

# 砧用茄子种质遗传多样性分析及抗病性鉴定

邹敏<sup>1</sup>, 陶涛<sup>1</sup>, 杨洋<sup>1</sup>, 周珊珊<sup>1</sup>, 杨光霞<sup>2</sup>, 唐晓华<sup>3</sup>, 田时炳<sup>1</sup>, 王永清<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>重庆市农业科学院, 重庆 401329; <sup>2</sup>重庆市垫江县果品蔬菜管理站, 重庆垫江 408399; <sup>3</sup>重庆市农村土地整治中心, 重庆 409199)

**摘要:** 对 70 份砧用茄子种质资源的 19 个植物学性状进行调查, 通过遗传多样性分析、主成分分析和聚类分析, 及青枯病、根结线虫病、黄萎病等茄子生产中 3 种主要土传性病害的抗性鉴定, 对现有砧用茄子种质进行评价, 以期为茄子砧木育种提供理论和实践依据。遗传多样性分析结果表明: 19 个植物学性状的变异系数介于 15.90%~73.05%, 平均为 46.11%, 遗传多样性指数介于 0.325~2.008, 平均为 1.155, 其中, 单果重变异系数最高(73.05%), 主茎粗的遗传多样性最丰富, 指数为 2.0083。主成分分析结果显示: 特征值大于 1 的主成分有 7 个, 累计贡献率 76.55%, 其中, 第 4 主成分(植株刺因子)、第 5 主成分(茎粗因子)与嫁接操作便利度和植株生长势相关。聚类分析将参试种质分为 3 个类群: 第 I 类群和第 III 类群全是栽培种, 但主茎色、叶缘、果色、果实大小等性状差异明显; 第 II 类群包含 4 份栽培种和 20 份野生近缘种, 主茎粗最高(20.42 mm), 果实最小(平均果长 3.79 cm、果粗 4.60 cm、单果重 73.38 g)。抗病性鉴定筛选出高抗青枯病种质 22 份、高抗根结线虫病种质 11 份、高抗黄萎病种质 7 份, 其中, 高抗青枯病和根结线虫病的种质 3 份(BW9、LJ-7、Ng1-052), 高抗根结线虫病和黄萎病的种质 4 份(Ng1-003、喀西茄、蒜芥茄、水茄), 这些种质可为茄子抗病育种提供抗源。最后, 根据植物学性状和抗病性鉴定结果, 筛选出生长旺盛、嫁接操作方便的多抗栽培种质 3 份(LJ-18、Ng1-015 和 Ng1-013), 为培育优质、多抗茄子砧木奠定基础。

**关键词:** 砧用茄子; 遗传多样性; 青枯病; 根结线虫; 黄萎病

## Genetic Diversity Analysis and Resistance Identification of Eggplant Germplasm for Rootstock

ZOU Min<sup>1</sup>, TAO Tao<sup>1</sup>, YANG Yang<sup>1</sup>, ZHOU Shan-shan<sup>1</sup>, YANG Guang-xia<sup>2</sup>,  
TANG Xiao-hua<sup>3</sup>, TIAN Shi-bing<sup>1</sup>, WANG Yong-qing<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 401329; <sup>2</sup>Fruit and Vegetable Management Station of Dianjiang County, Chongqing Dianjiang 408399; <sup>3</sup>Chongqing Rural Land Improvement Center, Chongqing 409199)

**Abstract:** To provide theoretical and practical guidance for rootstock breeding, 19 botanical traits of 70 eggplant germplasm resources for rootstock were investigated in this study, followed by the genetic diversity, principal component and cluster analysis. Moreover, tests for resistance to three soil-borne diseases (bacterial wilt, root-knot nematode and *Verticillium* wilt) were conducted. The coefficient of variation was variable from 15.90%~73.05% with an average of 46.11%. The genetic diversity index ranged from 0.325~2.008 with an average of 1.155. The coefficient of variation of weight per fruit was the highest(73.05%), and the genetic diversity of

收稿日期: 2022-04-07 修回日期: 2022-04-20 网络出版日期: 2022-05-17

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20220407002>

第一作者研究方向为茄子育种与栽培技术, E-mail: 451303499@qq.com

通信作者: 田时炳, 研究方向为茄子育种与栽培技术, E-mail: 2508436730@qq.com

王永清, 研究方向为茄子育种与栽培技术, E-mail: 2689888368@qq.com

**基金项目:** 重庆市技术创新与应用发展专项面上项目(cstc2020jcsx-msxmX0028); 重庆市川渝联合实施重点研发项目(cstc2021jcsx-cylhX0002); 重庆市农业科学院绩效激励引导专项项目(cqaas2020jxjl104); 现代农业产业技术体系(CARS-23-A08)

**Foundation projects:** Chongqing Technical Innovation and Application Development Special Project(cstc2020jcsx-msxmX0028); Key R & D Project Jointly Implemented by Chongqing and Sichuan(cstc2021jcsx-cylhX0002); Chongqing Academy of Agricultural Sciences Special Project for Performance Incentive and Guidance(cqaas2020jxjl104); The Earmarked Fund for China Agriculture Research System(CARS-23-A08)

main stem diameter was the richest with an index of 2.0083. The component analysis revealed seven principal components (eigenvalues >1) with a cumulative rate of 76.55%. The 4th and 5th principal components were related to the convenience of grafting and the growth of grafted plant. The cluster analysis suggested three groups in this collection, including Group I and Group III were cultivated species, which showed obvious differences in main stem color, leaf margin, fruit color and fruit size; Group II contained four cultivated species and 20 wild germplasms, with the highest main stem diameter (20.42 mm) and the smallest fruit (the average length of 3.79 cm and diameter of 4.60 cm and weight of 73.38 g). 22 eggplant germplasms were detected with high resistance to bacterial wilt, 11 eggplant germplasms with high resistance to root-knot nematode and 7 eggplant germplasms with high resistance to *Verticillium* wilt. Three eggplant germplasms (BW9, LJ-7, Ng1-052) were highly resistant against bacterial wilt and root-knot nematode, and four eggplant germplasms (Ng1-003, *Solanum khasianum* C. B. Clarke, *Solanum sisymbriifolium* Lam., *Solanum torvum* Sw.) were highly resistant against root-knot nematode and *Verticillium* wilt. These eggplant germplasms can be used as resistance sources for disease resistance breeding. Based on the identification of botanical traits and disease resistance, three cultivars (LJ-18, Ng1-015 and Ng1-013) showing resistant against multiple diseases and vigorous growth and convenient graft were obtained, which laid a foundation for excellent multi-resistant eggplant rootstock breeding.

**Key words:** eggplant for rootstock; genetic diversity; bacterial wilt; root-knot nematode; *Verticillium* wilt

茄子 (*Solanum melongena* L.) 是我国重要的蔬菜作物, 2020 年种植面积 79.07 万  $\text{hm}^2$ 、产量 3659 万 t, 分别占世界茄子总面积、总产量的 42.13% 和 64.63% (FAO, <https://www.fao.org/faostat/en/#home>)。但是, 长期的连作重茬栽培, 致使青枯病、根结线虫病、黄萎病等土传性病害日趋严重。鉴于化学防治收效甚微、生物防治效果不稳定、抗性品种缺乏且农艺性状难以满足市场需求, 嫁接成为防治茄子土传性病害最经济、最有效、最方便的措施<sup>[1]</sup>, 也是保障茄子稳定生产和可持续发展的重要途径。在日本, 茄子 96% 靠嫁接栽培<sup>[2]</sup>; 在我国, 茄子嫁接栽培的普及率日益提高。茄子野生近缘种水茄 (*Solanum torvum* Sw.) 抗青枯病、黄萎病及根结线虫病等多种土传性病害<sup>[3]</sup>, 且具有良好的抗逆和耐瘠薄性<sup>[4]</sup>, 一直被作为主要嫁接砧木广泛应用于茄果类蔬菜生产<sup>[5-6]</sup>, 但在近年的栽培生产中出现抗性退化<sup>[7]</sup>、嫁接苗黄叶<sup>[8]</sup>等问题。在四川省峨眉山市早熟茄子传统产区部分田块黄化发生率高达 90%、减产 60%~70%<sup>[8]</sup>, 在重庆茄子连作地块青枯病发病率高达 30%~50%, 严重地块甚至绝收, 生产上对茄子嫁接砧木的更新需求迫切。

本研究对 70 份砧用茄子种质资源进行植物学性状调查, 通过遗传多样性分析、主成分分析、聚类分析, 及对青枯病、根结线虫病、黄萎病等茄子生产中三大主要土传性病害的抗性鉴定, 对现有砧用茄子种质进行评价, 为进一步筛选、改良及培育多抗砧木品种提供理论和实践指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

参试砧用茄子种质共 70 份, 详见表 1, 是课题组从国内外收集的抗性种质、野生近缘种及生产用茄子砧木。

### 1.2 试验方法

本研究于 2019-2022 年在重庆市高新区白市驿镇“国家蔬菜改良中心(重庆分中心)”和海南省乐东县利国镇“重庆南繁南鉴蔬菜示范基地”进行。

**1.2.1 植物学性状调查** 2021-2022 年在根结线虫病抗性鉴定过程中进行调查, 每份种质选择 10 株生长正常的植株。参照《茄子种质资源描述规范和数据标准》<sup>[9]</sup>调查 15 个非连续变异性状(主茎色、茎茸毛、叶形、叶色、叶缘、叶脉颜色、叶刺、花冠色、果色、果面斑纹、果面棱沟、果顶形状、果形、果萼颜色、果萼刺)及 4 个连续变异性状(主茎粗、果长、果粗、单果重)。其中, 栽培种调查时期为对茄商品果期, 野生近缘种调查时期为果实成熟期, 主茎粗(离地 2~3 cm)在定植后 4 个月用游标卡尺测量。

**1.2.2 青枯病抗性鉴定** 采用苗期菌液浸根接种和成株期田间病圃联合鉴定。2019-2021 年春季育苗(其中, 水茄用越冬季嫁接苗), 每年每份种质鉴定 20 株, 在四叶期将植株拔起, 去除根系上多余的基质(伤根), 用  $\text{OD}_{600}=0.1$  的青枯雷尔氏菌 (*Ralstonia solanacearum* (Smith) Yabuuchi et al.) 悬浮液浸泡根系 10 min, 定植于国家蔬菜改良中心

(重庆分中心)的青枯病病圃,在每年田间青枯病高发期(6月)调查各份砧木发病情况。病情分级参照王永清等<sup>[10]</sup>的方法。根据病情等级计算病情指数  $DI = \sum(\text{病级} \times \text{该病级株数}) / (\text{最高病级} \times \text{调查株数}) \times 100$ 。根据连续3年的调查结果,计算平均病情指数,参照刘富中等<sup>[11]</sup>抗性划分标准,并适度修改,具体如下:高抗(HR),  $DI \leq 15$ ;抗病(R),  $15 < DI \leq 30$ ;耐病(T),  $30 < DI \leq 45$ ;感病(S),  $45 < DI \leq 60$ ;高感(HS),  $DI > 60$ 。

**1.2.3 根结线虫病抗性鉴定** 采用根结线虫病圃鉴定法。2019-2021年秋季育苗,每年每份种质20株,定植于重庆南繁南鉴蔬菜示范基地根结线虫病圃,在第2年春季试验结束时将植株连根拔起,去除根系附着的泥沙,调查根系根结线虫病发生情况。根结分级参考张铭真<sup>[12]</sup>的标准。根据病情计算病情指数  $DI = \sum(\text{病级} \times \text{该病级株数}) / \text{调查株数}$ 。根据连续3年的调查结果,计算平均病情指数,参照余扣花<sup>[13]</sup>的抗性划分标准,并适度修改,具体

为:高抗(HR),  $DI \leq 1.0$ ;抗病(R),  $1.0 < DI \leq 2.0$ ;耐病(T),  $2.0 < DI \leq 3.0$ ;感病(S),  $3.0 < DI \leq 4.0$ ;高感(HS),  $DI > 4.0$ 。

**1.2.4 黄萎病抗性鉴定** 苗期抗病性鉴定参考马艳<sup>[14]</sup>的浸根接菌法,每份种质清水对照5株、浸菌处理15株。茄子黄萎病原菌(大丽轮枝菌(*Verticillium dahlia* Kleb.))由四川省农业科学院提供。病情分级及抗性划分参考肖蕴华等<sup>[15]</sup>的标准,并适度修改,具体为:高抗(HR),  $DI \leq 15$ ;抗病(R),  $15 < DI \leq 30$ ;耐病(T),  $30 < DI \leq 50$ ;感病(S),  $50 < DI \leq 70$ ;高感(HS),  $DI > 70$ 。

### 1.3 数据处理

分别对15个非连续变异性状进行分级和赋值(表2),参照李鸿雁<sup>[16]</sup>和万述伟等<sup>[17]</sup>的方法对4个连续变异性状进行10级分类,采用Microsoft Office Excel 2013软件进行数据统计及遗传变异系数、遗传多样性指数计算,应用DPS 18.05软件开展主成分分析和聚类分析。

表1 参试砧用茄子种质资源

Table 1 All tested eggplant germplasms for rootstock

编号 No.	中文名 Chinese name	学名 Scientific name	来源 Origin	编号 No.	中文名 Chinese name	学名 Scientific name	来源 Origin
1015#	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国陕西	Ng1-001	红茄	<i>S. integrifolium</i> Lam	中国甘肃
AC013	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国陕西	Ng1-002	红茄	<i>S. integrifolium</i> Lam	中国甘肃
BW10	长茄	<i>S. melongena</i> L.	中国台湾	Ng1-003	红茄	<i>S. integrifolium</i> Lam	中国甘肃
BW2	长茄	<i>S. melongena</i> L.	中国台湾	Ng1-004	红茄	<i>S. integrifolium</i> Lam	中国甘肃
BW21	长茄	<i>S. melongena</i> L.	中国台湾	Ng1-005	红茄	<i>S. integrifolium</i> Lam	中国甘肃
BW4	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国台湾	Ng1-006	红茄	<i>S. integrifolium</i> Lam	中国甘肃
BW6	长茄	<i>S. melongena</i> L.	中国台湾	Ng1-007	红茄	<i>S. integrifolium</i> Lam	中国甘肃
BW8	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国台湾	Ng1-008	长茄	<i>S. melongena</i> L.	中国广东
BW9	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国台湾	Ng1-009	红茄	<i>S. integrifolium</i> Lam	中国甘肃
LJ-1	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	日本	Ng1-010	云南野茄	<i>Solanum nivalo-montanum</i> C. Y. Wu et S. C. Huang	中国云南
LJ-11	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	日本	Ng1-011	红茄	<i>S. integrifolium</i> Lam	中国山东
LJ-12	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	日本	Ng1-012	红茄	<i>S. integrifolium</i> Lam	中国甘肃
LJ-13	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	日本	Ng1-013	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国广西
LJ-14	长茄	<i>S. melongena</i> L.	日本	Ng1-014	红茄	<i>S. integrifolium</i> Lam	中国山东
LJ-16	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	日本	Ng1-015	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国山东
LJ-18	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	日本	Ng1-016	长茄	<i>S. melongena</i> L.	中国台湾
LJ-19	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	日本	Ng1-017	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	日本
LJ-2	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	日本	Ng1-018	长茄	<i>S. melongena</i> L.	中国四川
LJ-5	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	日本	Ng1-020	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国台湾
LJ-6	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	日本	Ng1-023	云南野茄	<i>S. verbascifolium</i> L.	中国云南
LJ-7	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	日本	Ng1-024	云南野茄	<i>S. indicum</i> L. var. <i>indicum</i>	中国云南
LJ-8	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	日本	Ng1-027	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国四川
LJ-9	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	日本				

表 1 (续)

编号 No.	中文名 Chinese name	学名 Scientific name	来源 Origin	编号 No.	中文名 Chinese name	学名 Scientific name	来源 Origin
Ng1-028	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国四川	Ng1-049	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国广东
Ng1-036	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国广西	Ng1-050	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国北京
Ng1-037	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国广西	Ng1-051	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国广西
Ng1-038	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国广西	Ng1-052	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国广西
Ng1-039	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国广西	Ng1-053	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国北京
Ng1-041	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国广西	Ng1-054	长茄	<i>S. melongena</i> L.	中国重庆
Ng1-042	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国广西	Ng1-055	非洲野茄 1	<i>S. insanum</i> L.	坦桑尼亚
Ng1-043	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国广西	Ng1-056	非洲野茄 2	<i>S. insanum</i> L.	坦桑尼亚
Ng1-044	长茄	<i>S. melongena</i> L.	中国广西	Ng1-057	喀西茄	<i>S. khasianum</i> C. B. Clarke	中国云南
Ng1-045	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国广西	Ng1-058	茄砧 31	<i>S. integrifolium</i> Lam	中国广西
Ng1-046	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国北京	Ng1-059	水茄	<i>S. torvum</i> Swartz	中国云南
Ng1-047	长茄	<i>S. melongena</i> L.	中国广西	Ng1-060	蒜芥茄	<i>S. sisymbriifolium</i> Lam	中国云南
Ng1-048	圆茄	<i>S. melongena</i> L.	中国山东				

表 2 砧用茄子非连续变异性状分级和赋值

Table 2 Classification and assignment of discontinuous variability in eggplant for rootstock

性状 Trait	赋值 Assignment							
	1	2	3	4	5	6	7	8
主茎色 Main stem color	绿	浅紫	紫	深紫	—	—	—	—
茎茸毛 Stem hair	无	稀	密	—	—	—	—	—
叶形 Leaf shape	卵圆	长卵圆	—	—	—	—	—	—
叶色 Leaf color	黄绿	浅绿	绿	深绿	—	—	—	—
叶缘 Leaf margin	全缘	波状	锯齿	—	—	—	—	—
叶脉颜色 Leaf vein color	绿	浅紫	紫	—	—	—	—	—
叶刺 Leaf prickles	无	少	中	多	—	—	—	—
花冠色 Flower color	白	绿白	浅紫	紫	—	—	—	—
果色 Fruit color	白	白绿	绿	橘红	鲜紫	紫红	黑紫	—
果面斑纹 Fruit surface markings	无	细条	宽条	斑驳状	—	—	—	—
果面棱沟 Fruit surface furrow	无	轻	中	重	—	—	—	—
果顶形状 Fruit top shape	凹	平	凸	—	—	—	—	—
果形 Fruit shape	扁圆	圆球	高圆	卵圆	长卵	短筒	长筒	长羊角
果萼颜色 Fruit calyx color	绿	绿紫	紫	—	—	—	—	—
果萼刺 Fruit calyx prickles	无	少	中	极多	—	—	—	—

— : 未分布, 下同

— : Free, the same as below

## 2 结果与分析

### 2.1 主要植物学性状的遗传多样性分析

15 个非连续变异性状的多样性分析结果显示, 平均变异系数 45.00%, 平均遗传多样性指数为 0.944。其中, 变异系数以果面棱沟最高 (63.14%)、

叶形最低 (15.90%)。在遗传多样性指数方面, 果色的遗传多样性指数最高, 为 1.754; 叶形只有 7 份种质为卵圆, 故遗传多样性指数最低, 仅为 0.325。参试种质的主茎色以绿色为主, 占 67.14%。多数种质无叶刺, 有 61 份, 占 87.14%。多数种质无果面斑纹、无果面棱沟, 果萼颜色为绿色, 分别占 62.86%、

77.14% 和 90.00%。果形以卵圆和圆球为主, 仅 1 份为长卵、1 份为长羊角。总体来说, 遗传多样性指数排序依次是: 果色 > 果形 > 花冠色 > 果面斑纹 > 叶缘 > 主茎色 > 茎茸毛 > 叶色 > 果顶形状 > 果萼刺 > 叶脉颜色 > 果面棱沟 > 叶刺 > 果萼颜色 > 叶形 (表 3)。

4 个连续变异性状遗传多样性分析结果显示, 平均变异系数为 50.27%, 平均遗传多样性指数为

1.9465。其中, 主茎粗和果粗的遗传多样性最丰富, 多样性指数约为 2.008, 但主茎粗变异系数最小, 为 20.85%。单果重的变异系数最大, 为 73.05%, 多样性指数为 1.9371。果长的多样性最差, 指数为 1.8331。此外, 参试种质平均主茎粗 18.26 mm、果长 9.14 cm、果粗 6.12 cm、单果重 180.43 g。各性状遗传多样性指数排序为: 主茎粗 > 果粗 > 单果重 > 果长 (表 4)。

表 3 15 个非连续变异性状变异参数

Table 3 Variation parameters of 15 discontinuous variability traits

性状 Trait	频次 Ratio								变异系数 (%) CV	遗传多样性 指数 $H'$
	1	2	3	4	5	6	7	8		
主茎色 Main stem color	47	12	6	5	—	—	—	—	59.52	0.969
茎茸毛 Stem hair	12	41	17	—	—	—	—	—	31.10	0.959
叶形 Leaf shape	7	63	—	—	—	—	—	—	15.90	0.325
叶色 Leaf color	4	2	40	24	—	—	—	—	23.55	0.952
叶缘 Leaf margin	31	31	8	—	—	—	—	—	40.39	0.969
叶脉颜色 Leaf vein color	45	9	16	—	—	—	—	—	53.14	0.885
叶刺 Leaf prickles	61	5	1	3	—	—	—	—	55.73	0.504
花冠色 Flower color	29	1	25	15	—	—	—	—	51.86	1.124
果色 Fruit color	5	9	23	14	3	11	5	—	44.27	1.754
果面斑纹 Fruit surface markings	44	17	3	6	—	—	—	—	58.31	0.981
果面棱沟 Fruit surface furrow	54	6	5	5	—	—	—	—	63.14	0.788
果顶形状 Fruit top shape	32	31	7	—	—	—	—	—	40.18	0.949
果形 Fruit shape	11	17	6	24	1	7	3	1	52.71	1.699
果萼颜色 Fruit calyx color	63	4	3	—	—	—	—	—	40.21	0.393
果萼刺 Fruit calyx prickles	41	24	4	1	—	—	—	—	45.04	0.905
平均 Mean	—	—	—	—	—	—	—	—	45.00	0.944

表 4 4 个连续变异性状的变异参数

Table 4 Variation distribution of 4 continuous variability traits

性状 Trait	平均值 Mean	极小值 Min.	极大值 Max.	标准差 SD	变异系数 (%) CV	遗传多样性指数 $H'$
主茎粗 (mm) Main stem diameter	18.26	11.00	28.50	3.81	20.85	2.0083
果长 (cm) Fruit length	9.14	0.70	37.00	6.32	69.21	1.8331
果粗 (cm) Fruit diameter	6.12	1.00	10.50	2.32	37.97	2.0077
单果重 (g) Weight per fruit	180.43	0.60	450.00	131.80	73.05	1.9371
平均 Mean	—	—	—	—	50.27	1.9465

## 2.2 主要植物学性状的主成分分析

对 70 份砧用茄子种质的 19 个植物学性状进行主成分分析, 结果显示: 由图 1 特征根碎石图可以看出, 特征值大于 1 的主成分共有 7 个, 累计贡献率为 76.55% (表 5)。第 1 主成分中果长、单果重有较大的特征向量, 分别为 0.405 和 0.367, 可归纳为果实大小因子; 第 2 主成分中主茎色、果萼色、叶脉颜

色有较大的特征向量, 分别为 0.397、0.342 和 0.334, 可归纳为植株颜色因子; 第 3 主成分中果面棱沟有较大的特征向量, 为 0.496, 可归纳为果棱因子; 第 4 主成分中果萼刺、叶刺有较大的特征向量, 分别为 0.560 和 0.480, 可归纳为植株刺因子; 第 5 主成分中主茎粗有较大的特征向量, 为 0.597, 可归纳为茎粗因子; 第 6 主成分中果形有较大的特征向量, 为

0.478,可归纳为果形因子;第7主成分中果顶形状有较大的特征向量,为0.455,可归纳为果顶因子。7个主因子很好诠释了19个植物学性状在供试砧用茄子种质资源中变异的贡献。其中,第4主成分、第5主成分体现了砧木嫁接操作便利度和植株生长势情况,在利用砧用茄子种质培育砧木品种的过程中应重点关注这2个主因子的作用。同时,其他5个主成分可作为抗性转育、遗传改良、纯合鉴定过程的重要参考因子。

表5 前7个主成分的特征向量

Table 5 Eigenvectors of the first seven principal components

性状 Trait	主成分因子 Principal components factor						
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
主茎色 Main stem color	0.205	0.397	0.277	-0.083	-0.027	0.066	-0.105
茎茸毛 Stem hair	0.229	-0.007	-0.215	-0.285	0.224	-0.353	0.039
叶形 Leaf shape	0.138	-0.053	0.128	-0.211	0.441	0.161	0.265
叶色 Leaf color	0.072	0.278	-0.268	-0.198	-0.066	-0.020	-0.466
叶缘 Leaf margin	-0.167	0.247	0.151	0.051	-0.137	0.249	0.333
叶脉颜色 Leaf vein color	0.292	0.334	0.247	-0.067	-0.059	-0.100	-0.052
叶刺 Leaf prickles	-0.190	0.307	-0.079	0.480	0.055	0.160	-0.062
花冠色 Flower color	0.334	0.170	-0.133	0.058	-0.058	-0.164	0.196
果色 Fruit color	0.278	0.144	0.290	0.208	0.165	-0.145	-0.265
果面斑纹 Fruit surface markings	-0.124	0.222	-0.239	-0.011	-0.263	-0.453	0.268
果面棱沟 Fruit surface furrow	-0.192	-0.047	0.496	-0.011	-0.074	0.144	0.004
果顶形状 Fruit top shape	0.038	0.141	-0.218	-0.027	0.438	0.196	0.455
果形 Fruit shape	0.300	-0.051	-0.301	-0.034	-0.087	0.478	-0.142
果萼颜色 Fruit calyx color	0.119	0.342	0.222	-0.288	0.044	0.043	0.137
果萼刺 Fruit calyx prickles	0.028	0.278	-0.164	0.560	0.197	-0.064	0.038
单果重 Weight per fruit	0.367	-0.245	0.104	0.290	-0.020	-0.083	0.107
主茎粗 Main stem diameter	-0.153	-0.090	0.068	0.056	0.597	-0.143	-0.333
果长 Fruit length	0.405	-0.139	-0.115	0.100	-0.122	0.328	-0.041
果粗 Fruit diameter	0.251	-0.299	0.226	0.221	-0.093	-0.255	0.178
贡献率 (%) Percentage	21.408	14.680	12.884	7.883	7.345	6.277	6.072
累计贡献率 (%) Cumulative rate	21.408	36.088	48.972	56.854	64.199	70.476	76.547

### 2.3 主要植物学性状的聚类分析

基于19个植物学性状的聚类分析表明,参试种质可分为3个类群(图2、表6)。其中,第I类群共包含22份种质,全是栽培种,主茎色多带紫色,平均主茎粗17.35 mm,叶缘多全缘,叶脉颜色多带紫色,多数无叶刺,花冠色多浅紫,果形多卵圆形、果色多带紫色、果面多无棱沟,果实在3个类群中最大,平均果长14.64 cm、果粗7.48 cm、单果重309.37 g。

第II类群共包含24份种质,其中,栽培种4份,野生近缘种20份,主茎色多绿色,主茎粗在3个类群中最高,平均为20.42 mm,叶缘锯齿的8份资源全归为此类,叶脉颜色多绿色,多数无叶刺,花冠色

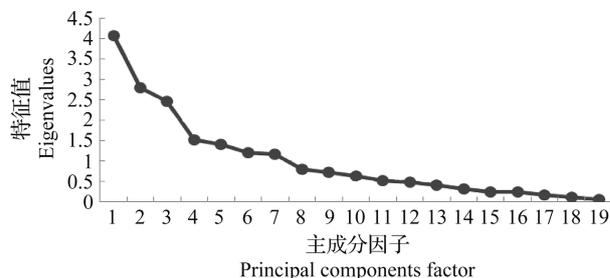


图1 特征根碎石图

Fig. 1 Scree plot of eigenvalues

多白色,果形多为扁圆、果色多为橘红色、果面多有棱沟,果实在3个类群中最小,平均果长3.79 cm、果粗4.60 cm、单果重73.38 g。

第III类群包含24份种质,全是栽培种,主茎色为绿色,主茎粗在3个类群中最低,平均为16.94 mm,叶缘多波状,叶脉颜色多绿色,多数无叶刺,花冠色多浅紫,果形多卵圆形、果色多为绿色、果面无棱沟,平均果长9.44 cm、果粗6.40 cm、单果重169.28 g。

从聚类分析结果可知,同类群种质的植物学性状较多相似,在利用抗源种质改良和创制优质、多抗砧木材料时,可优先选择同类群的种质进行转育,从而减少纯化多种植物学性状的时间,缩短育种进程。

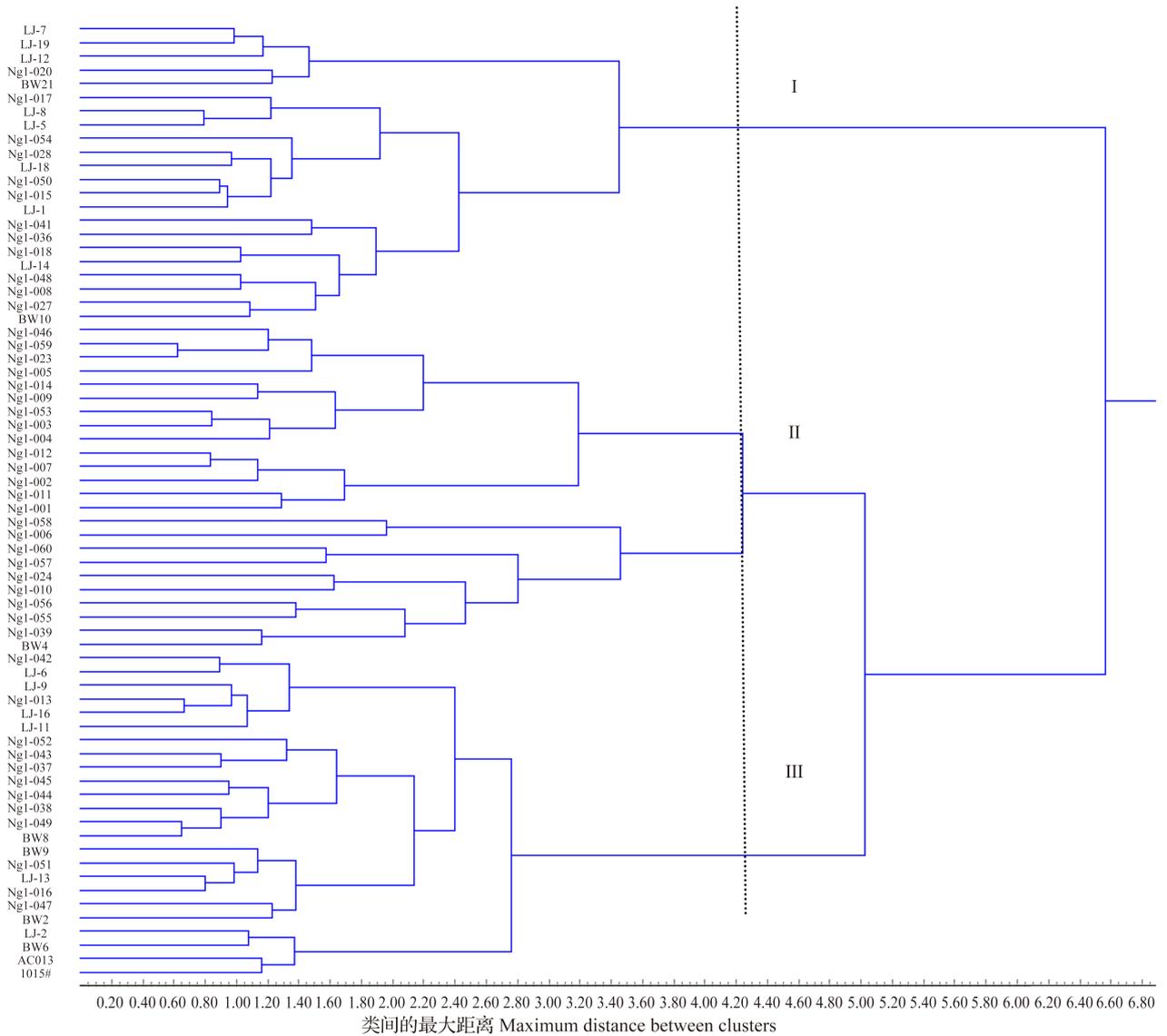


图 2 70 份砧用茄子基于植物学性状的系统聚类图

Fig. 2 Systematic cluster diagram based on botanical traits of the 70 eggplant for rootstock

表 6 各类群部分性状主要表现

Table 6 Average expression of part of the characters of the groups

类群 Group	主茎色 Main stem color	主茎粗 (mm) Main stem diameter	叶缘 Leaf margin	叶脉色 Leaf vein color	叶刺 Leaf prickles	花冠色 Flower color
I	浅紫	17.35	全缘	紫色	无	浅紫
II	绿色	20.42	全缘	绿色	无	白色
III	绿色	16.94	波状	绿色	无	浅紫

类群 Group	果形 Fruit shape	果色 Fruit color	果面棱沟 Fruit surface furrow	果长 (cm) Fruit length	果粗 (cm) Fruit diameter	单果重 (g) Weight per fruit
I	卵圆	紫红	无	14.64	7.48	309.37
II	扁圆	橘红	有	3.79	4.60	73.38
III	卵圆	绿色	无	9.44	6.40	169.28

## 2.4 抗性性状分析

**2.4.1 各类抗性种质的筛选** 根据70份参试砧用茄子种质对3种土传性病害的抗性鉴定结果(表7),得到各种质对3种病害的抗性级别并对其数量分布进行分析(图3)。结果表明,参试种质对青枯病表现出抗性的最多,共有37份抗性种质,其中,高抗种质22份、抗病种质15份;从种质类型来看,栽培种33份,野生近缘种4份,其中高抗青枯病的栽培种种质21份。其次,参试种质对根结线虫病

表现出抗性的共有37份,其中,高抗种质11份、抗病种质26份;从种质类型来看,栽培种27份,野生近缘种10份,其中高抗根结线虫病的栽培种种质7份。此外,参试种质对黄萎病表现出抗性的最少,仅有高抗种质7份、抗病种质9份;从种质类型来看,栽培种4份,野生近缘种12份,其中高抗黄萎病的种质全是野生近缘种。由以上结果可知,栽培种中存在较多对青枯病表现抗性的种质,而对黄萎病表现抗性的则主要在野生近缘种中。

表7 70份砧用茄子种质对3种土传性病害的抗性评价

Table 7 Evaluation of 3 soil-borne disease resistance of 70 eggplant for rootstock

序号 Serial No.	资源编号 Resource No.	青枯病 Bacterial wilt		根结线虫 Root-knot nematode		黄萎病 <i>Verticillium</i> wilt	
		病情指数 Disease index	抗性级别 Resistance grade	病情指数 Disease index	抗性级别 Resistance grade	病情指数 Disease index	抗性级别 Resistance grade
1	BW2	3.50	HR	1.59	R	53.33	S
2	Ng1-020	3.85	HR	2.74	T	60.00	S
3	LJ-8	4.55	HR	2.27	T	69.33	S
4	BW8	5.26	HR	1.92	R	41.33	T
5	LJ-16	5.56	HR	2.47	T	58.67	S
6	LJ-7	5.88	HR	0.82	HR	40.00	T
7	LJ-5	5.88	HR	2.42	T	54.67	S
8	Ng1-008	6.75	HR	1.50	R	28.00	R
9	Ng1-011	7.41	HR	2.62	T	46.67	T
10	LJ-2	7.65	HR	1.43	R	49.33	T
11	Ng1-017	9.50	HR	2.32	T	40.00	T
12	AC013	10.25	HR	1.43	R	54.29	S
13	LJ-6	10.53	HR	1.25	R	24.00	R
14	LJ-12	11.11	HR	3.55	S	77.14	HS
15	BW9	11.43	HR	0.89	HR	34.67	T
16	LJ-18	11.50	HR	1.70	R	88.57	HS
17	Ng1-013	12.14	HR	1.28	R	32.00	T
18	LJ-14	12.14	HR	1.57	R	46.67	T
19	Ng1-052	12.50	HR	0.71	HR	54.67	S
20	LJ-11	13.67	HR	1.97	R	34.67	T
21	LJ-1	14.74	HR	1.07	R	37.33	T
22	LJ-19	14.74	HR	1.36	R	54.67	S
23	LJ-13	15.50	R	2.74	T	60.00	S
24	Ng1-001	15.58	R	1.25	R	29.33	R
25	BW6	16.50	R	1.30	R	32.00	T
26	Ng1-027	17.25	R	2.86	T	58.67	S
27	Ng1-015	18.50	R	0.84	HR	46.15	T
28	Ng1-047	18.50	R	3.31	S	33.33	T
29	Ng1-060	18.52	R	0.35	HR	6.67	HR
30	Ng1-028	23.50	R	2.18	T	41.33	T

表 7(续)

序号 Serial No.	资源编号 Resource No.	青枯病 Bacterial wilt		根结线虫 Root-knot nematode		黄萎病 <i>Verticillium</i> wilt	
		病情指数 Disease index	抗性级别 Resistance grade	病情指数 Disease index	抗性级别 Resistance grade	病情指数 Disease index	抗性级别 Resistance grade
31	Ng1-016	25.35	R	3.28	S	65.71	S
32	Ng1-055	25.85	R	1.41	R	38.67	T
33	Ng1-049	26.25	R	1.23	R	48.00	T
34	1015#	26.84	R	2.38	T	64.00	S
35	BW4	28.57	R	1.78	R	35.71	T
36	BW21	29.25	R	2.93	T	41.54	T
37	Ng1-037	29.41	R	1.25	R	47.14	T
38	LJ-9	33.33	T	1.97	R	18.67	R
39	BW10	36.25	T	1.38	R	47.14	T
40	Ng1-054	38.33	T	0.69	HR	60.00	S
41	Ng1-045	38.89	T	1.84	R	64.00	S
42	Ng1-056	43.26	T	4.22	HS	33.33	T
43	Ng1-023	43.52	T	3.57	S	0	HR
44	Ng1-012	46.20	S	2.46	T	13.33	HR
45	Ng1-003	50.50	S	0.91	HR	7.69	HR
46	Ng1-048	50.50	S	2.01	T	36.00	T
47	Ng1-024	50.50	S	4.00	S	27.14	R
48	Ng1-046	50.58	S	3.64	S	20.00	R
49	Ng1-005	50.94	S	3.30	S	27.14	R
50	Ng1-043	52.75	S	2.57	T	50.00	T
51	Ng1-059	52.90	S	0.00	HR	5.71	HR
52	Ng1-010	54.53	S	1.21	R	77.33	HS
53	Ng1-007	56.15	S	2.52	T	26.67	R
54	Ng1-014	56.67	S	1.43	R	2.67	HR
55	Ng1-018	58.33	S	0.98	HR	48.57	T
56	Ng1-042	58.38	S	2.90	T	45.33	T
57	Ng1-006	61.43	HS	1.66	R	45.71	T
58	Ng1-051	63.16	HS	4.67	HS	76.00	HS
59	Ng1-036	63.22	HS	2.31	T	65.71	S
60	Ng1-004	70.48	HS	2.49	T	44.29	T
61	Ng1-039	71.15	HS	0.84	HR	75.00	HS
62	Ng1-038	71.45	HS	2.38	T	44.00	T
63	Ng1-044	74.75	HS	2.29	T	50.67	S
64	Ng1-009	74.75	HS	2.94	T	47.14	T
65	Ng1-002	75.36	HS	1.35	R	50.67	S
66	Ng1-050	83.33	HS	2.60	T	69.33	S
67	Ng1-041	86.26	HS	1.92	R	52.00	S
68	Ng1-058	89.74	HS	3.17	S	16.00	R
69	Ng1-057	100.00	HS	0.90	HR	10.77	HR
70	Ng1-053	100.00	HS	3.00	S	74.67	HS

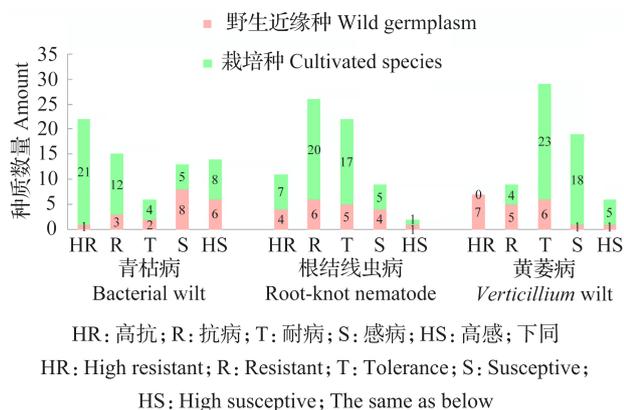


图3 各抗性级别参试种质数量分布图

Fig. 3 Distribution of resistance grade of tested eggplant for rootstock

**2.4.2 综合抗性种质的筛选** 以单一抗性种质资源为基础,进一步对供试砧用茄子种质进行综合抗性

表8 综合抗病砧用种质资源

Table 8 Comprehensive disease-resistant of eggplant germplasm for rootstock

抗病情况 Disease resistance	种质资源编号 Resource No.	
	栽培种 Cultivated species	野生近缘种 Wild germplasm
青枯 / 根结线虫 (HR/HR)	BW9、LJ-7、Ng1-052	—
青枯 / 根结线虫 (HR/R)	AC013、BW2、BW8、LJ-1、LJ-11、LJ-14、LJ-18、LJ-19、LJ-2、LJ-6、Ng1-008、Ng1-013	—
青枯 / 根结线虫 (R/HR)	Ng1-015	Ng1-060 (蒜芥茄)
青枯 / 根结线虫 (R/R)	BW4、BW6、Ng1-037、Ng1-049	Ng1-001、Ng1-055 (非洲野茄1)
青枯 / 根结线虫 / 黄萎 (R/HR/HR)	—	Ng1-060 (蒜芥茄)
青枯 / 根结线虫 / 黄萎 (HR/R/R)	LJ-6、Ng1-008	—
青枯 / 根结线虫 / 黄萎 (R/R/R)	—	Ng1-001
根结线虫 / 黄萎 (HR/HR)	—	Ng1-003、Ng1-057 (喀西茄)、Ng1-059 (水茄)、Ng1-060 (蒜芥茄)
根结线虫 / 黄萎 (R/HR)	—	Ng1-014
根结线虫 / 黄萎 (R/R)	LJ-6、LJ-9、Ng1-008	Ng1-001

## 2.5 综合优质种质的筛选

茄子砧木不仅要求抗多种土传性病害,同时要求植株生长旺盛、便于嫁接操作等。在筛选的4份兼抗3种土传性病害种质中:蒜芥茄叶刺多不利于嫁接操作;栽培种LJ-6、Ng1-008的主茎粗(分别为16.2 mm、15.1 mm)低于参试种质的平均水平,生长势较弱,不利于接穗生长;Ng1-001无叶刺、主茎粗22 mm,生长势及综合抗性较好,但该种质是野生近缘种,与栽培茄的嫁接亲和性还有待进一步研究。在兼抗2种土传性病害的种质中,栽培种LJ-18、Ng1-015和Ng1-013无叶刺、主茎粗大于20 mm,植株生长旺盛,可作为选育优质、多抗砧木品种的重点种质。

种质筛选(表8),结果表明:在抗青枯病的37份种质中,兼抗根结线虫病的种质有23份,其中,对青枯病和根结线虫病均达到高抗水平的种质有3份(BW9、LJ-7和Ng1-052),全是栽培种;此外,还兼抗黄萎病的种质有4份,以野生近缘种蒜芥茄的综合抗性最强,表现为抗青枯病、高抗根结线虫病和黄萎病;其次,2份栽培种(LJ-6和Ng1-008)高抗青枯病、抗根结线虫病和黄萎病;野生近缘种Ng1-001对3种病害均表现为抗病。此外,兼抗根结线虫病和黄萎病的种质有9份,包括栽培种3份、野生近缘种6份;其中,对根结线虫病和黄萎病均达高抗水平的种质有4份(Ng1-003、喀西茄、蒜芥茄和水茄),全是野生近缘种。在抗性种质的改良中,应多选择高抗种质作抗源,并结合目标种质的抗性进行精准选择,以提高目标种质对各类病害的抗性。

## 3 讨论

作物表型性状具有直观、易识别的特点,对表型的分析是种质鉴定评价等研究最基本的方法和最直接的途径<sup>[18]</sup>。本研究基于19个植物学性状对70份砧用茄子种质资源进行了遗传多样性分析,19个植物学性状的变异系数介于15.90%~73.05%,平均46.11%,高于黄月琴等<sup>[19]</sup>报道的8.2%~62.3%和32.7%,遗传多样性指数介于0.325~2.008之间,平均1.155,与廖秋石<sup>[20]</sup>报道的0.474~2.059和1.29相当,表明供试砧用茄子种质表型多态性高、遗传变异较丰富。其中,连续变异性状遗传多样性指数均

值为 1.947, 明显高于非连续变异性状的 0.944, 与张鸿燕等<sup>[21]</sup>的研究结果一致。茄子主茎粗为数量性状, 与植株生长势密切相关。本研究中, 主茎粗的遗传多样性指数在 19 个植物学性状中最高, 为 2.0083, 有利于通过人工定向选择培育生长势强的品种。

主成分分析和聚类分析是遗传多样性分析中普遍应用的方法之一<sup>[22]</sup>。本研究中, 主成分分析将 19 个植物学性状归结为 7 个主因子, 即果实大小、植株颜色、果棱、植株刺、茎粗、果形和果顶因子, 7 个主因子累计贡献率达 76.55%, 很好诠释了 19 个植物学性状在供试砧用茄子种质中变异的贡献。上述 7 个主因子中果实形态特征占主要成分, 与齐东霞等<sup>[23]</sup>、吴丽艳等<sup>[24]</sup>研究结果一致, 在砧用茄子种质的抗性转育、遗传改良及纯合鉴定中应注重果实形态的指标。此外, 主因子还包括茎粗、植株刺等方面, 反映了砧用茄子的嫁接适宜性指标。聚类分析将 70 份砧用茄子种质聚为 3 个类群。其中, 第 II 类群主茎粗最大、果实最小, 果面多有棱沟, 野生近缘种全聚在此类; 第 I 类群和第 III 类群全是栽培种, 但主茎色、叶缘、果色、果实大小等均差异明显。从聚类结果看, 既保持了传统上以果实性状作为重要依据的基础, 也发生了性状相互交替聚类的现象, 与前人研究结果一致<sup>[23, 25]</sup>。

对种质资源进行抗性鉴定是选育抗病品种的前提<sup>[26]</sup>, 高抗或多抗种质资源是培育抗病砧木品种的基础。本研究鉴定出高抗青枯病种质 22 份、高抗根结线虫病种质 11 份、高抗黄萎病种质 7 份。其中, 高抗青枯病的种质最多, 占供试种质 31.43%, 且在三个类群均有分布(第 I 类群 11 份、第 II 类群 1 份、第 III 类群 10 份); 同时, 高抗根结线虫病的种质也在 3 个类群中均有分布, 其中第 I 类群 4 份、第 II 类群 5 份、第 III 类群 2 份; 这些种质可直接作为抗源在育种中利用, 以改良各类群种质的综合抗病性。高抗黄萎病的种质最少, 且全是野生近缘种, 与吴丽艳等<sup>[27]</sup>、郭堂勋等<sup>[28]</sup>研究结果一致, 只能通过种间杂交、渐渗回交或生物技术手段加以利用。本研究中, 参试种质的抗病性鉴定受病原菌来源、鉴定地点、鉴定方法等因素影响, 筛选出的抗性种质较多, 应进一步收集多种病原菌, 并在多地进行联合抗性鉴定, 从而筛选出生产上可用的高抗、多抗种质, 为茄子砧木育种提供可靠抗源。

综上所述, 本研究中参试砧用茄子种质遗传变异较丰富, 主成分分析为砧用茄子种质改良过程提

供重点参考因子, 聚类分析为砧用茄子种质改良的抗源选择提供指引, 抗病性鉴定筛选出高抗或多抗的抗源种质, 为进一步筛选、改良及培育多抗砧木品种提供理论和实践指导。

#### 参考文献

- [1] 邹敏, 王永清, 杨洋, 陶涛, 周珊珊, 田时炳. 不同砧木嫁接对茄子生长、品质及青枯病抗性的影响. 中国蔬菜, 2019(9): 50-54  
Zou M, Wang Y Q, Yang Y, Tao T, Zhou S S, Tian S B. Effects of different grafted rootstocks on eggplant growth, quality and resistance to bacterial wilt. China Vegetables, 2019(9): 50-54
- [2] 潘绍坤, 杜晓云, 屈小江. 我国嫁接技术防治茄子土传病害的研究进展. 长江蔬菜, 2008(14): 13-15  
Pan S K, Du X Y, Qu X J. Progress of grafting to preventing soil-diseases in eggplant in China. Journal of Changjiang Vegetables, 2008(14): 13-15
- [3] Collonnier C, Fock I, Mariska I, Servaes A, Vedel F, Siljak-Yakovlev S, Souvannavong V, Sihachakr D. GISH confirmation of somatic hybrids between *Solanum melongena* and *S. torvum*: Assessment of resistance to both fungal and bacterial wilts. Plant Physiology and Biochemistry, 2003, 41(5): 459-470
- [4] Gousset C, Collonnier C, Mulya K, Mariska I, Rotino G L, Besse P, Servaes A, Sihachakr D. *Solanum torvum*, as a useful source of resistance against bacterial and fungal diseases for improvement of eggplant (*S. melongena* L.). Plant Science, 2005, 168(2): 319-327
- [5] 吴雪霞, 查丁石. 茄子嫁接栽培研究进展. 江西农业学报, 2009, 21(10): 77-80  
Wu X X, Zha D S. Research advance in cultivation of eggplant by grafting. Acta Agriculturae Jiangxi, 2009, 21(10): 77-80
- [6] 李楠洋, 陈钰辉, 刘富中, 张映, 连勇. 托鲁巴姆 (*Solanum torvum* Sw.) 在茄子嫁接栽培上的应用研究. 中国蔬菜, 2013(10): 1-8  
Li N Y, Chen Y H, Liu F Z, Zhang Y, Lian Y. Studies on applying *Solanum torvum* Sw. in eggplant graft. China Vegetables, 2013(10): 1-8
- [7] 罗宏伟, 张英樊, 戴耀, 马华彬, 陈乾松, 王沛政. 三亚托鲁巴姆茄子嫁接苗植株病原菌分子鉴定及室内药效测定. 海南热带海洋学院学报, 2018, 25(2): 84-88  
Luo H W, Zhang Y F, Dai Y, Ma H B, Chen Q S, Wang P Z. Molecular identification and efficacy of different fungicides by laboratory screening on the pathogens in toru bam eggplant grafted seedlings in Sanya. Journal of Hainan Tropical Ocean University, 2018, 25(2): 84-88
- [8] 蔡鹏, 秦鱼生, 李跃建, 刘独臣, 刘小俊, 梁根云, 雷晓葵, 房超. 嫁接茄子叶片黄化及施镁效应研究初探. 西南农业学报, 2020, 33(1): 121-125  
Cai P, Qin Y S, Li Y J, Liu D C, Liu X J, Liang G Y, Lei X K, Fang C. Effect of magnesium on leaf chlorosis of grafted eggplant. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(1): 121-125
- [9] 李锡香, 朱德蔚. 茄子种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006  
Li X X, Zhu D W. Descriptors and data standard for eggplant

- (*Solanum melongena* L.). Beijing: China Agriculture Press, 2006
- [10] 王永清, 田时炳, 陈义康, 罗章勇, 皮伟, 洪云菊. 茄子抗青枯病材料的抗性鉴定及应用价值探讨. 西南农业学报, 2002 (2): 126-128  
Wang Y Q, Tian S B, Chen Y K, Luo Z Y, Pi W, Hong Y J. The evaluation of the resistance to bacterial wilt and the possible utilization in eggplant. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2002 (2): 126-128
- [11] 刘富中, 连勇, 冯东昕, 宋燕, 陈玉辉. 茄子种质资源抗青枯病的鉴定与评价. 植物遗传资源学报, 2005, 6(4): 381-385  
Liu F Z, Lian Y, Feng D X, Song Y, Chen J H. Identification and evaluation of resistance to bacterial wilt in eggplant germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2005, 6(4): 381-385
- [12] 张铭真. 烟草根结线虫病抗性关联分析. 郑州: 河南农业大学, 2017  
Zhang M Z. Association mapping of root knot nematode resistance traits in tobacco. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2017
- [13] 余扣花. 茄属种质资源亲缘关系分析与嫁接番茄的研究. 南宁: 广西大学, 2017  
Yu K H. Study on the relationship among in plants of *Solanum* L. and the grafted tomato. Nanning: Guangxi University, 2017
- [14] 马艳. 茄子黄萎病抗性鉴定与 SSR 标记的关联分析. 扬州: 扬州大学, 2016  
Ma Y. Association correlation analysis between identification of *Verticillium* wilt resistance and SSR markers in eggplant. Yangzhou: Yangzhou University, 2016
- [15] 肖蕴华, 林枯青. 茄子种质资源黄萎病抗性鉴定. 中国蔬菜, 1995(1): 32-33  
Xiao Y H, Lin K Q. Identification of *Verticillium* wilt resistance of eggplant germplasm resources. China Vegetables, 1995(1): 32-33
- [16] 李鸿雁. 扁蓊豆种质资源遗传多样性的研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008  
Li H Y. Genetic diversity research of germplasm resources in *Medicago Ruthenica*. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2008
- [17] 万述伟, 宋凤景, 郝俊杰, 张晓艳, 李红卫, 邵阳, 赵爱鸿. 271 份豌豆种质资源农艺性状遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2017, 18(1): 10-18  
Wan S W, Song F J, Hao J J, Zhang X Y, Li H W, Shao Y, Zhao A H. Genetic diversity of agronomic traits in 271 pea germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(1): 10-18
- [18] Pigliucci M, Murren C J, Schlichting C D. Phenotypic plasticity and evolution by genetic assimilation. Journal of Experimental Biology, 2006, 209(12): 2362-2367
- [19] 黄月琴, 方荣, 陈学军, 周坤华, 袁欣捷, 雷刚. 茄子种质资源表型性状分析与遗传多样性评价. 热带作物学报, 2021, 42(7): 1896-1904  
Huang Y Q, Fang R, Chen X J, Zhou K H, Yuan X J, Lei G. Analysis of phenotypic traits and evaluation genetic diversity of eggplant germplasm resources. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(7): 1896-1904
- [20] 廖秋石. 茄属种质资源表型性状评价及遗传多样性 SSR 分析. 南昌: 江西农业大学, 2020  
Liao Q S. Phenotypic character evaluation and SSR genetic diversity analysis of *Solanum* germplasm resources. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2020
- [21] 张鸿燕, 方荣, 陈学军, 周坤华, 袁欣捷, 雷刚, 黄月琴. 茄子种质表型性状鉴定与黄萎病抗性评价. 核农学报, 2020, 34(8): 1645-1654  
Zhang H Y, Fang R, Chen X J, Zhou K H, Yuan X J, Lei G, Huang Y Q. Identification of phenotypic traits and *Verticillium* wilt resistance of eggplant germplasm resources. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2020, 34(8): 1645-1654
- [22] Martynov S P, Dobrotvorskaya T V. Genealogical analysis of diversity of Russian winter wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). Genetic Resources & Crop Evolution, 2006, 53: 379-386
- [23] 齐东霞, 张映, 刘富中, A.Artemyeva, I.Gashkova. 中俄茄子种质资源遗传多样性研究. 植物遗传资源学报, 2017, 18(3): 404-412  
Qi D X, Zhang Y, Liu F Z, Artemyeva A, Gashkova I. Genetic diversity among Chinese and Russian eggplant (*Solanum melongena*) germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(3): 404-412
- [24] 吴丽艳, 杜光辉, 鲍锐, 黎志彬, 龚亚菊. 云南野生茄资源的分类和遗传多样性研究. 热带作物学报, 2018, 39(6): 1075-1080  
Wu L Y, Du G H, Bao R, Li Z B, Gong Y J. Classification and genetic diversity of wild eggplant resources in Yunnan. Chinese Journal of Tropical Crops, 2018, 39(6): 1075-1080
- [25] 张念, 王志敏, 于晓虎, 丁泽琴, 汤青林, 田时炳, 王永清, 杨洋, 宋明. 茄子种质资源遗传多样性的形态标记分析. 中国蔬菜, 2013(14): 46-52  
Zhang N, Wang Z M, Yu X H, Ding Z Q, Tang Q L, Tian S B, Wang Y Q, Yang Y, Song M. Analysis of genetic diversity morphological marker in eggplant germplasm resources. China Vegetables, 2013(14): 46-52
- [26] 陈柳宏, 赵春雷, 王希, 李彦丽, 丁广洲, 陈丽. 我国东北地区 205 份主要甜菜种质资源的鉴定与评价分析. 植物遗传资源学报, 2022, 23(1): 92-105  
Chen L H, Zhao C L, Wang X, Li Y L, Ding G Z, Chen L. Insights of major traits phenotypic variation in sugar beet and disease-resistant evaluation in northeast China. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(1): 92-105
- [27] 吴丽艳, 郭志祥, 曾莉, 鲍锐, 黎志彬, 龚亚菊. 云南野生茄资源黄萎病苗期人工接种抗性鉴定分析. 植物遗传资源学报, 2017, 18(6): 1046-1054  
Wu L Y, Guo Z X, Zeng L, Bao R, Li Z B, Gong Y J. Resistance identification of Yunnan wild eggplant resources to *Verticillium* wilt. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(6): 1046-1054
- [28] 郭莹莹, 王益奎, 莫贱友, 王艳娜, 黄穗萍, 李其利, 唐利华. 茄子品种资源对黄萎病的抗性鉴定. 南方农业学报, 2015, 46(11): 1975-1979  
Guo T X, Wang Y K, Mo J Y, Wang Y N, Huang S P, Li Q L, Tang L H. Resistance identification of eggplant variety resources to *Verticillium* wilt. Journal of Southern Agriculture, 2015, 46(11): 1975-1979