

谢雪果, 彭晓云, 李云驹, 等. 115 份设施番茄表型性状遗传多样性分析[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(8): 1361-1370.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2024.08.001

## 115 份设施番茄表型性状遗传多样性分析

谢雪果<sup>1</sup>, 彭晓云<sup>1</sup>, 李云驹<sup>1</sup>, 张白鸽<sup>2</sup>, 汤俊瑜<sup>1</sup>, 施延达<sup>3</sup>, 冯元姣<sup>1</sup>, 常静静<sup>2</sup>,  
许玲<sup>4</sup>, 于冬冬<sup>1</sup>

(1. 云南智农高技术有限公司, 云南 昆明 650600; 2. 广东省农业科学院蔬菜研究所/广东省蔬菜新技术研究重点实验室, 广东 广州 510640; 3. 云南云天化现代农业发展有限公司, 云南 昆明 650600; 4. 昆明市晋宁区农业特色产业服务中心, 云南 昆明 650600)

**摘要:** 种质资源是新品种选育的根本。为筛选适宜云南省设施栽培的、农艺性状优良的番茄种质, 本研究引进 115 份番茄种质, 对其质量性状和数量性状进行了调查, 并利用主成分分析、相关性分析和聚类分析对种质资源的遗传多样性和特征规律进行研究。本研究筛选了 9 份极易感病的番茄种质, 余下的 106 份中筛选出 86 份抗病种质; 106 份番茄种质均为蔓生型, 其果实形状及颜色比较丰富, 共有 3 种果型、7 种果色; 植株长势整齐度高的种质共计 15 份, 无裂果及裂果程度中等的种质共计 35 份。其中, 番茄种质的心室数、单果重、首花序节位性状的变异幅度较大。相关性分析结果表明, 株高与可溶性固形物含量、转色总台数、坐果总台数和总台数呈极显著正相关, 与单果重和单株产量呈极显著负相关; 茎粗与单花序坐果数、可溶性固形物含量、转色总台数、坐果总台数和总台数呈极显著正相关, 与单果重和单株产量呈极显著负相关。聚类分析将番茄种质分为 3 个类群 6 个亚群, 筛选出平均可溶性固形物含量高、平均单花序坐果数多和平均坐果总台数多的番茄种质共计 47 份; 平均单株产量大于 5.00 kg 的番茄种质 23 份; 平均单果重大于 200.00 g 的番茄种质 9 份。分析结果表明, 番茄首花序节位越高坐果总台数越少; 单果重越大, 可溶性固形物含量越低, 单株产量越高, 单花序坐果数越少。果实横径、果梗洼大小、单果重、果实纵径和果肉厚度可作为评价设施番茄种质的主要因子。

**关键词:** 设施番茄; 变异系数; 主成分分析; 相关性分析; 聚类分析

**中图分类号:** S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2024)08-1361-10

## Genetic diversity analysis of phenotypic traits in 115 facility tomatoes

XIE Xueguo<sup>1</sup>, PENG Xiaoyun<sup>1</sup>, LI Yunju<sup>1</sup>, ZHANG Baige<sup>2</sup>, TANG Junyu<sup>1</sup>, SHI Yanda<sup>3</sup>,  
FENG Yuanjiao<sup>1</sup>, CHANG Jingjing<sup>2</sup>, XU Ling<sup>4</sup>, YU Dongdong<sup>1</sup>

(1. Yunnan Zhinong High-tech Co., Ltd., Kunming 650600, China; 2. Guangdong Key Laboratory for New Technology Research of Vegetables/Vegetable Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China; 3. Yunnan Yuntianhua Modern Agriculture Development Co., Ltd., Kunming 650600, China; 4. Jinning District Agricultural Characteristic Industry Service Center, Kunming 650600, China)

**Abstract:** Germplasm resources are fundamental to the breeding of new varieties. In order to screen the tomato germplasm suitable for facility cultivation in Yunnan province, 115 tomato germplasm materials were introduced, and their quality traits and

收稿日期: 2023-12-04

基金项目: 云南现代农业绿色关键技术创新与平台建设项目 (202102AE090053); 创新引导与科技型企业培育计划 “乡村振兴科技专项-带动型科技特派员”项目 (202204BL091110)

作者简介: 谢雪果 (1997-), 女, 云南大理人, 硕士, 主要研究方向为蔬菜栽培技术。(E-mail) 1979411935@qq.com

通讯作者: 于冬冬, (E-mail) 1047800102@qq.com

quantitative traits were investigated. The genetic diversity and characteristics of germplasm resources were studied by principal component analysis, correlation analysis and cluster analysis. In this study, a total of nine highly susceptible tomato germplasm materials were screened out, and 86 resistant germplasm materials were screened out from the remaining 106 germplasm materials. The 106 tomato germplasm materials were creeping, and the fruit shape and color were relatively rich. There were three

fruit types and seven fruit colors. There were 15 germplasm materials with high homogeneity, and 35 germplasm materials with no fruit cracking and medium fruit cracking. The variation of ventricular number, single fruit weight and first inflorescence segment of tomato germplasm was larger. The results of correlation analysis showed that plant height was significantly positively correlated with soluble solids content, total number of veraison, total number of fruit setting and total number of units, and significantly negatively correlated with single fruit weight and yield per plant. Stem diameter was significantly positively correlated with fruit number per inflorescence, soluble solids content, total number of veraison, total number of fruit setting and total number of units, and was significantly negatively correlated with single fruit weight and yield per plant. Through cluster analysis, tomato germplasm materials were divided into three groups and six subgroups. A total of 47 tomato germplasm materials with high average soluble solids content, average fruit number per inflorescence and average total fruit number were selected. There were 23 tomato germplasm materials with an average yield per plant greater than 5.00 kg, and nine tomato germplasm materials with an average single fruit weight greater than 200.00 g. The results showed that the higher the first inflorescence node of tomato, the less the total number of fruit setting. The larger the single fruit weight, the lower the soluble solids content, the higher the yield per plant, and the less the fruit number per inflorescence. Fruit transverse diameter, peduncle size, single fruit weight, fruit longitudinal diameter and pulp thickness could be used as the main factors to evaluate the germplasm of tomato in the facility.

**Key words:** facility tomatoes; coefficient of variation; principal component analysis; correlation analysis; cluster analysis

设施农业可根据作物的生长和发育需求设定适宜的环境因子(光、热、水、气、肥),在一定程度上减少或消除自然环境对农业生产的限制<sup>[1]</sup>,是一种生产季节周年性和生产类型多样性的现代农业生产方式<sup>[2-3]</sup>。与传统农业相比,设施农业抵御风险的能力强、可控性强、科技密集度高<sup>[4]</sup>,已成为世界各国现代农业发展的重点<sup>[5-6]</sup>。作为世界范围内经济价值最高的水果和蔬菜兼用作物,番茄(*Solanum lycopersicum*)在中国南北方均有栽培,且产量位于所有蔬菜作物之首<sup>[7-9]</sup>。目前中国番茄生产呈现供需基本平衡、产品同质化严重、设施专用品种比较缺乏等现状<sup>[10]</sup>,选育设施专用番茄品种迫在眉睫。

大量收集番茄种质以丰富其种质资源可以改变番茄因长时间选育导致其遗传背景逐渐狭窄的窘境,番茄种质资源的有效利用也为番茄品种改良提供了可能性<sup>[11-12]</sup>。为此前人做了大量番茄种质资源表型性状遗传多样性和亲缘关系的研究<sup>[13-17]</sup>,其中最常用的分析方法之一就是主成分分析法及聚类分析法<sup>[18-23]</sup>。本研究拟在前人研究的基础上,以收集到的 115 份番茄种质资源为试验材料进行设施栽培,筛选 9 份极易感病的材料后对余下的 106 份番茄种质资源的数量性状及质量性状进行调查,运用主成分分析法和聚类分析法等方法基于表型对番茄进行遗传多样性分析,确定相对合理的评价指标,追踪各品种的栽培表现,筛选优良种质,以期为云南设施番茄产业的发展提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试番茄种质来源

供试番茄种质材料共 115 份,其中 YTH-FQ-29 至 YTH-FQ-36 由广东省农业科学院提供, YTH-FQ-37 至 YTH-FQ-141 由瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司提供, YTH-FQ-142 和 YTH-FQ-143 由纽内姆(北京)种子有限公司提供,种质资源编号、名称及来源见表 1。其中 YTH-FQ-100、YTH-FQ-103、YTH-FQ-104、YTH-FQ-109、YTH-FQ-118、YTH-FQ-122、YTH-FQ-129、YTH-FQ-131 和 YTH-FQ-136 共计 9 份材料在栽培过程中,同一品种综合发生了疫病、细菌性褐斑病、病毒病等 2 种或 3 种病害,防治未果后对以上 9 份材料采取了中途收获清园处理,未收集到有效数据,故共计 106 份番茄材料收集到有效数据。

### 1.2 试验设计

供试的 115 份樱桃番茄种质材料的田间试验及性状调查从 2022 年 11 月开始,至 2023 年 9 月结束。试验地点位于云天化澜沧千亩高标准温室蔬菜基地(99°48'6"E, 22°24'6"N),采用无土栽培模式,采用双蔓整枝方式留蔓挂果。所有番茄种质均采用同一水肥配方、同一栽培密度(1 hm<sup>2</sup> 27 000 株)。试验材料于 2022 年 11 月育苗,2023 年 1 月移栽,2023 年 3 月开始采收,2023 年 9 月收获清园。采用随机区组设计,每个品种设 4 个重复,每个品种种植面积约 800.0 m<sup>2</sup>,所有品种栽培面积共计约 9.2 hm<sup>2</sup>。

表 1 115 份番茄种质信息

Table 1 Information of 115 tomato germplasm materials

| 编号        | 品种名称         | 种质来源             | 编号         | 品种名称    | 种质来源             |
|-----------|--------------|------------------|------------|---------|------------------|
| YTH-FQ-29 | 倩女(1298)樱桃番茄 | 广东省农业科学院         | YTH-FQ-87  | RS-51   | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-30 | 黄玉樱桃番茄       | 广东省农业科学院         | YTH-FQ-88  | RS-52   | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-31 | 新红玲珑樱桃番茄     | 广东省农业科学院         | YTH-FQ-89  | RS-53   | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-32 | 金艳樱桃番茄       | 广东省农业科学院         | YTH-FQ-90  | RS-54   | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-33 | 红艳樱桃番茄       | 广东省农业科学院         | YTH-FQ-91  | RS-55   | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-34 | 绿天使樱桃番茄      | 广东省农业科学院         | YTH-FQ-92  | RS-56   | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-35 | 粉樱 1 号       | 广东省农业科学院         | YTH-FQ-93  | RS-57   | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-36 | 金山一号         | 广东省农业科学院         | YTH-FQ-94  | RS-58   | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-37 | RS-1         | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-95  | RS-59   | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-38 | RS-2         | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-96  | RS-60   | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-39 | RS-3         | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-97  | 回味      | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-40 | RS-4         | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-98  | 绿妃      | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-41 | RS-5         | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-99  | 脆千禧     | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-42 | RS-6         | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-100 | ZZYN-1  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-43 | RS-7         | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-101 | ZZYN-2  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-44 | RS-8         | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-102 | ZZYN-3  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-45 | RS-9         | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-103 | ZZYN-4  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-46 | RS-10        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-104 | ZZYN-5  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-47 | RS-11        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-105 | ZZYN-6  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-48 | RS-12        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-106 | ZZYN-7  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-49 | RS-13        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-107 | ZZYN-8  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-50 | RS-14        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-108 | ZZYN-9  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-51 | RS-15        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-109 | ZZYN-10 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-52 | RS-16        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-110 | ZZYN-11 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-53 | RS-17        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-111 | ZZYN-12 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-54 | RS-18        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-112 | ZZYN-13 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-55 | RS-19        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-113 | ZZYN-14 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-56 | RS-20        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-114 | ZZYN-15 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-57 | RS-21        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-115 | ZZYN-16 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-58 | RS-22        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-116 | ZZYN-17 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-59 | RS-23        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-117 | ZZYN-18 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-60 | RS-24        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-118 | JOL-78  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-61 | RS-25        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-119 | JOL-79  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-62 | RS-26        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-120 | JOL-80  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-63 | RS-27        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-121 | JOL-81  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-64 | RS-28        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-122 | JOL-82  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-65 | RS-29        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-123 | JOL-83  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-66 | RS-30        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-124 | JOL-84  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-67 | RS-31        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-125 | JOL-85  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-68 | RS-32        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-126 | JOL-86  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-69 | RS-33        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-127 | JOL-87  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-70 | RS-34        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-128 | JOL-88  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-71 | RS-35        | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-129 | JOL-89  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |

续表1 Continued1

| 编号        | 品种名称  | 种质来源             | 编号         | 品种名称    | 种质来源             |
|-----------|-------|------------------|------------|---------|------------------|
| YTH-FQ-72 | RS-36 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-130 | JOL-90  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-73 | RS-37 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-131 | JOL-91  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-74 | RS-38 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-132 | JOL-92  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-75 | RS-39 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-133 | JOL-93  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-76 | RS-40 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-134 | JOL-94  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-77 | RS-41 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-135 | JOL-95  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-78 | RS-42 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-136 | JOL-96  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-79 | RS-43 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-137 | JOL-97  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-80 | RS-44 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-138 | JOL-98  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-81 | RS-45 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-139 | JOL-99  | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-82 | RS-46 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-140 | JOL-100 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-83 | RS-47 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-141 | JOL-101 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |
| YTH-FQ-84 | RS-48 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-142 | 赤霞      | 纽内姆(北京)种子有限公司    |
| YTH-FQ-85 | RS-49 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 | YTH-FQ-143 | 樱霞      | 纽内姆(北京)种子有限公司    |
| YTH-FQ-86 | RS-50 | 瑞克斯旺(中国)农业科技有限公司 |            |         |                  |

1.3 性状调查

参照《番茄种质资源描述规范和数据标准》<sup>[24]</sup>、《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 番茄》(NY/T 2236-2012)<sup>[25]</sup>,采用直接观察法对 106 份番茄材料的 21 个质量性状进行调查,包括株型、果梗离层、叶片类型、萼片形状、花序类型、叶片着生状态、果实横切面形状、胎座胶状物颜色、果梗洼凹陷程度、果实脐端形状、果实纵切面形状、花柱长度、茎色、叶色、抗病性、整齐度、果型、成熟期、成熟果色、幼果性状和裂果性。本次试验材料易感病害为疫病、细菌性褐斑病、病毒病、果腐病,抗性根据以上 4 种病害发生情况判定赋值;用游标卡尺、细线、卷尺、DIFLUID 糖分检测折光仪(量程 0~32.0%,精度 0.1%)、高精度电子天平(精度 0.01 g)等工具对首花序节位( $x_1$ )、株高( $x_2$ )、茎粗( $x_3$ )、叶长( $x_4$ )、叶宽( $x_5$ )、单花序坐果数( $x_6$ )、单果重( $x_7$ )、果柄长度( $x_8$ )、果实纵径( $x_9$ )、果实横径( $x_{10}$ )、果型指数( $x_{11}$ )、果梗洼大小( $x_{12}$ )、果肉厚度( $x_{13}$ )、心室数( $x_{14}$ )、可溶性固形物含量( $x_{15}$ )、单株产量( $x_{16}$ )、转色总台数(同一植株果实达着色阶段累积台数, $x_{17}$ )、坐果总台数(同一植株累积结果台数, $x_{18}$ )和总台数(同一植株累积开花台数, $x_{19}$ )共计 19 个数量性状进行测定。

1.4 数据处理

本研究采用多元统计方法,使用 Microsoft Excel 2019 对原始数据进行整理分析,计算出平均值并进

行赋值转换和描述性统计分析。利用 SPSS 25.0 软件进行相关性分析、主成分分析和聚类分析。

分布频率的计算公式为  $P_{ij} = n_{ij}/n$ ,式中, $P_{ij}$ 表示第  $i$  个性状第  $j$  个变异的分布频率, $n_{ij}$ 表示第  $i$  个性状处于第  $j$  个变异的材料个数, $n$  表示材料的总数。

2 结果与分析

2.1 基本性状遗传多样性分析

2.1.1 质量性状 106 份番茄种质资源 21 个质量性状的描述性统计分析结果见表 2。106 份种质都为蔓生型(无限生长型),皆有果梗离层,果实横切面形状都为圆形;叶片类型分为羽状复叶及二回羽状复叶 2 种,其中二回羽状复叶占比较大,共计 103 份。根据萼片形状、花序类型、叶片着生状态、花柱长度、茎色、叶色、整齐度、果型及裂果性 9 种性状均可把 106 份番茄种质分为 3 种类型,其中按照整齐度可分为整齐、一般和不整齐,植株整齐度高的番茄种质共计 15 份;裂果性分为无裂果、裂果程度中等和易裂 3 种,其中无裂果的材料 2 份,裂果程度中等的材料 33 份。按照抗病性可分为感病材料和抗病材料,其中抗病种质 86 份。以果实纵切面形状、果梗洼凹陷程度和果实脐端形状分类可将 106 份番茄种质分别分为 4 类。本研究中 106 份番茄种质的果实颜色较为丰富,共有橙色、绿色、黄色、黄绿色、粉红色、红色和多色 7 种,其中粉红色占比较大,共计



69 份;橙色、绿色、黄色、黄绿色、红色和多色材料分别为 3 份、2 份、5 份、1 份、23 份和 3 份。

表 2 106 份番茄种质质量性状分布频率

Table 2 Distribution frequency of quality traits of 106 tomato germplasms

| 性状      | 分布频率(%) |        |       |       |       |       |      |
|---------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|------|
|         | 1       | 2      | 3     | 4     | 5     | 6     | 7    |
| 株型      | 100.00  | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     |      |
| 果梗离层    | 100.00  | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     |      |
| 叶片类型    | 2.83    | 97.17  | 0     | 0     | 0     | 0     |      |
| 萼片形状    | 0       | 48.11  | 49.06 | 2.83  | 0     | 0     |      |
| 花序类型    | 5.66    | 61.32  | 33.02 | 0     | 0     | 0     |      |
| 叶片着生状态  | 66.04   | 31.13  | 2.83  | 0     | 0     | 0     |      |
| 果实横切面形状 | 0       | 100.00 | 0     | 0     | 0     | 0     |      |
| 果实纵切面形状 | 37.74   | 33.02  | 25.47 | 3.77  | 0     | 0     |      |
| 胎座胶状物颜色 | 19.81   | 6.60   | 41.51 | 1.89  | 18.87 | 11.32 |      |
| 果梗洼凹陷程度 | 20.75   | 33.96  | 40.57 | 4.72  | 0     | 0     |      |
| 果实脐端形状  | 0       | 2.83   | 54.72 | 32.07 | 10.38 | 0     |      |
| 花柱长度    | 66.98   | 27.36  | 5.66  | 0     | 0     | 0     |      |
| 茎色      | 5.66    | 71.70  | 22.64 | 0     | 0     | 0     |      |
| 叶色      | 5.66    | 71.70  | 22.64 | 0     | 0     | 0     |      |
| 抗病性     | 18.87   | 81.13  | 0     | 0     | 0     | 0     |      |
| 整齐度     | 14.15   | 47.17  | 38.68 | 0     | 0     | 0     |      |
| 果型      | 64.15   | 32.08  | 3.77  | 0     | 0     | 0     |      |
| 成熟期     | 15.09   | 31.13  | 39.62 | 11.33 | 2.83  | 0     |      |
| 成熟果色    | 2.83    | 1.89   | 4.72  | 0.94  | 65.09 | 21.70 | 2.83 |
| 幼果性状    | 60.38   | 39.62  | 0     | 0     | 0     | 0     |      |
| 裂果性     | 1.89    | 31.13  | 66.98 | 0     | 0     | 0     |      |

株型,1:蔓生。果梗离层,1:有。叶片类型,1:羽状复叶;2:二回羽状复叶。萼片形状,1:平;2:微翘;3:微卷;4:卷曲。花序类型,1:单;2:双;3:多。叶片着生状态,1:半直立;2:水平;3:半下垂。果实横切面形状,1:不圆;2:圆。胎座胶状物颜色,1:黄白;2:黄色;3:黄绿色;4:绿色;5:粉红色;6:红色。果梗洼凹陷程度,1:无;2:弱;3:中;4:强。果实脐端形状,1:凹;2:凹到平;3:平;4:平到凸;5:凸。花柱长度,1:短于雄蕊;2:与雄蕊基本等长;3:长于雄蕊。果实纵切面形状,1:椭圆形;2:心型;3:倒卵圆;4:卵圆形。茎色,1:浅绿 2:绿;3:深绿。叶色,1:浅绿 2:绿;3:深绿。抗病性,1:感病;2:抗病。成熟期,1:极早熟 2:早熟;3:中熟;4:晚熟;5:极晚熟。整齐度,1:整齐;2:一般;3:不整齐。果型,1:圆;2:椭圆;3:长椭圆。幼果性状,1:无绿果肩;2:有绿果肩。成熟果色,1:橙色;2:绿色;3:黄色;4:黄绿色;5:粉红色;6:红色;7:多色。裂果性,1:无裂果;2:裂果程度中等;3:易裂。

2.1.2 数量性状 如表 3 所示,106 份试验材料数量性状变异程度各不相同,变异系数范围为 5.30%~16.75%,平均变异系数为 8.59%。其中心室数在各数量性状中变异系数最大,为 16.75%,单果重和首花序节位次之,分别为 13.31%和 11.40%。叶长、果实纵径、单株产量、果型指数和果实横径 5 个性状的变异幅度较小,变异系数为 5.30%~5.70%,说明以上 5 个性状可稳定遗传。

## 2.2 数量性状相关性分析

为充分研究和掌握所引进的 106 份番茄种质资源异地栽培后不同数量性状的相互关系及影响,对所调查数量性状进行相关性研究。结果如表 4 所示,19 个数量性状存在显著或极显著的相关性。其中首花序节位与单花序坐果数、总台数呈极显著负相关,这表明首花序节位位置过高会减少单花序坐果数,同时减少转色总台数、坐果总

台数、总台数。株高与转色总台数、坐果总台数和总台数等表现为极显著正相关,表明植株越高,转色总台数、坐果总台数、总台数越多;株高与单果重、单株产量呈极显著负相关,表明株高越高单果重越小,单株产量越低。茎粗与单花序坐果数、转色总台数、坐果总台数、总台数等呈极显著正相关,表明植株越粗壮坐果数越多,转色总台数、坐果总台数、总台数越多;茎粗与叶长、叶宽等呈极显著负相关。单花序坐果数与总台数等呈极显著正相关,与单果重和单株产量呈极显著负相关,说明坐果数越大,单果重越小,单株产量越低。单果重与可溶性固形物含量表现为极显著负相关,表明单果重越大,可溶性固形物含量越低。可溶性固形物含量与转色总台数、坐果总台数和总台数呈极显著正相关,与单株产量呈极显著负相关,说明单株产量高则可溶性固形物含量低。

表 3 106 份番茄种质资源主要数量性状表现值

Table 3 Performance values of main quantitative characters in 106 tomato germplasm resources

| 性状          | 最大值    | 最小值   | 极差     | 平均值   | 标准差   | 变异系数(%) |
|-------------|--------|-------|--------|-------|-------|---------|
| 首花序节位       | 44.60  | 20.40 | 31.22  | 31.22 | 3.56  | 11.40   |
| 株高(m)       | 7.44   | 2.98  | 4.46   | 5.23  | 0.38  | 7.17    |
| 茎粗(mm)      | 14.72  | 7.52  | 7.20   | 9.62  | 0.74  | 7.69    |
| 叶长(cm)      | 39.20  | 24.20 | 15.00  | 32.44 | 1.85  | 5.70    |
| 叶宽(cm)      | 33.40  | 15.10 | 18.30  | 23.42 | 2.30  | 9.82    |
| 单花序坐果数      | 32.40  | 4.40  | 28.00  | 15.84 | 1.15  | 7.26    |
| 单果重(g)      | 237.10 | 7.36  | 229.74 | 90.15 | 12.00 | 13.31   |
| 果柄长度(cm)    | 1.62   | 0.52  | 1.10   | 0.99  | 0.09  | 9.09    |
| 果实纵径(cm)    | 7.91   | 2.19  | 5.72   | 4.31  | 0.24  | 5.57    |
| 果实横径(cm)    | 8.21   | 2.21  | 6.00   | 5.09  | 0.27  | 5.30    |
| 果型指数        | 1.63   | 0.66  | 0.97   | 0.91  | 0.05  | 5.49    |
| 果梗洼大小(mm)   | 11.70  | 1.39  | 10.31  | 6.09  | 0.48  | 7.88    |
| 果肉厚度(mm)    | 8.24   | 2.12  | 6.12   | 4.60  | 0.44  | 9.57    |
| 心室数         | 8.80   | 2.00  | 6.80   | 4.12  | 0.69  | 16.75   |
| 可溶性固形物含量(%) | 17.40  | 3.20  | 14.20  | 9.34  | 0.60  | 6.42    |
| 转色总台数       | 20.70  | 8.30  | 12.30  | 13.60 | 1.47  | 10.83   |
| 坐果总台数       | 22.70  | 10.00 | 12.70  | 15.60 | 1.51  | 9.69    |
| 总台数         | 16.00  | 12.70 | 13.30  | 18.00 | 1.56  | 8.67    |
| 单株产量(kg)    | 16.96  | 0.71  | 16.25  | 3.77  | 0.21  | 5.53    |

表 4 106 份番茄种质数量性状之间的相关性

Table 4 Correlation between quantitative traits of 106 tomato germplasms

| 性状              | x <sub>1</sub> | x <sub>2</sub> | x <sub>3</sub> | x <sub>4</sub> | x <sub>5</sub> | x <sub>6</sub> | x <sub>7</sub> | x <sub>8</sub> | x <sub>9</sub> | x <sub>10</sub> | x <sub>11</sub> | x <sub>12</sub> | x <sub>13</sub> | x <sub>14</sub> | x <sub>15</sub> | x <sub>16</sub> | x <sub>17</sub> | x <sub>18</sub> | x <sub>19</sub> |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| x <sub>1</sub>  | 1.000          |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| x <sub>2</sub>  | -0.111         | 1.000          |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| x <sub>3</sub>  | -0.376**       | 0.482**        | 1.000          |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| x <sub>4</sub>  | 0.368**        | -0.521**       | -0.429**       | 1.000          |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| x <sub>5</sub>  | 0.163          | -0.490**       | -0.320**       | 0.747**        | 1.000          |                |                |                |                |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| x <sub>6</sub>  | -0.349**       | 0.688**        | 0.632**        | -0.781**       | -0.606**       | 1.000          |                |                |                |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| x <sub>7</sub>  | 0.237*         | -0.603**       | -0.596**       | 0.762**        | 0.614**        | -0.924**       | 1.000          |                |                |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| x <sub>8</sub>  | 0.240*         | -0.408**       | -0.534**       | 0.483**        | 0.336**        | -0.668**       | 0.717**        | 1.000          |                |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| x <sub>9</sub>  | 0.329**        | -0.549**       | -0.655**       | 0.738**        | 0.573**        | -0.904**       | 0.934**        | 0.744**        | 1.000          |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| x <sub>10</sub> | 0.270**        | -0.673**       | -0.618**       | 0.790**        | 0.653**        | -0.966**       | 0.981**        | 0.695**        | 0.920**        | 1.000           |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| x <sub>11</sub> | -0.086         | 0.690**        | 0.378**        | -0.646**       | -0.599**       | -0.776**       | -0.742**       | -0.416**       | -0.545**       | -0.813**        | 1.000           |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| x <sub>12</sub> | 0.289**        | -0.713**       | -0.533**       | 0.799**        | 0.669**        | -0.945**       | 0.867**        | 0.575**        | 0.829**        | 0.925**         | -0.824**        | 1.000           |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| x <sub>13</sub> | 0.393**        | -0.581**       | -0.596**       | 0.783**        | 0.616**        | -0.892**       | 0.901**        | 0.675**        | 0.879**        | 0.911**         | -0.700**        | 0.845**         | 1.000           |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| x <sub>14</sub> | 0.209*         | -0.633**       | -0.567**       | 0.661**        | 0.538**        | -0.889**       | 0.886**        | 0.604**        | 0.817**        | 0.914**         | -0.763**        | 0.853**         | 0.716**         | 1.000           |                 |                 |                 |                 |                 |
| x <sub>15</sub> | -0.204*        | 0.420**        | 0.439**        | -0.521**       | -0.414**       | 0.630**        | -0.593**       | -0.500**       | -0.649**       | -0.626**        | 0.447**         | -0.599**        | -0.590**        | -0.554**        | 1.000           |                 |                 |                 |                 |
| x <sub>16</sub> | 0.147          | -0.369**       | -0.328**       | 0.494**        | 0.476**        | -0.530**       | 0.533**        | 0.375**        | 0.505**        | 0.511**         | -0.440**        | 0.548**         | 0.456**         | 0.564**         | -0.471**        | 1.000           |                 |                 |                 |
| x <sub>17</sub> | -0.331**       | 0.748**        | 0.504**        | -0.722**       | -0.539**       | 0.852**        | -0.807**       | -0.604**       | -0.758**       | -0.844**        | -0.722**        | -0.851**        | -0.776**        | -0.791**        | 0.517**         | -0.516**        | 1.000           |                 |                 |
| x <sub>18</sub> | -0.324**       | 0.765**        | 0.478**        | -0.710**       | -0.523**       | 0.838**        | -0.785**       | -0.568**       | -0.739**       | -0.825**        | -0.721**        | -0.847**        | -0.756**        | -0.777**        | 0.508**         | -0.506**        | 0.978**         | 1.000           |                 |
| x <sub>19</sub> | -0.329**       | 0.769**        | 0.471**        | -0.707         | -0.547**       | 0.828**        | -0.767**       | -0.576**       | -0.720**       | -0.812**        | -0.707**        | -0.834**        | -0.725**        | -0.773**        | 0.497**         | -0.477**        | 0.996           | 0.971**         | 1.000           |

x<sub>1</sub>: 首花序节位; x<sub>2</sub>: 株高; x<sub>3</sub>: 茎粗; x<sub>4</sub>: 叶长; x<sub>5</sub>: 叶宽; x<sub>6</sub>: 单花序坐果数; x<sub>7</sub>: 单果重; x<sub>8</sub>: 果柄长度; x<sub>9</sub>: 果实纵径; x<sub>10</sub>: 果实横径; x<sub>11</sub>: 果型指数; x<sub>12</sub>: 果梗洼大小; x<sub>13</sub>: 果肉厚度; x<sub>14</sub>: 心室数; x<sub>15</sub>: 可溶性固形物含量; x<sub>16</sub>: 单株产量; x<sub>17</sub>: 转色总台数; x<sub>18</sub>: 坐果总台数; x<sub>19</sub>: 总台数。 \*\* 表示在 0.01 水平上极显著相关; \* 表示在 0.05 水平上显著相关。

### 2.3 农艺性状主成分分析

表 5 显示,在本研究中,特征值大于 1 的主成分共提取到 2 个,贡献率分别为 66.76%、6.47%,累积贡献率为 73.23%。第一主成分的特征值为 12.68,贡献率最高,为 66.76%。第二主成分的特征值为 1.23,贡献率为 6.47%。其中果实横径特征向量正向最高,为 0.98;其次为果梗洼大小(0.95)、单果重(0.94)、果实纵径(0.91)和果肉厚度(0.91),主要反映 106 份番茄种质的果实相关特征。特征向量负向最高的性状为总台数,结合各指标相关性分析结果,表明单果重会影响转色总台数、坐果总台数、总台数。第二主成分的特征值为 1.23,贡献率为 6.47%。其中首花序节位特征向量正向最高,为 0.64;株高特征向量负向最高,为-0.44。

表 5 106 份番茄种质 19 个表型性状主成分分析结果

Table 5 Principal component analysis of 19 phenotypic characters in 106 tomato germplasms

| 指标     | 主成分 1 | 主成分 2 |
|--------|-------|-------|
| 首花序节位  | 0.34  | 0.64  |
| 株高     | -0.74 | 0.33  |
| 茎粗     | -0.64 | -0.44 |
| 叶长     | 0.83  | -0.02 |
| 叶宽     | 0.68  | -0.23 |
| 单花序坐果数 | -0.97 | -0.05 |
| 单果重    | 0.94  | 0.05  |
| 果柄长度   | 0.70  | 0.34  |
| 果实纵径   | 0.91  | 0.25  |
| 果实横径   | 0.98  | 0     |
| 果型指数   | -0.80 | 0.39  |
| 果梗洼大小  | 0.95  | -0.11 |
| 果肉厚度   | 0.91  | 0.16  |
| 心室数    | 0.89  | -0.07 |
| 可溶性固形物 | -0.66 | -0.17 |
| 转色总台数  | -0.89 | 0.15  |
| 坐果总台数  | -0.91 | 0.11  |
| 总台数    | -0.99 | 0.14  |
| 单株产量   | 0.60  | -0.09 |

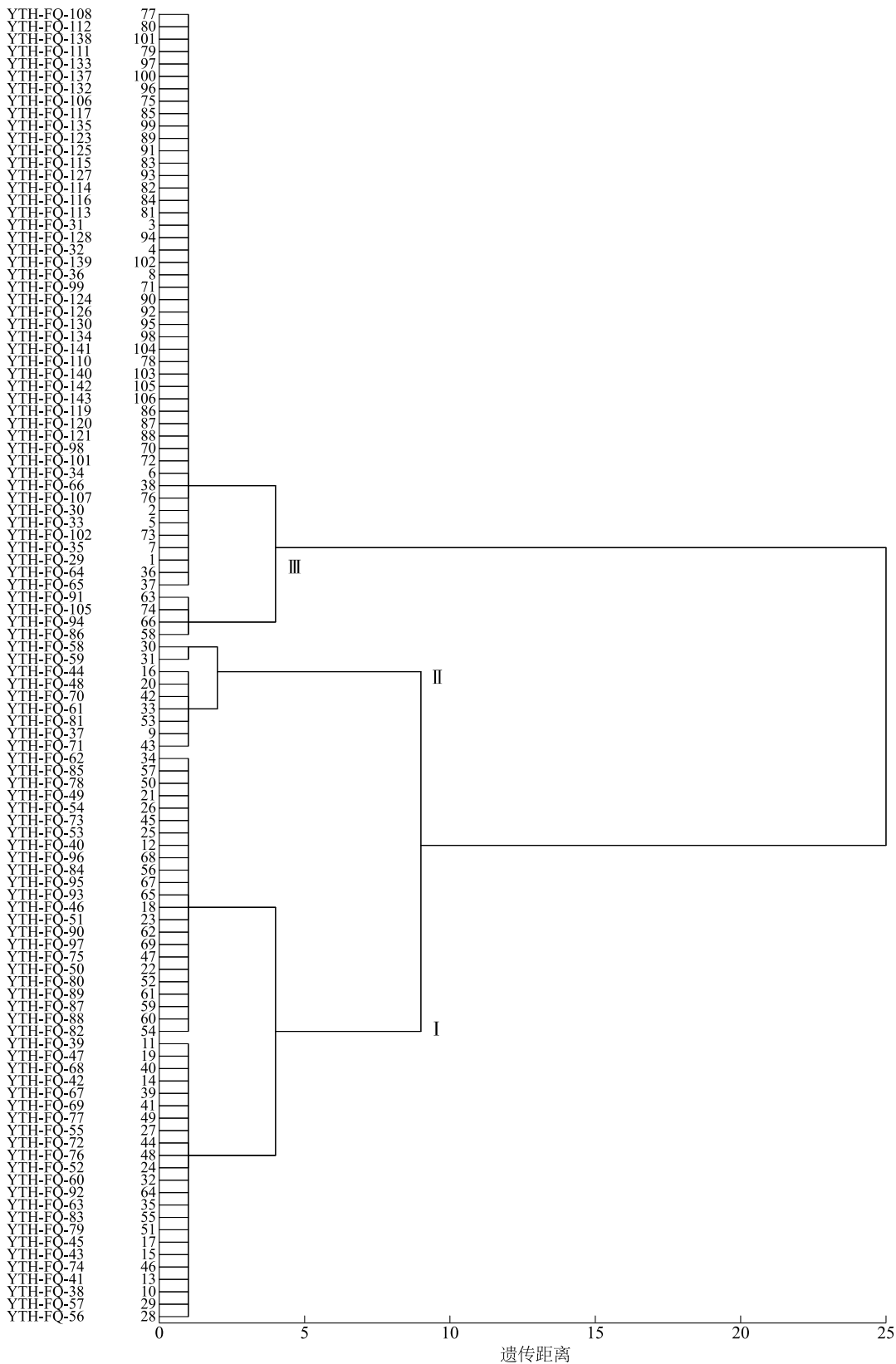
### 2.4 表型性状聚类分析

挑选 7 个与品质(可溶性固形物含量)和产量(单花序坐果数、单果重、单株产量、转色总台数、坐果

总台数和总台数)相关的性状作为聚类指标,对 106 份番茄种质进行聚类分析(图 1)。在遗传距离为 7 处将 106 份番茄种质分为 3 大类群,每个大类群分别细分为 2 个亚群。第Ⅰ类群平均单株产量(表 6)最高,为 5.32 kg;平均可溶性固形物含量、平均转色总台数、平均坐果总台数和平均总台数最低。在遗传距离近 4 处将第Ⅰ类群分为 2 个亚群,第 1 亚群(ⅠA)包含 23 份种质,平均单株产量最高,为 5.72 kg;平均坐果总台数最少,约为 12.7;平均可溶性固形物含量最低,为 6.19%,进一步表明坐果总台数、可溶性固形物含量与单株产量呈负相关;第 2 亚群也包含 23 份种质。第Ⅱ类群平均单果重最高,为 222.50 g。在遗传距离近 2 处将第Ⅱ类群分为 2 个亚群,第 1 亚群(ⅡA)包含 7 份种质,第 2 亚群(ⅡB)包含 2 份种质(YTH-FQ-58 和 YTH-FQ-59),其平均单果重最高,为 236.04 g。第Ⅲ类群平均可溶性固形物含量、平均单花序坐果数、平均转色台数、平均坐果总台数和平均总台数最高,平均单果重和平均单株产量最低。在遗传距离近 4 处将第Ⅲ类群分为 2 个亚群,第 1 亚群(ⅢA)包含 4 份种质,第 2 亚群(ⅢB)包含 47 份种质,平均可溶性固形物含量(11.59%)、平均单花序坐果数(25.30)、平均转色总台数(16.60)、平均坐果总台数(18.70)和平均总台数(20.90)5 个性状值最大;平均单果重(20.14 g)和平均单株产量(2.18 kg)最低。

## 3 讨论

设施农业特点为生产季节周年性和生产类型多样性且物质能量投入大,适宜设施栽培的番茄品种需具备适应性强、整齐度高、抗病性强、产量高等特点。本研究通过对 115 份番茄种质进行设施栽培,筛除了 9 份极易感病的番茄种质,收集到 106 份番茄种质的全生育期有效数据,筛选到植株长势整齐度高的种质 15 份,抗病种质 86 份。经过对 106 份番茄种质的 21 个质量性状进行遗传多样性分析,对 19 个数量性状进行相关性和聚类分析,筛选优良番茄种质,挖掘各种质的育种价值。结果表明,供试材料中 100%的种质都为蔓生型且表现为果梗有离层,说明目前番茄育种倾向于选育果梗离层的无限生长型番茄品种。106 份材料包括 5 个成熟期,其中极早熟和早熟种质分别为 16 份和 33 份,通过掌握番茄种质的成熟期可以预判产品的大致上市时间,对番茄生产、销售有很大帮助。



番茄种质编号所代表的品种见表 1。

图 1 106 份番茄种质主要性状聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of main characters in 106 tomato germplasms



表 6 各类群表型性状平均值

Table 6 Average values of phenotypic traits in various groups

| 指标          | I      |        |        | II     |        |        | III   |       |       |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
|             | I A    | I B    | 平均     | II A   | II B   | 平均     | III A | III B | 平均    |
| 可溶性固形物含量(%) | 6.19   | 7.60   | 6.90   | 7.77   | 8.80   | 8.29   | 10.90 | 11.59 | 11.25 |
| 单花序坐果数      | 7.30   | 8.00   | 7.65   | 6.70   | 6.50   | 6.60   | 12.90 | 25.30 | 19.10 |
| 单果重(g)      | 165.55 | 119.14 | 142.35 | 208.96 | 236.04 | 222.50 | 70.38 | 20.14 | 45.26 |
| 单株产量(kg)    | 5.72   | 4.91   | 5.32   | 4.98   | 4.22   | 4.60   | 2.48  | 2.18  | 2.33  |
| 转色总台数       | 10.70  | 11.60  | 11.20  | 10.70  | 12.30  | 11.50  | 11.60 | 16.60 | 14.10 |
| 坐果总台数       | 12.70  | 13.40  | 13.10  | 13.00  | 14.30  | 13.70  | 13.20 | 18.70 | 16.00 |
| 总台数         | 15.50  | 15.90  | 15.70  | 15.10  | 17.50  | 16.30  | 15.50 | 20.90 | 18.20 |

呈色类胡萝卜素通常呈现黄、橙、红等颜色,主要包括番茄红素、 $\beta$ -胡萝卜素等,它们赋予番茄果实鲜艳的色彩<sup>[26]</sup>,本研究供试的 106 份番茄种质的成熟果实颜色丰富多样,包括橙色、绿色、黄色、黄绿色、粉红色、红色和多色共 7 种颜色。研究表明类胡萝卜素具有抗氧化作用,可以预防氧化损伤。许多临床和动物研究结果也表明,富含类胡萝卜素的饮食模式具有延缓衰老及预防衰老相关疾病的作用<sup>[27-28]</sup>。

种质的表型性状受其遗传多样性和环境因素共同影响,位于不同生态区的相同作物的同一表型性状亦会有所差异<sup>[29-30]</sup>。本研究对番茄种质进行异地栽培后对其变异系数进行调查分析,结果表明,心室数(16.75%)和单果重(13.31%)的变异系数较大,拥有较为宽广的改良空间,与许向阳等<sup>[31]</sup>、芮文婧等<sup>[32]</sup>的研究结果一致。相关性分析结果表明,首花序节位与果实横径呈极显著正相关,单花序坐果数与单果重呈极显著负相关,同范惠冬等<sup>[33]</sup>的研究结果一致,说明单花序坐果数过多会导致单果重降低。可溶性固形物含量与单果重、果实纵径、果实横径、果肉厚度和心室数呈极显著负相关,说明果型大,果肉厚的番茄种质甜度较低。单果重与果实横径相关系数最高,为 0.981,这与赵云霞等<sup>[34]</sup>的研究结果一致。通过聚类分析结果可以看出种质间亲缘关系的远近,聚类分析结果显示,106 份番茄种质可分成 3 个大类群,6 个亚群,遗传背景丰富。

设施专用品种的筛选和选育是发展设施农业的关键。本研究通过对 115 份番茄种质进行异地设施栽培,筛选了 9 份极易感病的番茄种质,对其余 106 份番茄种质进行调查分析,使用抗病性、整齐度、成

熟期和裂果性 4 个关键质量性状指标筛选出抗病种质 86 份,整齐度高的种质 15 份,极早熟、早熟品种 49 份,无裂果的种质 2 份。遗传多样性分析结果表明,106 份番茄种质的心室数、单果重、首花序节位 3 个性状变异幅度较大;果实横径、果梗洼大小、单果重、果实纵径、果肉厚度可作为评价设施番茄种质的主要因子。

#### 参考文献:

- [1] 陈丹艳,杨振超,孔政,等. 设施农业固碳研究现状与展望[J]. 中国农业科技导报,2018,20(2):122-128.
- [2] 蔡保忠,曾福生. 农业基础设施的粮食增产效应评估:基于农业基础设施的类型比较视角[J]. 农村经济,2018(12):24-30.
- [3] 陈殿奎. 我国大型温室发展概况[J]. 农业工程学报,2000,16(6):28.
- [4] 丁亚会,张云鹤,孙宁,等. 我国设施农业发展的国际经验与启示[J]. 江苏农业科学,2023,51(16):1-8.
- [5] 徐茂,邓蓉. 国内外设施农业发展的比较[J]. 北京农学院学报,2014,29(2):74-78.
- [6] REDMOND S R, FATEMEH K, TING K C, et al. Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: a transition to plant factories and urban agriculture[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2018, 11(1): 1-22.
- [7] TIEMAN D, ZHU G, RESENDE M F R, et al. A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor[J]. Science, 2017, 355(6323):391-394.
- [8] 魏宇飞,覃仁柳,丁点草,等. 不同生育期番茄植株根际土壤微生物群落结构特征[J]. 华中农业大学学报,2024,43(1):9-21.
- [9] 向伟勇. 番茄褐色皱纹果病毒对中国番茄产业的潜在威胁及预防措施[J]. 湖北农业科学,2021,60(增刊2):247-251.
- [10] 胡志峰,邵景成,张莉. 设施番茄新品种“陇番 13 号”的选育

- [J]. 北方园艺, 2023(10):157-160, 2.
- [11] 龚亚菊, 吴丽艳, 黎志彬, 等. 大果番茄种质资源的遗传多样性和聚类分析[J]. 西南农业学报, 2013, 26(6):2447-2450.
- [12] 温庆放, 朱海生, 林义章, 等. 樱桃番茄种质资源遗传多样性的RAPD分析[J]. 福建农业学报, 2006, 33(1):59-62.
- [13] 张辉, 李鑫, 王志敏, 等. 基于核心 InDel 标记樱桃番茄种质资源的遗传多样性分析与应用[J]. 中国蔬菜, 2023(10):26-36.
- [14] 郑福顺, 王晓敏, 李国花, 等. 宁夏地区番茄种质资源核心种质构建策略[J]. 浙江农业学报, 2022, 34(9):1877-1888.
- [15] 史建磊, 宰文珊, 陈依凯, 等. 基于表型的樱桃番茄种质遗传多样性分析[J]. 热带作物学报, 2019, 40(6):1095-1101.
- [16] 芮文婧, 王晓敏, 张倩男, 等. 番茄 353 份种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 园艺学报, 2018, 45(3):561-570.
- [17] 王柏柯, 杨生保, 余庆辉, 等. 加工番茄种质资源的 SSR 分析[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(1):196-200.
- [18] MARTYNOV S P, DOBROTORSKAYA T V, PUKHALSKIY V A. Dynamics of genetic diversity in winter common wheat *Triticum aestivum* L. cultivars released in Russia from 1929 to 2005[J]. Russian Journal of Genetics, 2006, 42(10):1137-1147.
- [19] JIN L, ZHAO L P, WANG Y L, et al. Genetic diversity of 324 cultivated tomato germplasm resources using agronomic traits and InDel markers[J]. Euphytica, 2019, 215:1-16.
- [20] 袁东升, 王晓敏, 赵宇飞, 等. 100 份番茄种质资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 西北农业学报, 2019, 28(4):594-601.
- [21] 马海翔, 庞胜群, 孔亚聪, 等. 35 份加工番茄遗传多样性分析及综合评价[J]. 分子植物育种, 2022:1-26. [2023-09-22]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220920.0744.002.html>.
- [22] 宋丽娜, 王晓敏, 刘文娟, 等. 基于 SNP 标记的 504 份番茄种质资源遗传多样性分析[J]. 核农学报, 2022, 36(12):2366-2387.
- [23] 王小娟, 陈健晓, 李雪娟, 等. 13 份矮生番茄种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 分子植物育种, 2022, 20(6):1955-1964.
- [24] 李锡香, 杜永臣, 冯兰. 番茄种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [25] 中华人民共和国农业部. 植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 番茄: NY/T2236-2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012:1-26.
- [26] 王丹, 张建, 王晓蕊, 等. 番茄果实类胡萝卜素组成含量与色泽相关性分析[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(6):1554-1564.
- [27] APAK R, ÖZYÜREK M, GÜÇLÜ K, et al. Antioxidant activity/capacity measurement. 3. Reactive oxygen and nitrogen species (ROS/RNS) scavenging assays, oxidative stress biomarkers, and chromatographic/chemometric assays[J]. J Agric Food Chem, 2016, 64(5):1046-1070.
- [28] MILANI A, BASIRNEJAD M, SHAHBAZI S, et al. Carotenoids: biochemistry, pharmacology and treatment[J]. Br J Pharmacol, 2017, 174(11):1290-1324.
- [29] 许霞, 杨建平. 番茄花粉形态特征及其演化、分类的探讨[J]. 西北农业学报, 2003, 12(1):53-56, 157-158.
- [30] 刘佩君, 王晓敏, 李国花, 等. 166 份番茄种质资源的综合评价[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2020, 42(4):792-803.
- [31] 许向阳, 赵爽, 何梦曦, 等. 128 份番茄种质资源主要农艺性状鉴定及抗病性评价[J]. 东北农业大学学报, 2022, 53(5):32-41.
- [32] 芮文婧, 张倩男, 王晓敏, 等. 47 份大果番茄种质资源表型性状的遗传多样性[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(12):92-95.
- [33] 范惠冬, 郑士金, 郑建超, 等. 74 份大果番茄种质资源表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(15):121-129.
- [34] 赵云霞, 颜秀娟, 王学梅, 等. 246 份番茄种质资源表型性状的遗传多样性[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(17):134-140.

(责任编辑:陈海霞)