

茄子远缘杂交研究进展

朱蔡红¹, 杨旭^{1,2}

(1. 扬州大学园艺园林学院 江苏扬州 225009; 2. 扬州大学教育部农业与农产品安全国际合作联合实验室 江苏扬州 225009)

摘要: 茄子作为全球重要蔬菜作物,其营养价值高,含维生素 E、生物碱等成分,兼具保健功能。然而,栽培茄遗传基础狭窄,抗病基因多存在于野生茄及半栽培种中,连作障碍、黄萎病等问题频发。因此,通过远缘杂交整合野生茄抗病、抗逆基因成为育种关键。研究显示,野生茄对黄萎病、低温及高温胁迫表现出高抗性,但与栽培茄存在生殖隔离现象。远缘杂交面临受精前障碍、受精后障碍及 F₁ 不育等挑战。通过亲本选择、授粉技术优化等方式可部分克服障碍。未来需系统收集野生茄资源,拓展抗性研究至营养与品质性状,并融合基因组学、基因编辑与传统育种,以创制抗病抗逆、高产优质的新品种。远缘杂交技术的创新与多学科交叉应用将是提升茄子育种效率、实现可持续发展的核心方向。

关键词: 茄子;远缘杂交;种间杂交障碍;克服途径;杂种鉴定

中图分类号: S641.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)04-010-07

Progress of research on distant hybridization of eggplant

ZHU Caihong¹, YANG Xu^{1,2}

(1. College of Horticulture and Landscape Architecture, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu, China; 2. Joint Laboratory of International Cooperation on Agricultural and Agricultural Product Safety, Ministry of Education, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu, China)

Abstract: Eggplant is an important globally vegetable crop with high nutritional value, rich in vitamin E and alkaloids, and also offers health benefits. However, the genetic base of cultivated eggplant is narrow, and many disease-resistant genes are found in wild relatives and semi-domesticated species, leading to frequent challenges such as continuous cropping obstacles and *Verticillium* wilt. Thus, integrating disease-resistant and stress-tolerant genes from wild eggplants into cultivated varieties through distant hybridization has become a critical breeding strategy. Studies indicate that wild eggplants exhibit high resistance to *Verticillium* wilt, low-temperature and high-temperature stress, but face reproductive isolation barriers when hybridized with cultivated varieties. Distant hybridization encounters challenges including pre-fertilization barriers, post-fertilization barriers, and F₁ hybrid sterility. These barriers can be partially overcome through parental selection and optimization of pollination techniques. Future efforts should focus on systematically collecting wild eggplant resources, expanding resistance research to nutritional and quality traits, and integrating genomics, gene editing, and traditional breeding to develop new cultivars with enhanced disease resistance, stress tolerance, high yield, and excellent quality. Innovations in distant hybridization technologies and interdisciplinary approaches will be pivotal for improving eggplant breeding efficiency and achieving sustainable development.

Key words: Eggplant; Distant hybrid; Interspecific hybridization barrier; Overcoming approach; Hybrid identification

茄子(*Solanum melongena* L.)为茄科茄属植物,一年生草本。原产于亚洲热带地区^[1],后被引种至世界各地。是一种生活中较为多见的蔬菜作物,在我国大部分地区均可种植,并深受广大消费者的青睐。2023 年全世界茄子产量 6 084.35 万 t,而我国

产量高达 3 924.41 万 t,占世界总产量的 64.5%^[2],我国已成为茄子最大的生产国与消费国。茄子具有较高的营养价值,由于茄子内含有丰富的维生素 E,因此具有抗衰老的作用^[3];茄子中还含有多种生物碱,在抗氧化、抗衰老方面能起到一定作用,此外茄

收稿日期: 2024-11-27; 修回日期: 2025-02-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(31972395)

作者简介: 朱蔡红,男,在读硕士研究生,研究方向为蔬菜分子育种。E-mail: 19962544631@163.com

通信作者: 杨旭,男,教授,研究方向为蔬菜遗传育种与生物技术。E-mail: yangxu@yzu.edu.cn

子还具有清热解暑的功效^[4]。而在园艺栽培当中,由于栽培茄的遗传基础较窄,茄子抗病基因大多存在于近缘野生茄和半栽培茄种质资源当中^[5]。因此,将栽培茄与野生茄进行杂交,培育具有抗病能力的栽培茄品种在实际生产中至关重要。

1 茄子研究现状

1.1 栽培茄

茄子在我国的栽培历史悠久,最早可追溯至西汉时期,初期仅在四川一带小规模种植。如今,茄子已广泛分布,成为我国重要的蔬菜作物。不同地区的消费者需求各异,促使茄子在栽培过程中形成了多种多样的果实形态,以适应不同的消费习惯^[6]。茄子具有广泛的适应性,易于栽培、产量高,且供应期长^[7],是我国夏秋季节的主要蔬菜之一,冬春季节则通过设施栽培保障全年供应。

然而,随着茄子生产的规模化和设施栽培的推广,诸如连作障碍、黄萎病和过度施肥等问题日益突出。黄萎病是茄子生产中的主要病害,严重时可导致大幅减产甚至绝收^[8],且农药的过度使用加剧了土壤和水源污染。此外,氮肥的过量施用未能有效解决土壤连作问题,反而加重了环境污染。因此,提高氮肥利用率和减少不必要的肥料使用是当前亟待解决的关键问题。通过挖掘茄子的遗传潜力,培育具有抗病基因的新品种,成为应对这些挑战的最有效且经济的途径^[9]。

1.2 野生茄

野生茄种质资源十分丰富,在全球范围内,茄属植物约有 2000 种^[10]。其中野生茄超过 300 种,而我国现有野生茄 80 余种,主要分布在我国西南、两广等地区^[11]。药用与育种是当前野生茄资源主要应用的两个方向,像旋花茄、龙葵、蒜芥茄、刺天茄及喀西茄等具有较高的药用价值。而水茄、喀西茄及红茄由于其与栽培茄亲缘关系较近,在一定杂交技术的基础上可以通过与栽培茄杂交保留其优良抗性。

在营养成分方面,野生茄与栽培茄差距不大,同样具有食用价值。而野生茄还具有丰富的抗病基因,为茄子种质资源的创新提供了材料。有研究表明,水茄、喀西茄、赤茄等野生茄具有多种高抗逆能力,但这类具有高抗能力的野生种与栽培品种存在严重的生殖隔离现象。王益奎等^[12]的研究表明,茄子抗黄萎病基因仅存在与近缘野生种与半栽培茄种质资源中。李海涛等^[13]、庄勇等^[14]通过不同的

方法鉴定不同近缘野生茄得出多种野生茄对黄萎病表现高抗的结论。高青海^[15]在研究茄子幼苗受低温胁迫的研究中发现,赤茄和水茄的耐冷性较好。也有学者对不同品种茄子进行了耐热性测试,发现野生茄相较于栽培茄具有较好的耐热性^[16]。

目前野生茄的利用方式有很多。其中嫁接技术最为成熟,已广泛应用于生产与科研当中。除嫁接外的其他利用方式发展均较为落后,存在的问题也较多。而绝大多数野生茄都可作为砧木的材料。嫁接不仅能提高植株的成活率,在控制病虫害方面也能起到一定的作用,并且野生茄与栽培茄嫁接难度低,易于在生产中应用。虽然在茄子种间杂交领域已有不少的研究,但由于茄子受精障碍,茄子种间杂交难度较大。而成功率较高的野生品种是处于第一、第二级基因库当中的野生茄种质资源,其他处于下级的野生茄则成功率较为低下。F₁不育以及子代性状不稳定等问题仍然存在。因为茄子种间杂交成功率低,不少科学家开始通过细胞融合的方式将野生茄当中的优良性状转入栽培茄当中。Iwamoto 等^[17]通过细胞融合的方式获得了赤茄与沙氏茄的体细胞杂交种,但与远缘杂交一样,存在杂种没有育性和仍要对性状进行改良的问题。转基因作为一种最为快捷、准确的方法,可以定向地将野生茄中的抗性基因转入栽培茄中,从而增加茄子对逆境的抵抗能力^[18]。但在茄子转基因的研究中,茄子遗传转化体系的建立又是一大难题。

2 茄子远缘杂交概况

2.1 茄子远缘杂交研究现状

有关茄子远缘杂交的成功案例较少,主要是因为栽培种与野生种的亲缘关系较远。根据野生茄与栽培茄杂交亲和性这一指标进行分类,可得出两类分类方法,一种是由 Lester 为首的研究者将茄子及其近缘种划分为 8 个组,其中前 4 组 A~D 为具有生殖隔离的野生茄,后 4 组 E~H 为经过园艺栽培后的品种,其中 H 为茄子高级栽培种^[19];第二类分类法根据野生茄与栽培茄杂交亲和程度,将其分为 3 个等级,第一级基因库由 *Solanum insanum* 和 *Solanum incanum* 两个野生种组成^[20],他们为茄子杂交提供了丰富的种质资源;第二级与第三级是由来自东南亚与非洲的野生带刺品种所构成的基因库,这一级基因库中的品种在遗传上的表型多种多样,在抗病、抗逆方面也有不错的表现,这类品种与栽培种在果实外形上有较大差异。在研究过程中,研究

人员可以通过栽培种与野生种的亲缘关系远近来选择合适的亲本,提高茄子远缘杂交的成功率。

2.2 茄子远缘杂交亲和性

栽培茄与不同野生茄杂交的组合类型是影响茄子种间杂交成功率的重要因素。笔者将国内外近年报道的有关茄子杂交结果总结如表 1,以便其他学者参考研究。

2.3 茄子种间杂交的影响因素

影响茄子种间杂交成功率的因素有很多,其中基因型对茄子杂交亲和性的影响尤为重要,选用适当的杂交手段或技术可以在一定程度上提高远缘杂交的亲合度。例如,栽培茄与野生茄杂交时,以栽培茄为母本、野生茄为父本的试验大多成功,而野生茄为母本、栽培茄为父本则均失败,所以设定合适的正反交试验可以提高试验的成功率;此外,不同的授粉方式、胚拯救和增加杂交组合数量都能

表 1 栽培茄与野生茄种间杂交概况
Table 1 Overview of interspecific crosses between cultivated and wild eggplant

杂交组合 Hybrid combination	试验结果 Experimental result	备注 Remark	参考文献 Reference
<i>S. melongena</i> × <i>S. aethiopicum</i>	F ₁ 不育 F ₁ sterility	F ₁ 花粉母细胞减数分裂不正常 The meiosis of F ₁ pollen mother cells is abnormal	[21]
<i>S. melongena</i> × <i>S. aethiopicum</i>	获得 F ₁ Obtain F ₁	未获得种子或种子苗期死亡 No seeds were obtained, or the seeds died during the seedling stage	[22]
<i>S. melongena</i> × <i>S. angviui</i>	获得 F ₁ Obtain F ₁	未获得种子或种子苗期死亡 No seeds were obtained, or the seeds died during the seedling stage	[22]
<i>S. melongena</i> × <i>S. incanum</i>	获得 F ₁ Obtain F ₁	除安长茄获得 F ₁ 外,其余均为子房膨大 Except for the Anchang eggplant, which achieved F ₁ , all others exhibited ovary enlargement.	[23]
<i>S. melongena</i> × <i>S. linnaeanum</i>	获得 F ₁ Obtain F ₁		[24]
Qiyeqie× <i>S. integrifolium</i>	获得 F ₁ Obtain F ₁		[25]
<i>S. melongena</i> × <i>S. torvum</i>	F ₁ 不育 F ₁ sterility	F ₁ 花粉母细胞减数分裂不正常 The meiosis of F ₁ pollen mother cells is abnormal	[26]
<i>S. melongena</i> × <i>S. torvum</i>	F ₁ 不育 F ₁ sterility	未获得种子或种子苗期死亡 No seeds were obtained, or the seeds died during the seedling stage	[22]
<i>S. melongena</i> × <i>S. torvum</i>	F ₁ 可育 F ₁ fertile		[27]
<i>S. melongena</i> × <i>S. linnaeanum</i>	F ₁ 可育 F ₁ fertile		[28]
<i>S. melongena</i> × <i>S. incanum</i>	F ₁ 可育 F ₁ fertile		[29]
<i>S. melongena</i> × <i>S. macrocarpon</i>	获得 F ₁ Obtain F ₁		[30]
<i>S. melongena</i> × <i>S. aethiopicum</i>	获得 F ₁ Obtain F ₁		[31]
<i>S. melongena</i> × <i>S. viarum</i>	获得 F ₁ Obtain F ₁		[32]
<i>S. melongena</i> × <i>S. hainanense</i>	F ₁ 可育 F ₁ fertile		[33]
<i>S. melongena</i> × <i>S. sisymbriifolium</i>	F ₁ 可育 F ₁ fertile	七叶茄获得成熟种子 Qiyeqie has successfully yielded mature seeds	[34]
<i>S. melongena</i> × <i>S. elaeagnifolium</i>	杂交失败 Hybridization failure		[24]
<i>S. melongena</i> × <i>S. khasianum</i>	获得 F ₁ Obtain F ₁		[35]
<i>S. melongena</i> × <i>S. khasianum</i>	获得 F ₁ Obtain F ₁		[36]
<i>S. melongena</i> × <i>S. aethiopicum</i>	获得 F ₁ Obtain F ₁		[36]
<i>S. melongena</i> × <i>S. integrifolium</i>	获得 F ₁ Obtain F ₁		[36]
<i>S. melongena</i> × <i>S. integrifolium</i>	获得 F ₁ Obtain F ₁		[37]

提高茄子远缘杂交亲和性。

3 茄子种间杂交障碍及其克服方法

茄子种间杂交存在着三大难题:受精前障碍、受精后障碍和 F_1 杂种不育^[38]。

3.1 受精前障碍

造成受精前障碍的原因通常为亲本自身不育与杂交不亲和。亲本不育主要是自身发育不良等造成的,此外不予多加赘述。而杂交不亲和的根本原因是雌雄配子不能正常结合,导致双受精失败。克服此类障碍可以采用以下几种方式:

(1)选择合适的亲本

有研究表明,父母本的选择对杂交的成功至关重要,有众多研究者发现,当栽培茄作为杂交母本时,杂交成功率大大提升。如庄勇等^[34]在以4个栽培茄品种与7种野生茄种质资源杂交时,以野生茄为母本时全部失败,以七叶茄(一种栽培茄)为母本时得到成熟的种子。Barbierato等^[35]也得到了与此相同的结果,还发现以栽培茄作为母本时可与*S. violaceum*杂交成功并获得杂交种,反之则全部失败。在杂交亲本选择时,选择亲缘关系较近的两个品种成功率更高。国内有学者曾通过AFLP分析野生茄与栽培茄的亲缘关系,认为红茄与栽培茄亲缘关系较近,托鲁巴母较红茄相比亲缘关系较远,龙葵在三者之中亲缘关系最远^[39]。国外也有关于此方面的相关报道,Plazas等^[24]得出杂交时选择与茄子同在茄亚属的野生近缘种等亲缘关系较近的野生茄,杂交亲和性明显高于其他属,如龙葵亚属(SUBG. *Solanum*)中的*S. photeinocarpum*和古龙葵属(SUBG. *Archae Solanum*)中的*S. aviculare*。

(2)改良授粉方式

采用适当的授粉方式能够在一定程度上提高双受精效率。通常使用的方法有切割柱头法、重复授粉法和化学处理法。适当的重复授粉可以提高茄子的坐果率和增加种子数^[40]。刘园^[9]在茄子杂交试验中采用了重复授粉与切割柱头的方法,与其他授粉方法有极显著的差异。也有学者认为在杂交前在柱头上施用一定浓度的槲皮素能提高茄子远缘杂交的成功率^[27]。

(3)体细胞融合

体细胞融合直接跨过有性生殖中性细胞融合的过程,是最直接、快速解决受精前障碍的一种技术手段。目前,体细胞融合在茄子领域已有不少研究,获得了具有优良抗性的茄子杂种细胞^[41-44]。但

是这些细胞大多不能产生有性生殖的后代。

3.2 受精后障碍

受精后障碍发生的主要原因是亲本基因互作,导致胚难以正常发育。胚拯救是解决受精后障碍最常用的方法。胚拯救就是在胚胎败育之前将子房或胚胎转移至人工培养的状态,提高胚胎的成活率。目前,这项技术已成功地应用在茄子远缘杂交中,通过此方法已获得了茄子与*S. khasianum*、*S. sisymbriifolium*、*S. torvum*等的杂交种,但大多数都表现为不育或育性极低^[45-47]。

3.3 F_1 杂种不育

造成茄子种间杂交不育的原因有许多,其中染色体配对异常是最为重要的原因之一^[38]。而现阶段公认最有效的方式就是染色体加倍,染色体加倍就是通过使染色体数目倍增,使其能够正常进行减数分裂,从而解决杂种不育的问题。目前,国内外研究中,已有许多成功的案例,Rajasekaran等^[48]通过染色体加倍的方法恢复了杂种茄的育性。栽培茄与赤茄杂交,植株经过染色体加倍后也恢复了育性,能够正常开花结果得到成熟种子。还有研究者使用秋水仙素处理杂种茄植株后获得花粉活性极高的二倍体植株^[49]。此外,有研究表明回交也是一种能够解决 F_1 杂种不育的方式。庄勇等^[50]、柳李旺等^[25]、Giuseppe等^[51]都通过回交逐步恢复了杂种育性,得到了部分种子。

4 远缘杂种鉴定

目前,用于杂种鉴定的技术以形态学鉴定、细胞学标记、生化标记和分子标记四种方式为主。

形态学鉴定是早期外源基因检测的主要手段。当外源基因导入到植物体并表达之后,就会使植物在形态学上产生变化。形态学鉴定的特点是可直接用肉眼进行观察、操作简单,是最传统、最常用的方法。但它也存在着明显的弊端,如容易受到外界环境的影响,且不能在当年得出结果,在第二年田间种植时才能进行田间性状调查,试验周期较长;同时还要求育种人员有较为丰富的观察经验,且观察结果受观察人员的主观因素影响较大^[9]。所以形态学鉴定在应用上有颇多限制。

细胞学标记是通过体细胞染色体计数法,对比 F_1 代与亲本在细胞有丝分裂时染色体数、形态及减数分裂时染色体的配对情况等方面的异同。通常情况下,由于在一个物种内这几个方面是相同或者相似的,所以可以通过对比来进行鉴定。主要的方

法有染色体核型分析、染色体现代技术以及植株倍性鉴定三种方法。

生化标记是指利用植物代谢过程中产生的特殊生化成分或产物进行品种鉴定的技术,其中同工酶标记是生化标记中最为常用的一种方式。柳李旺等^[25]对栽培茄与红茄的杂交后代就利用 POD、COD 和 EST 同工酶来进行鉴定。

分子标记是通过标记 DNA 上特定的核苷酸序列并以 PCR 扩增为基础的检测手段,可在茄子发育初期进行杂种鉴定,不受外界环境条件和栽培技术的影响,是目前杂种鉴定中最为快捷、最为精准的鉴定方法^[36]。在茄子杂种鉴定中较为常用的是 SSR 分子标记,如王艳娜等^[52]利用 SSR 技术得出在野生茄×栽培茄杂交组合当中 F_1 的亲缘关系与母本较近、与父本较远的结论。王红^[53]在栽培茄×水茄远缘杂交 F_1 的试验当中选用的也是 SSR 分子鉴定技术。此外,在马铃薯与茄子体细胞融合的研究中,喻艳^[54]也利用了 SSR 来检测核基因组 DNA。

5 存在的问题及展望

5.1 属间杂交研究较少

由于茄属植物间存在着严重的生殖隔离现象,导致茄子属间杂交研究情况较少。在现有文献当中,只能查到茄子与茄属中两类作物的杂交研究。一类是茄子与马铃薯体细胞融合的研究,研究发现无论原生质体是对称还是非对称融合,双亲基因组组合情况都不尽相同,后代从双亲处获得的性状与能力也不同。造成这种现象的原因尚不明确,但体细胞融合的方式,是解决属间杂交不亲和的方法之一。另一类是茄子与龙葵杂交的研究,相对于马铃薯,龙葵在亲缘关系上比马铃薯更近一些。茄子与龙葵杂交可获得没有育性的 F_1 ,研究者通过秋水仙素处理的方式恢复 F_1 育性,再经自交和回交获得可育的后代。

茄属植物间无法通过简单的人工授粉直接进行杂交,研究者通常采用两种方式来解决:一是选取属间亲缘关系较近的物种来与茄子进行杂交,获得不育后代,再通过其他方式来恢复其后代育性。二是对于与茄子亲缘关系较远的物种,则通过细胞工程或基因工程的方式来避开受精这一过程,获得杂种后代。但这种方法所获得的后代多数没有育性,且性状不够稳定。因此,收集不同茄属植物种质资源和创新与应用生物技术对茄属植物杂交十分重要。

5.2 继续开发利用野生种质资源

相较于属间杂交,茄子种间杂交的研究则相对较多,主要集中在栽培茄与野生茄的杂交。茄子种间杂交大多都能通过寻常的杂交手段获得可育或不育的 F_1 ,少数亲缘关系较远的野生种也可通过更换授粉方式或胚拯救等措施来进行杂交。因此,对于种间杂交,面对的主要问题是合理地开发与利用野生茄资源。

就目前的研究而言,研究人员大多都将目光放在托鲁巴姆、蒜芥茄、刺天茄和喀西茄等几个常见野生茄上,忽略了许多其他优秀的野生品种。到目前为止,尚未有人对野生茄资源进行系统的统计与命名。目前大多研究都集中在野生茄的抗逆、抗病方面,而在营养和果实口感等方面研究较少。因此,扩大野生种质资源库及确定研究方向对茄子种间杂交具有十分重要的意义。

5.3 新兴技术与传统杂交方式相结合

随着二代测序技术的普及,基因组学、生物信息学发展突飞猛进。全基因组、转录组测序、CRISPR/Cas9 等新兴技术开始应用于杂交当中。这些技术的应用能更快速更直观地了解性状与基因之间的关系。同时结合传统 QTL 分子标记进行辅助选择,两相验证,加快野生种质基因的利用。一方面,应该大力推进新兴技术在茄子杂交当中的应用;另一方面,应当继续使用传统技术手段对种质资源库进行扩充,为茄子远缘杂交提供更多的研究材料。

6 总 结

远缘杂交是茄子种质资源创新的重要手段。尽管 20 世纪远缘杂交技术取得了显著进展,但由于种间杂交不亲和及受精障碍,茄子远缘杂交仍处于较慢发展阶段,尤其是我国在杂交机制的研究上相对滞后,且试验方法较为简单,未能突破受精障碍。此外,许多研究成果尚未被广泛应用于生产实践。

因此,急需拓展新的研究方向,借鉴国外的研究思路,推动杂交机制的突破。在技术创新方面,尽管胚拯救技术在实践中较为成熟,但如何提高效率、降低成本、提升经济效益仍是重要课题。细胞融合、基因编辑和染色体片段替换等高端技术应逐步普及。同时,随着细胞学和生物信息学的发展,结合基因组学等前沿技术,将成为未来茄子远缘杂交的主要趋势。

综上所述,茄子杂交育种应充分利用野生种质资源,扩大亲本选择范围,结合新兴技术创新,培育

抗病抗逆、符合市场需求的新品种,提升经济效益。

参考文献

- [1] 刘丹,崔彦玲,潜宗伟.茄子种业现状及遗传育种研究进展[J].北方园艺,2019(1):165-170.
- [2] 孙婷婷,赵明辉,李淑敏,等.茄子黄萎病研究进展[J].中国蔬菜,2021,34(4):8-14.
- [3] 佚名.茄子的营养价值[J].吉林蔬菜,2014(3):19.
- [4] 汪文兴.茄子的营养价值与设施高产高效栽培技术[J].现代园艺,2014(6):38.
- [5] 刘富中,舒金帅,张映,等.“十三五”我国茄子遗传育种研究进展[J].中国蔬菜,2021(3):17-27.
- [6] 李植良,黎振兴,黄智文,等.我国茄子生产和育种现状及今后育种研究对策[J].广东农业科学,2006(1):24-26.
- [7] 范兵华,谢欣,赵颖,等.日光温室越冬一大茬茄子高效栽培技术[J].西北园艺,2022(9):15-17.
- [8] 申丽.茄子黄萎病防治技术[J].西北园艺(综合),2020(11):42-43.
- [9] 刘园.茄子远缘杂交种获得、鉴定与评价[D].河北保定:河北农业大学,2013.
- [10] 李玲,郑重飞,孙敬勇,等.茄属植物化学成分及生物活性研究进展[J].中草药,2016,47(6):1016-1033.
- [11] 张培欣,赵凯.野茄树及喀西茄不同浸提液对番茄晚疫病菌化感作用的研究[J].河南农业,2016(17):20-22.
- [12] 王益奎,李文嘉,莫贱友,等.茄子黄萎病及抗病遗传育种研究进展[J].中国蔬菜,2011(14):9-14.
- [13] 李海涛,张子君,杨国栋,等.茄子黄萎病抗病性鉴定[J].辽宁农业科学,2006(1):4-6.
- [14] 庄勇,王述彬.茄子近缘种黄萎病抗性鉴定及遗传分析[J].江苏农业学报,2009,25(4):847-850.
- [15] 高青海.嫁接与茄子抗冷性关系研究[D].山东泰安:山东农业大学,2005.
- [16] 贾开志,陈贵林.高温胁迫下不同茄子品种幼苗耐热性研究[J].生态学杂志,2005,24(4):398-401.
- [17] IWAMOTO Y,HIRAI M,OHMIDO N,et al. Fertile somatic hybrids between *Solanum integrifolium* and *S. sanitswongsei* (syn. *S. kurzii*) as candidates for bacterial wilt-resistant rootstock of eggplant[J]. Plant Biotechnology, 2007,24(2):179-184.
- [18] ARPAIA S,MENNELLA G,ONOFARO V,et al. Production of transgenic eggplant (*Solanum melongena* L.) resistance to Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1997,95(3):329-334.
- [19] 王锦秀.《植物名实图考》中一些百合科植物考证兼论茄子在中国的栽培起源和传播:植物考据学个例研究[D].北京:中国科学院研究生院(植物研究所),2005.
- [20] RANIL R H G,PROHENS J,AUBRIOT X,et al. *Solanum insanum* L. (subgenus *Leptostemonum* Bitter, Solanaceae), the neglected wild progenitor of eggplant (*S. melongena* L.): A review of taxonomy, characteristics and uses aimed at its enhancement for improved eggplant breeding[J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2017,64(7):1707-1722.
- [21] 宋学锋,范双喜,欧阳新星,等.栽培茄(*Solanum melongena* L.)和野生种远缘杂交后代的细胞学研究[J].北京农学院学报,1996,11(1):53-58.
- [22] AFFUL N T,NYADANU D R,AMOATEY H M,et al. Evaluation of crossability studies between selected eggplant accessions with wild relatives *S. torvum*, *S. anguivi* and *S. aethiopicum* (Shum group) [J]. Journal of Plant Breeding and Crop Science, 2018,10(1):1-12.
- [23] 柳李旺,汪隆植,龚义勤,等.栽培茄(*Solanum melongena*)与野生茄种间杂交及F₁鉴定[J].江苏农业学报,1999(2):37-40.
- [24] PLAZAS M,VILANOVA S,GRAMAZIO P,et al. Interspecific hybridization between eggplant and wild relatives from different gene pools [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2016,141(1):34-44.
- [25] 柳李旺,龚义勤,汪隆植,等.栽培茄与红茄(*Solanum integrifolium*)种间杂交及其杂种的特性分析[J].南京农业大学学报,2004,27(1):6-10.
- [26] 王益奎,王红,王艳娜,等.栽培茄与水茄远缘杂交F₁植物学性状及不育性分析[J].中国蔬菜,2015(1):32-36.
- [27] 曹必好,雷建军,王勇,等.栽培茄与野生茄种间杂交研究[J].园艺学报,2009,36(2):209-214.
- [28] LIU J,ZHENG Z S,ZHOU X H,et al. Improving the resistance of eggplant (*Solanum melongena*) to *Verticillium* wilt using wild species *Solanum linnaeanum* [J]. Euphytica, 2015, 201: 463-469.
- [29] PROHENS J,WHITAKER B D,PLAZAS M,et al. Genetic diversity in morphological characters and phenolic acids content resulting from an interspecific cross between eggplant, *Solanum melongena*, and its wild ancestor (*S. incanum*) [J]. Annals of Applied Biology, 2013,162(2):242-257.
- [30] HASAN S,LESTER R N. Crossability relationship of *Solanum Melongena* L. with its nearest wild relatives [J]. Acta Horticulturae, 1992(292):123-134.
- [31] PROHENS J,PLAZAS M,RAIGON M D,et al. Characterization of interspecific hybrids and first backcross generations from crosses between two cultivated eggplants (*Solanum melongena* and *S. aethiopicum* Kumba group) and implications for eggplant breeding [J]. Euphytica, 2012,186(2):517-538.
- [32] PRABHU M,NATARAJAN S,VEERARAGAVATHATHAM D. Correlation and path coefficient analysis in eggplant (*Solanum melongena* L.) [J]. Indian Journal of Agricultural Research, 2008,42(3):232-234.
- [33] 何忠虎.栽培茄(*Solanum melongena*)与海南茄(*Solanum hainanense*)杂交后代相关性状杂种优势和遗传分析[D].江苏扬州:扬州大学,2011.
- [34] 庄勇,王述彬.茄子近缘种引种及种间杂交研究[J].上海农业学报,2007,23(3):34-37.
- [35] BARBIERATO V,TOPPINO L,RINALDI P,et al. Phenotype and gene expression analyses of the *Rfo-sal* resistant aubergine interaction with *Fusarium oxysporum* f. sp. *melongenae* and *Verticillium dahliae* [J]. Plant Pathology, 2016,65(8):1297-1309.
- [36] 杨旭,刘飞,霍秋月,等. SSR 分子标记鉴定栽培茄与野生茄杂

- 种 F₁ 研究[J]. 东北农业大学学报, 2017, 48(10): 20-27.
- [37] DEVI CH P, MUNSHI A D, BEHERA T K, et al. Cross compatibility in interspecific hybridization of eggplant, *Solanum melongena*, with its wild relatives[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 193: 353-358.
- [38] 庄勇, 王述彬. 茄子种间杂交研究进展[J]. 中国蔬菜, 2008(增刊): 80-83.
- [39] 廖毅, 孙保娟, 黎振兴, 等. 茄子及其近缘野生种遗传多样性及亲缘关系的 AFLP 分析[J]. 热带作物学报, 2009, 30(6): 781-787.
- [40] 韩春叶, 王明山. 重复授粉对茄子杂交制种产量与质量的影响[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(18): 3735-3736.
- [41] 连勇, 刘富中, 冯东昕, 等. 应用原生质体融合技术获得茄子种间体细胞杂种[J]. 园艺学报, 2004, 31(1): 39-42.
- [42] GLEDDIE S, KELLER W A, SETTERFIELD G. Production and characterization of somatic hybrids between *Solanum melongena* L. and *S. sisymbriifolium* Lam.[J]. Theoretical and Applied Genetics, 1986, 71: 613-621.
- [43] JARL C L, RIETVELD E M, DE HAAS J M. Transfer of fungal tolerance through interspecific somatic hybridisation between *Solanum melongena* and *S. torvum*[J]. Plant Cell Reports, 1999, 18(9): 791-796.
- [44] 贾利, 马绍懿, 江海坤, 等. 茄子细胞工程技术应用研究进展[J]. 安徽农业大学学报, 2022, 49(4): 565-573.
- [45] BLETSOS F A, ROUPAKIAS D G, TSAKTSIRA M L, et al. Interspecific hybrids between three eggplant (*Solanum melongena* L.) cultivars and two wild species (*Solanum torvum* Sw. and *Solanum sisymbriifolium* Lam.) [J]. Plant Breeding, 1998, 117(2): 159-164.
- [46] BLETSOS F, THANASSOULOPOULOS C, ROUPAKIAS D. Effect of grafting on growth, yield, and verticillium wilt of eggplant[J]. HortScience, 2003, 38(2): 183-186.
- [47] BLETSOS F, ROUPAKIAS D, TSAKTSIRA M, et al. Production and characterization of interspecific hybrids between three eggplant (*Solanum melongena* L.) cultivars and *Solanum macrocarpon* L. [J]. Scientia Horticulturae, 2004, 101(1/2): 11-21.
- [48] RAJASEKARAN S. Cytogenetic studies of the F₁ hybrid *Solanum indicum* L. × *S. melongna* L. and its amphidiploid[J]. Euphytica, 1970, 19: 217-224.
- [49] ALI M, OKUBO H, FUJIEDA K. Production and characterization of *Solanum* amphidiploids and their resistance to bacterial wilt[J]. Scientia Horticulturae, 1992, 49(3/4): 181-196.
- [50] 庄勇, 王述彬. 非洲红茄与栽培茄种间杂种及其回交后代的鉴定[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(1): 137-140.
- [51] GIUSEPPE L R, SIHACHAKR D, RIZZA F, et al. Current status in production and utilization of dihaploids from somatic hybrids between eggplant (*Solanum melongena* L.) and its wild relatives[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2005, 27(4): 723-733.
- [52] 王艳娜, 王益奎, 李文嘉, 等. 利用 SSR 分子标记技术鉴定和分析茄子杂种 F₁ 的纯度[J]. 南方农业学报, 2015, 46(9): 1551-1556.
- [53] 王红. 栽培茄与水茄远缘杂交 F₁ 杂种鉴定及种质的抗病性分析[D]. 南宁: 广西大学, 2014.
- [54] 喻艳. 马铃薯与茄子原生质体融合创制新资源研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.