗的果实品质与产量。这种育种策略不仅缩短了传统育种所需的时间,还大大提高了砧木改良的效率和准确性。因此,利用这些先进技术培育的新型砧木,有望在未来的农业生产中发挥重要作用,特别是在应对日益严峻的生物和非生物胁迫挑战方面。

### 4.2. 机理深入研究

在探究嫁接技术提升茄果类植物抗性的机制过程中,采用表观遗传学、蛋白组学、代谢组学等多组学研究方法,对于揭示嫁接后植物抗性增强的复杂调控网络至关重要。表观遗传学研究关注于基因表达的可塑性和稳定性,例如 DNA 甲基化、组蛋白乙酰化等表观修饰,以及非编码 RNA 对基因表达的调控,这些均与嫁接技术的抗性改良机制密切相关。通过对嫁接后茄果类植物的表观遗传、蛋白组学及代谢组学数据的整合分析,我们发现嫁接技术是提高茄果类植物抗性的有效途径之一。

蛋白组学研究有助于识别嫁接后关键蛋白质的变化,这些蛋白质可能参与了信号传导、抗氧化防御和生长发育等重要生理过程。此外,通过分析这些蛋白质的表达水平和活性,可以更深入理解嫁接如何促进植物抗性的增强。

代谢组学则侧重于分析嫁接后植物体内代谢物的变化,包括初级和次级代谢物,如氨基酸、糖类、激素以及各种酚类化合物等。这些代谢物的变化直接关联到植物的生长状况和抗逆能力,通过对它们的定量和定性分析,可以揭示嫁接诱导的植物抗性增强背后的分子基础。

综上所述,利用表观遗传学、蛋白组学和代谢组学等多组学方法对嫁接技术进行深入研究,不仅可以揭示嫁接如何通过调节基因表达、蛋白质功能和代谢途径来增强植物的抗性,还能够为未来砧木的选育和接穗的优化提供科学依据。

### 4.3. 土壤微生物互作

近年来,随着对植物抗性改良机理研究的深入,科学家们越来越重视根系与土壤微生物之间的互作关系。在探讨嫁接技术如何影响茄果类植物抗性时,根系-土壤微生物的互动机制成了一个关键的研究领域。研究表明,嫁接不仅能改善植物自身的生理和分子层面的反应,还能通过影响根际微生物群落结构和功能,间接提升植物的整体抗性。

根系分泌物是影响土壤微生物群落组成的重要因素之一。嫁接植物由于砧木与接穗间的信号传导、养分分配及激素调控互作,可能会改变根系(来自砧木)分泌物的种类和数量。此外,特定的微生物群落可以与植物根系建立互利共生关系,帮助植物抵抗病害或非生物胁迫,提高植物的适应性和生存能力。未来研究需进一步揭示不同类型砧木如何通过调控自身根系代谢,改变分泌物的种类与含量,从而为选育专用抗性砧木提供依据。

### 参考文献

- [1] Schwarz, D., Roupael, Y., Colla, G. and Venema, J.H. (2010) Grafting as a Tool to Improve Tolerance of Vegetables to Abiotic Stresses: Thermal Stress, Water Stress and Organic Pollutants. *Scientia Horticulturae*, **127**, 162-171. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.016>
- [2] Kumar, S., Bharti, N. and Saravaiya, S.N. (2018) Vegetable Grafting: A Surgical Approach to Combat Biotic and Abiotic Stresses—A Review. *Agricultural Reviews*, **38**, 1-11. <https://doi.org/10.18805/ag.r-1711>
- [3] Bahadur, A., Singh, P.M., Rai, N., Singh, A.K., Singh, A.K., Karkute, S.G., *et al.* (2024) Grafting in Vegetables to Improve Abiotic Stress Tolerance, Yield and Quality. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, **99**, 385-403. <https://doi.org/10.1080/14620316.2023.2299009>
- [4] Cardarelli, M., Roupael, Y., Kyriacou, M.C., Colla, G. and Pane, C. (2020) Augmenting the Sustainability of Vegetable Cropping Systems by Configuring Rootstock-Dependent Rhizomicrobiomes that Support Plant Protection. *Agronomy*, **10**, Article 1185. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081185>
- [5] Louws, F.J., Rivard, C.L. and Kubota, C. (2010) Grafting Fruiting Vegetables to Manage Soilborne Pathogens, Foliar Pathogens, Arthropods and Weeds. *Scientia Horticulturae*, **127**, 127-146. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.023>
- [6] Singathiya, P., Mahala, P., Yadav, L.P., Varotariya, K., Brahmani, G., Sohi, A., *et al.* (2025) Advanced Grafting Techniques for Mitigating Biotic and Abiotic Stresses in Vegetable Crops: Breeding and Biotechnological Approaches. *Biotechnology for the Environment*, **2**, 1-15. <https://doi.org/10.1186/s44314-025-00023-8>
- [7] 黄益鸿, 雷东阳. 不同砧木嫁接番茄抗青枯病效果研究[J]. 江西农业学报, 2013, 25(1): 73-75.
- [8] 刘业霞, 姜飞, 张宁, 等. 嫁接辣椒对青枯病的抗性及其与渗透调节物质的关系[J]. 园艺学报, 2011, 38(5): 903-910.
- [9] 王岳霞. 茄子青枯病抗感砧穗互作影响嫁接苗抗病性的生理机制研究[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2018.
- [10] Chitwood-Brown, J., Vallad, G.E., Lee, T.G. and Hutton, S.F. (2021) Breeding for Resistance to Fusarium Wilt of Tomato: A Review. *Genes*, **12**, Article 1673. <https://doi.org/10.3390/genes12111673>
- [11] 闫广艳. 樱桃番茄嫁接育苗栽培防控枯萎病研究初报[J]. 园艺与种苗, 2011(1): 27-28.
- [12] 褚新培. 番茄枯萎病抗性砧木筛选及嫁接抗病机理研究[D]: [硕士学位论文]. 保定: 河北农业大学, 2020.
- [13] 尤春, 倪玮. 不同砧木品种嫁接对茄子生长的影响[J]. 农业科技通讯, 2015(11): 77-79.
- [14] 邹宜静, 王光锋, 任国华, 等. 不同品种砧木抗病性鉴定及嫁接对番茄植株生长和果实品质的影响[J]. 上海农业学报, 2021, 37(6): 108-113.
- [15] 缪其松, 王强, 王东升, 等. 四种砧木对黄萎病高发区设施连作茄子产量、品质及发病率的影响[J]. 北方园艺, 2020(1): 50-56.

- [16] 邹春蕾, 刘长远, 王丽萍, 等. 辣椒不同砧木嫁接组合的疫病抗性评价及叶片防御酶活性的变化分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2015, 46(2): 155-160.
- [17] 郑长英, 曹志平, 陈国康, 等. 番茄嫁接防治温室根结线虫病的研究[J]. 中国生态农业学报, 2005(4): 164-166.
- [18] 胡永军. 茄子嫁接防治根结线虫效果试验[J]. 西北园艺, 2004(9): 15-16.
- [19] 刘德兴, 荆鑫, 焦娟, 等. 嫁接对番茄产量、品质及耐盐性影响的综合评价[J]. 园艺学报, 2017, 44(6): 1094-1104.
- [20] 吴雪霞, 查丁石, 朱宗文. NaCl 胁迫对嫁接茄子幼苗光合作用和离子含量的影响[J]. 上海农业学报, 2012, 28(3): 13-16.
- [21] 胡凤霞, 唐艳领, 刘金, 等. 辣椒砧木的筛选及其耐盐性研究[J]. 北方园艺, 2013(4): 24-27.
- [22] 张志焕. 番茄砧木耐旱性鉴定及其嫁接苗对水分胁迫的响应[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
- [23] 周宝利, 孟兆华, 李娟, 等. 水分胁迫下嫁接对茄子生长及其生理生化指标的影响[J]. 生态学杂志, 2012, 31(11): 2804-2809.
- [24] 张帆, 刘博, 石玉, 等. 干旱胁迫下嫁接对辣椒幼苗生长及生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(5): 186-191.
- [25] 张娟. 番茄砧木及其嫁接苗抗冷性鉴定与生长发育规律研究[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2004.
- [26] 刘益勇, 周亚东, 申磊, 等. 嫁接对茄子耐冷性的影响[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(13): 52-55+58.
- [27] 李紫瑜. 辣椒耐低温砧木筛选及其嫁接苗耐低温能力的研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2022.
- [28] Fernández-García, N., Martínez, V., Cerdá, A. and Carvajal, M. (2002) Water and Nutrient Uptake of Grafted Tomato Plants Grown under Saline Conditions. *Journal of Plant Physiology*, **159**, 899-905. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00652>
- [29] Davoudi, M., Song, M., Zhang, M., Chen, J. and Lou, Q. (2022) Long-Distance Control of the Scion by the Rootstock under Drought Stress as Revealed by Transcriptome Sequencing and Mobile mRNA Identification. *Horticulture Research*, **9**, 2264-2283. <https://doi.org/10.1093/hr/uhab033>
- [30] Gregory, P.J., Atkinson, C.J., Bengough, A.G., Else, M.A., Fernández-Fernández, F., Harrison, R.J., et al. (2013) Contributions of Roots and Rootstocks to Sustainable, Intensified Crop Production. *Journal of Experimental Botany*, **64**, 1209-1222. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers385>
- [31] Balliu, A., Babaj, I. and Sallaku, G. (2024) Root Morphology Parameters and Nutrient Acquisition Capabilities of Grafted Tomato Plants in Root-Restricted Conditions Are Subject to Salinity and Rootstock Characteristics. *International Journal of Vegetable Science*, **30**, 503-526. <https://doi.org/10.1080/19315260.2024.2383847>
- [32] Liu, Y. (2018) Darwin's Pangenesis and Graft Hybridization. *Advances in Genetics*, **102**, 27-66.
- [33] 邹春蕾, 刘长远, 王丽萍, 等. 嫁接辣椒根际土壤氧化还原酶及水解酶活性与疫病抗性的关系[J]. 东北农业大学学报, 2015, 46(4): 29-35.
- [34] Abbasi, S., Sadeghi, A., Omidvari, M. and Tahan, V. (2021) The Stimulators and Responsive Genes to Induce Systemic Resistance against Pathogens: An Exclusive Focus on Tomato as a Model Plant. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, **33**, Article 101993. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101993>
- [35] Li, T., Huang, Y., Xu, Z., Wang, F. and Xiong, A. (2019) Salicylic Acid-Induced Differential Resistance to the Tomato Yellow Leaf Curl Virus among Resistant and Susceptible Tomato Cultivars. *BMC Plant Biology*, **19**, Article No. 173. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1784-0>
- [36] Lu, X., Liu, W., Wang, T., Zhang, J., Li, X. and Zhang, W. (2020) Systemic Long-Distance Signaling and Communication between Rootstock and Scion in Grafted Vegetables. *Frontiers in Plant Science*, **11**, Article ID: 460. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00460>
- [37] Pant, B.D., Buhtz, A., Kehr, J. and Scheible, W. (2008) MicroRNA399 Is a Long-Distance Signal for the Regulation of Plant Phosphate Homeostasis. *The Plant Journal*, **53**, 731-738. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313x.2007.03363.x>
- [38] Spanò, R., Mascia, T., Kormelink, R. and Gallitelli, D. (2015) Grafting on a Non-Transgenic Tolerant Tomato Variety Confers Resistance to the Infection of a Sw5-Breaking Strain of Tomato Spotted Wilt Virus via RNA Silencing. *PLOS ONE*, **10**, e0141319. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141319>
- [39] Kundariya, H., Yang, X., Morton, K., Sanchez, R., Axtell, M.J., Hutton, S.F., et al. (2020) Msh1-Induced Heritable Enhanced Growth Vigor through Grafting Is Associated with the RdDM Pathway in Plants. *Nature Communications*, **11**, Article No. 5343. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19140-x>
- [40] Wu, R., Wang, X., Lin, Y., Ma, Y., Liu, G., Yu, X., et al. (2013) Inter-Species Grafting Caused Extensive and Heritable Alterations of DNA Methylation in Solanaceae Plants. *PLOS ONE*, **8**, e61995. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061995>