

多抗优质樱桃番茄资源鉴定及筛选

王珊珊¹ 杨超沙² 尹伟平¹ 王国华¹ 张立永³ 尹庆珍^{1*}

(1. 河北省农林科学院 经济作物研究所, 石家庄 050051;

2. 承德市农林科学院, 河北 承德 067055;

3. 河北化工医药职业技术学院, 石家庄 050026)

摘要 为筛选多抗优质樱桃番茄种质资源, 利用 PARMs(Penta-primer amplification refractory mutation system) 技术对 59 个樱桃番茄种质资源, 共 696 份番茄材料进行 11 个抗病基因的检测。结果表明: 含有 *Ty-1* 抗病基因的资源约占 35.3%, 含有 *Ty-2* 抗病基因的资源约占 17.8%, 而含有 *I-2*、*I-3* 和 *Sw-5* 的抗病基因的植株仅占全部植株的 5.9%、3.2% 和 5.2%, 资源较为稀缺; 对植株抗病基因的个数进行统计, 选出 25 个代表性多抗(三抗及以上) 樱桃番茄资源; 对筛选出的多抗资源进行营养品质、风味品质和贮藏品质分析, 综合抗病性、可溶性固形物含量、总酸含量、固酸比及外观品质, 筛选出多抗优质资源 6 份: 180-4、179-7、176-6、165-6、205-10 和 168-5; 综合抗病性、番茄红素含量及外观品质, 筛选出多抗、番茄红素含量高的资源 6 份: 177-9、219-11、192-2、202-3、214-4 和 216-5。本研究筛选的资源可为多抗优质樱桃番茄新品种的选育提供资源基础。

关键词 樱桃番茄; 抗病基因检测; 品质鉴定; 筛选

中图分类号 S641.2

文章编号 1007-4333(2022)08-0121-10

文献标志码 A

Identification and screening of multiple resistance and high quality cherry tomato resources

WANG Shanshan¹, YANG Chaosha², YIN Weiping¹, WANG Guohua¹, ZHANG Liyong³, YIN Qingzhen^{1*}

(1. Institute of Cash Crops, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China;

2. Chengde Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Chengde 067055, China;

3. Hebei Chemical and Pharmaceutical College, Shijiazhuang 050026, China)

Abstract In order to identify high-quality disease-resistant cherry tomato resources, the PARMs method was used in this research to analyze the distribution of eleven resistant (R) genes in 696 tomato materials of 59 cherry tomato germplasm resources. The results showed that: Most resources contain *Ty-1* or *Ty-2* gene, encompassing about 35.3% and 17.8% plants, respectively. On the contrary, the distribution of *I-2*, *I-3* and *Sw-5* genes are rare, which only present in 5.9%, 3.2% and 5.2% of the total plants, respectively; A total of 25 resources with more than three R genes were selected as multiple resistant resources. Furthermore, the nutritional, flavor, and storage qualities of the selected multiple resistant resources were analyzed. According to disease resistance, their total soluble solid (TSS) content, total acid content, sugar-acid ratio, and appearance quality, six high-quality resources with multiple resistance were identified, including 180-4, 179-7, 176-6, 165-6, 205-10 and 168-5. Meanwhile, based on their disease resistance, lycopene content, and appearance quality, six resources with high lycopene content and multiple

收稿日期: 2021-06-16

基金项目: 河北省重点研发计划项目(21326309D); 河北省农林科学院财政项目(03-01-04); 现代农业产业技术体系河北省创新团队建设专项(HBCT2018030204); 河北省第三批“巨人计划”——蔬菜科研创新团队项目; 石家庄市科学技术研究与发展计划项目(201490112A)

第一作者: 王珊珊, 助理研究员, 主要从事番茄育种与栽培研究, E-mail: 820705239@qq.com

通讯作者: 尹庆珍, 研究员, 主要从事番茄育种与栽培研究, E-mail: yinqingzhen67@163.com

resistance were selected, which were 177-9, 219-11, 192-2, 202-3, 214-4 and 216-5. In conclusion, the identified resources in this research provide materials for the breeding of new cherry tomato varieties with multiple resistance and high quality.

Keywords cherry tomato; resistant genes detection; quality analysis; screening

番茄是我国主要的蔬菜作物之一^[1], 樱桃番茄口感好, 维生素含量丰富, 营养价值高, 广泛受到人们喜爱^[2]。目前口感较好的樱桃番茄品种主要由樱桃番茄育种起步较早的日本和荷兰等国家选育, 但都存在种植成本高或无法满足消费者日益增长的需求或对现在的茬口适应性下降等问题^[3]。此外, 随着各地樱桃番茄种植面积不断增加, 病害也逐渐加重。目前世界范围内已有 200 余种番茄病害^[4], 其中造成我国番茄明显减产的病害就有 10 多种, 包括番茄黄化曲叶病毒病、根结线虫病、叶霉病、斑萎病毒病、晚疫病、颈腐根腐病、枯萎病和灰叶斑病等^[5-7], 导致樱桃番茄产量损失严重。为了缓解这一情况, 目前已有学者在番茄抗病基因筛选方面开展了研究。陈宝玲等^[8]对 56 份大、中果型番茄进行了烟草花叶病毒病抗性基因 *Tm-2^a*、番茄黄化曲叶病毒病抗性基因 *Ty-1*、*Ty-2* 和 *Ty-3*、叶霉病抗性基因 *Cf-9*、晚疫病抗性基因 *Ph-3*、枯萎病抗性基因 *I-2* 和根结线虫病抗性基因 *Mi-1* 共 6 种病害 8 个抗性基因的检测, 检测出含有 7 个抗病基因的材料 1 份, 含有 6 个抗性基因的 5 份, 含有 5 个抗性基因的 2 份; 陈莉菁等^[9]利用功能标记对 234 份番茄材料进行 5 个抗病基因(*Cf-9*、*Mi-1*、*I-2*、*Ph-3* 和 *Tm-2^a*) 的检测, 检测出含 4 个抗病基因的材料 6 份, 含 3 个抗病基因的 23 份, 含 2 个抗病基因的 70 份, 含 1 个抗病基因的 106 份; 暴会会等^[10]对 32 份番茄材料进行抗性基因(*Ty-2*、*Ty-3*、*I-2*、*Ph-3*、*Tm-1*、*Mi* 和 *Rin*) 分子标记辅助选择, 结果表明含有 *Ty-3* 的材料 2 份, 含 *I-2* 的 23 份, 含 *Mi-1* 的 8 份, 含 *Rin* 的 5 份。随着人民生活水平的不断提高, 人们更加关注于番茄的口感、风味和营养物质, 对优质番茄需求量增加, 学者们对番茄品质特性的研究也从未停止。赵鹤等^[11]对 5 个中果型番茄和 5 个小果型番茄进行了果形、果色、心室数和果肉厚等外观品质以及可溶性固形物含量(TSS)、可滴定酸含量和番茄红素等营养品质进行了对比, 筛选出了糖酸比和可溶性糖含量较高, 果实风味品质较好的中果型番茄‘绝粉 702’、‘桃星’及樱桃番茄‘千禧’、‘维纳斯’。但目前利用分子标记辅助和营养品质筛选优质多抗资源

的综合选育研究工作较少。因此, 培育抗病(尤其是多抗)、高品质和适合国内设施栽培的樱桃番茄新品种是今后一段时期我们面临的最重要的育种任务^[12]。

本研究利用分子标记技术对已有的及新引进的樱桃番茄资源进行了黄化曲叶病毒病抗病基因 *Ty-1*、*Ty-2* (BBC83286)、斑萎病抗病基因 *Sw-5* (LOC101248920)、根结线虫病抗病基因 *Mi-1* (AF039681)、颈腐根腐病抗病基因 *Frl*、叶霉病抗病基因 *Cf-5* (101266520)、*Cf-9* (U15936)、灰叶斑病抗病基因 *Sm* (XP_015159005)、枯萎病抗病基因 *I-2* (AF118127)、*I-3* (PRJNA413174) 和晚疫病抗病基因 *Ph-3* (KJ563933) 共 11 个抗性基因^[13-21] (8 种病害) 的检测, 同时对筛选出的多抗资源进行 TSS 含量、总酸含量、固酸比、*L** (Luminosity, 代表明亮度)、*a** (Redness, 代表从红色至绿色的范围)、*b** (Yellowness, 代表从黄色至蓝色的范围)、番茄红素和硬度等营养品质、风味品质和贮藏品质进行综合分析, 以期获得多抗且优质的樱桃番茄资源, 为樱桃番茄新品种选育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

试验用樱桃番茄植株叶片及果实采于河北省农科院经作所大河园区三连栋日光温室内。本研究选择的 59 个番茄品种, 品种名称及编号见表 1。每个品种选取 10~12 株采集幼嫩叶片, 共 696 份番茄材料。

1.2 仪器和设备

ATAGO PAL-BX ACID F5 糖度计(ATAGO 公司, 日本), 游标卡尺(天津市量具刃具有限公司, 天津), JA21002 电子天平(上海精密科学仪器有限公司, 上海)。

1.3 测定方法

1.3.1 纵径、横径、果肉厚和单果重的测定

参照李锡香等^[22]的方法进行测定。

1.3.2 可溶性固形物含量、总酸含量和固酸比的测定

使用 ATAGO PAL-BX ACID F5 糖度计测定,

测前以蒸馏水调零。测定可溶性固形物含量时,在第二穗果实成熟期,随机选取第二穗果上有代表性、成熟度适宜且无污染的樱桃番茄果实,切碎,混匀,用纱布挤出匀浆汁液测定。取 100 μL 溶液滴加在感应器上,打开仪器,测量可溶性固形物的含量,重复 3 次后取平均值,并计算标准差。总酸含量测量时,取 1 g 上述匀浆汁液加蒸馏水至 50 g,搅拌均匀,取 100 μL 溶液滴加在感应器上,在测糖的基础上点

击仪器 Start 按键继续测量,即可得到总酸含量。固酸比为可溶性固形物含量和总酸含量的比值^[23]。

1.3.3 色度的检测

参照裴娇艳等^[24]的方法,用 CS-580 分光测色仪测定。随机选择充分成熟的果实,沿果面赤道一周均匀取 3 个点,测量 L^* 、 a^* 和 b^* 值。 L^* 值反映了果实的亮度, a^* 值和 b^* 值反映果实的颜色。 a^* 值大,则红色越深; b^* 值大,则黄色越深。

表 1 樱桃番茄种质资源

Table 1 Number and source of cherry tomato germplasm resources

| 编号 Number | 品种名称 Species name | 编号 Number | 品种名称 Species name | 编号 Number | 品种名称 Species name |
|--------------|-------------------------------|--------------|-------------------------|--------------|------------------------------|
| 165 | S18-01 F ₂ | 185 | WT-21 F ₂ | 205 | 寿光红樱桃 F ₂ |
| 166 | 粉雅 F ₂ | 186 | WT-23 F ₂ | 206 | 粉妃 F ₂ |
| 167 | 粉 90 F ₂ | 187 | 红钻 2 号 F ₂ | 207 | 皇妃 F ₂ |
| 168 | 贝丝 F ₂ | 188 | 黄钻 F ₂ | 208 | 2024 F ₂ |
| 169 | 广樱 1 号 F ₂ | 189 | 樱莎黄 F ₂ | 209 | 2029 F ₂ |
| 170 | 广樱 2 号 F ₂ | 190 | 哈研花生柿子 F ₂ | 210 | 2028 F ₂ |
| 171 | 广樱 3 号 F ₂ | 191 | JS502 F ₂ | 211 | 2027 F ₂ |
| 172 | 广樱 4 号 F ₂ | 192 | 酒宾 1 号 F ₂ | 212 | 2026 F ₂ |
| 173 | 广樱 5 号 F ₂ | 193 | Y18-04 黄 F ₂ | 213 | 樱桃 50 号 F ₂ -1 |
| 174 | 广樱 6 号 F ₂ | 194 | Y18-04 红 F ₂ | 214 | 樱桃 50 号 F ₂ -4 |
| 175 | 广樱 7 号 F ₂ | 195 | 冀东 310 F ₂ | 215 | 樱桃 51 号 F ₂ -18 |
| 176 | 广樱 8 号 F ₂ | 196 | 黄蜜 F ₂ | 216 | 丰宾 F ₂ -8 |
| 177 | 华美 1718-4 F ₂ | 197 | 金阳蜜珠 F ₂ | 217 | 丰宾 F ₂ -10 |
| 178 | 华美 1718-26 F ₂ | 198 | 惠红 F ₂ | 219 | 1665 F ₂ -8 |
| 179 | 华美 1718-70 F ₂ | 199 | 金钰 2 号 F ₂ | 220 | 1665 F ₂ -9 |
| 180 | Sweet honey F ₂ | 200 | 金钰 F ₂ | 224 | 樱桃 29 号 F ₂ -2-7 |
| 181 | 华美 yingzi F ₂ | 201 | 石引 1 号 F ₂ | 225 | 樱桃 29 号 F ₂ -2-10 |
| 182 | 华美 Sweet heart F ₂ | 202 | 花生番茄 F ₂ | 226 | 涿樱 1 号 F ₂ -1-1 |
| 183 | 华美 Sweet heat F ₂ | 203 | 夏日阳光 F ₂ | 227 | 樱桃 55 号 F ₂ -M2 |
| 184 | WT-11 F ₂ | 204 | 冰淇淋番茄 F ₂ | | |

1.3.4 抗性基因的检测

利用 PARMS SNP 检测技术对 T_y-1 和 T_y-2 等 11 个抗性基因进行检测。所用引物由武汉市景肽生物科技有限公司提供(尚未公开)。

其依据的基本原理是: Taq DNA 聚合酶缺少 3'→5'外切酶活性,因此对于 3'末端错配的引物,以

低于正常末端配对引物的速度延伸。当错配碱基的数目达到一定程度或者条件达到一定的严谨程度时,3'末端碱基则因磷酸二酯键形成困难而不能延伸,反应终止,也就得不到特异长度的扩增条带,从而表明模板 DNA 没有与引物 3'末端相应的突变。针对不同的已知突变,设计 3'末端碱基不同的等位

基因正向引物分别对应检测位点的不同碱基。根据 PARMS master mix(武汉市景肽生物科技有限公司)说明书配制 PCR 反应体系后进行 PCR 的扩增, PARMS 采用 FAM 和 HEX 作为报告荧光, ROX 作为参比荧光, 可在具有这 3 种荧光检测通道的酶标仪以及定量 PCR 仪中进行快速检测。本次检测采用 Tecan F200, 扫描 FAM、HEX 和 ROX 信号, 利用 SNP Decoder 对数据进行分析并统计结果。反应体系: 模板 DNA 1 μL ; 2 \times PARMS master mix 5 μL ; 标记引物(10 mmol/L)各 0.15 μL ; 通用反向引物(10 mmol/L)0.4 μL , 以 ddH₂O 补足至 10 μL 。PCR 反应参数: 94 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 15 min; 94 $^{\circ}\text{C}$ 变性 30 s, 65 $^{\circ}\text{C}$ (每循环下降 0.8 $^{\circ}\text{C}$) 1 min, 10 个循环; 95 $^{\circ}\text{C}$ 20 s, 57 $^{\circ}\text{C}$ 1 min, 10 个循环。

1.3.5 番茄红素含量计算

番茄红素质量分数(mg/g)测定时, 选取测定可溶性固形物时的匀浆汁液, 根据 GB 10474—1989^[25] 直接测定。

1.4 数据分析

营养品质相关数据均为 3 次重复后取平均值, 并利用 SPSS 的 Duncan 进行标准差分析及显著性差异分析。

2 结果与分析

2.1 樱桃番茄材料抗性基因检测结果

试验结果表明, 含黄化曲叶病毒病抗性基因 *Ty-1* 的材料共 246 份, 占总植株的 35.3%, 其中含纯合抗性基因的共 99 份, 杂合的 147 份; 不含有 *Ty-1* 抗性基因的有 447 份, 因扩增信号无法明确判读具体分群而无法判断的材料 3 份。含黄化曲叶病毒病抗性基因 *Ty-2* 的材料共 124 份, 占总植株的 17.8%, 其中含有纯合抗性基因的材料共 34 份, 杂合基因材料 90 份; 不含有 *Ty-2* 抗性基因的有 567 份, 无法判断的材料 5 份。从检测结果来看, 番茄材料中含 *Ty-2* 的材料少于含 *Ty-1* 的材料。

材料中含根结线虫病抗性基因 *Mi-1* 的共 403 份, 占总植株的 57.9%, 含有纯合抗性基因材料共 227 份, 杂合基因材料 176 份; 不含有 *Mi-1* 抗性基因的有 285 份, 无法判断的材料 8 份。

材料中含叶霉病抗性基因 *Cf-5* 的共 514 份, 占总植株的 73.8%, 其中含纯合抗性基因的材料共 277 份, 杂合基因的材料 237 份; 不含有 *Cf-5* 抗性基因的有 181 份, 无法判断的材料 1 份。含叶霉病

抗性基因 *Cf-9* 的材料共 138 份, 占总植株的 19.8%, 其中含纯合抗性基因的材料共 102 份, 杂合基因的材料 36 份; 不含有 *Cf-9* 抗性基因的有 555 份, 无法判断的材料 3 份。与其他抗病基因相比, 叶霉病抗病基因在检测的材料中所占比例最高。

材料中含颈腐根腐病标记基因 *FrI949* 的共 225 份, 占总植株的 32.3%, 其中含纯合抗性基因的材料共 119 份, 杂合基因的 106 份; 不含有 *FrI949* 抗性基因的有 466 份, 无法判断的材料 5 份。含颈腐根腐病标记基因 *FrI954* 的材料共 226 份, 占总植株的 32.5%, 其中含纯合抗性基因的材料共 118 份, 杂合基因的材料 108 份; 不含有 *FrI954* 抗性基因的有 468 份, 无法判断的材料 2 份。含颈腐根腐病标记基因 *FrI960* 的材料共 218 份, 占总植株的 31.3%, 其中含纯合抗性基因的材料共 97 份, 杂合基因的 121 份; 不含有 *FrI960* 抗性基因共 478 份。

材料中含枯萎病抗性基因 *I-2* 共 41 份, 占总植株的 5.9%, 其中含纯合抗性基因的材料共 30 份, 杂合基因的材料 11 份; 不含有 *I-2* 抗性基因的有 606 份, 无法判断的材料 49 份。含枯萎病抗性基因 *I-3* 的材料共 33 份, 占总植株的 3.2%, 其中含纯合抗性基因的材料共 10 份, 杂合基因的材料 13 份; 不含有 *I-3* 抗性基因的有 654 份, 无法判断的材料 9 份。从检测结果上来说, 含 *I-2* 和 *I-3* 的资源所占比例相差不大。

含晚疫病抗性基因 *Ph-3* 的材料共 477 份, 占总植株的 68.5%, 其中含纯合抗性基因的材料共 310 份, 杂合基因的材料 167 份; 不含有 *Ph-3* 抗性基因的有 211 份, 无法判断的材料 8 份。检测结果表明, 与其他抗病基因相比, 晚疫病抗病基因在检测的材料中所占比例相对较高。

含灰叶斑病抗性基因 *Sm* 的材料共 337 份, 占总植株的 48.4%, 其中含纯合抗性基因的材料共 301 份, 杂合基因的材料 36 份; 不含有 *Sm* 抗性基因的 354 份, 无法判断的材料 5 份。

含斑萎病抗性基因 *Sw-5* 的材料共 15 份, 均含纯合抗性基因, 占总植株 2.2%, 不含有 *Sw-5* 抗性基因的有 681 份。

从整体来看, 材料中含抗病基因占比较大的抗病基因分比为叶霉病抗病基因 *Cf-5* (73.8%)、晚疫病抗性基因 *Ph-3* (68.5%)、根结线虫病抗病基因 *Mi-1* (57.9%) 和黄化曲叶病毒病抗病基因, 占比不超过 10% 的分别为枯萎病抗病基因 *I-2* (5.9%)、

I-3(3.2%)和斑萎病抗病基因 *Sw-5* (2.2%)。这可能与番茄抗叶霉病和晚疫病育种工作开展的较早有关。

2.2 樱桃番茄材料抗性基因数量统计

通过对 696 份番茄材料的 11 个抗性基因检测结果的统计分析,筛选出具有代表性的多抗资源材料 25 个,分别为 166-10、172-1、177-9、219-11、192-2、170-2、171-3、217-12、180-4、202-3、179-7、204-9、226-2、176-6、214-4、213-8、191-6、215-11、

165-6、189-11、216-5、182-1、205-10、208-2 和 168-5 (表 2)。其中含有 7 个抗性基因的共 4 份,分别为 166-10、172-1、177-9 和 219-11;含有 6 个抗性基因的共 8 份,分别为 192-2、170-2、171-3、217-12、180-4、202-3、179-7 和 204-9;含有 5 个抗性基因的共 5 份,分别为 226-2、176-6、214-4、213-8 和 191-6;含有 4 个抗性基因的共 7 份,分别为 215-11、165-6、189-11、216-5、182-1、205-10 和 208-2;含有 3 个抗性基因的共 1 份,为 168-5。

表 2 樱桃番茄种质资源抗性基因统计

Table 2 Statistics of resistance genes in cherry tomato germplasm resources

| 编号 Number | <i>Ty-1</i> | <i>Ty-2</i> | <i>Cf-5</i> | <i>Cf-9</i> | <i>Frl</i> | <i>I-2</i> | <i>I-3</i> | <i>Mi-1</i> | <i>PH-3</i> | <i>SW-5</i> | <i>SM</i> |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 166-10 | 抗 | 抗 | — | 抗 | H | — | — | 抗 | 抗 | — | 抗 |
| 172-1 | 抗 | H | — | — | H | 抗 | — | 抗 | 抗 | — | 抗 |
| 177-9 | H | — | H | — | H | — | — | H | H | 抗 | H |
| 219-11 | H | 抗 | H | — | 抗 | — | — | H | 抗 | — | 抗 |
| 192-2 | — | 抗 | 抗 | 抗 | 抗 | — | — | — | 抗 | — | 抗 |
| 170-2 | — | 抗 | 抗 | 抗 | 抗 | — | — | — | H | — | 抗 |
| 171-3 | — | H | 抗 | 抗 | 抗 | 抗 | — | — | — | — | 抗 |
| 217-12 | — | — | H | 抗 | 抗 | — | — | H | 抗 | — | 抗 |
| 180-4 | 抗 | — | H | — | — | — | — | 抗 | 抗 | 抗 | 抗 |
| 202-3 | 抗 | — | H | 抗 | 抗 | — | — | 抗 | — | — | 抗 |
| 179-7 | 抗 | — | H | 抗 | — | 抗 | — | 抗 | H | — | — |
| 204-9 | H | — | H | — | H | — | — | 抗 | H | — | 抗 |
| 226-2 | — | 抗 | 抗 | — | 抗 | — | — | — | 抗 | — | 抗 |
| 176-6 | 抗 | — | — | — | H | — | — | 抗 | 抗 | — | 抗 |
| 214-4 | 抗 | — | H | — | — | — | — | 抗 | 抗 | — | 抗 |
| 213-8 | 抗 | — | H | — | — | — | — | 抗 | 抗 | — | 抗 |
| 191-6 | H | — | 抗 | — | — | 抗 | — | — | 抗 | — | 抗 |
| 215-11 | 抗 | — | — | — | 抗 | — | — | 抗 | 抗 | — | — |
| 165-6 | — | — | 抗 | — | 抗 | — | — | — | 抗 | — | 抗 |
| 189-11 | — | — | 抗 | 抗 | 抗 | — | — | — | H | — | — |
| 216-5 | — | — | 抗 | — | 抗 | — | — | — | 抗 | — | 抗 |
| 182-1 | 抗 | — | — | — | — | — | 抗 | 抗 | 抗 | — | — |
| 205-10 | — | — | 抗 | 抗 | 抗 | — | — | — | 抗 | — | — |
| 208-2 | 抗 | — | — | 抗 | H | — | — | 抗 | — | — | — |
| 168-5 | 抗 | — | — | — | — | — | — | 抗 | — | — | 抗 |

注:抗表示含纯合抗性基因,H表示杂合抗性基因,—表示不含抗性基因。

Note: 抗 means homozygous resistance gene. H means heterozygous resistance gene. — means no resistance gene.

2.3 多抗樱桃番茄材料品质及外观鉴定

根据 PARMs SNP 检测筛选结果,对 25 个多抗樱桃番茄资源材料进行品质和外观调查及统计,包括果实颜色、果实纵经、果实横径及比

值、汤汁含量、胎座颜色、果皮厚度、心室数量、单果重、口感、可溶性固形物含量、总酸含量和 L^* 、 a^* 和 b^* 值,并计算番茄红素的含量(表 3 和 4)。

表3 多抗樱桃番茄种质资源的外观参数

Table 3 Appearance parameters of multi-resistance cherry tomato resources/varieties

| 编号 Number | 颜色 Color | 横径/cm Transverse diameter | 纵径/cm Vertical diameter | 纵/横比 Transverse- vertical ratio | 汤汁 Juice | 胎座 Placenta | 果皮厚度/cm Fruit wall thickness | 心室数/个 Number of ventricular | 单果重/g Fruit weight | 硬度 Firmness | 口感 Taste |
|--------------|-------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------|----------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|----------------|-------------|
| 166-10 | 深粉 | 3.52 | 3.60 | 1.02 | 少 | 浅绿 | 0.40~0.60 | 2.00 | 10.30 | 硬 | 淡 |
| 172-1 | 深黄 | 3.06 | 3.98 | 1.30 | 中 | 浅绿 | 0.50 | 2.00~3.00 | 21.60 | 硬 | 酸 |
| 177-9 | 深粉 | 2.96 | 4.04 | 1.36 | 少 | 浅绿 | 0.30~0.50 | 2.00 | 19.60 | 硬 | 淡 |
| 219-11 | 深红 | 3.36 | 3.20 | 0.95 | 中 | 红 | 0.40 | 2.00 | 16.00 | 硬 | 淡 |
| 192-2 | 深粉 | 3.52 | 4.04 | 1.15 | 中 | 粉红 | 0.30 | 2.00~4.00 | 24.60 | 硬 | 淡 |
| 170-2 | 粉红 | 3.30 | 4.42 | 1.34 | 中 | 粉红 | 0.40 | 2.00 | 25.00 | 硬 | 酸 |
| 171-3 | 粉红 | 3.66 | 3.72 | 1.02 | 多 | 粉红 | 0.40 | 2.00 | 27.50 | 硬 | 酸 |
| 217-12 | 粉红 | 3.10 | 3.16 | 1.02 | 多 | 粉红 | 0.50 | 2.00 | 28.70 | 硬 | 甜 |
| 180-4 | 深红 | 3.46 | 4.00 | 1.16 | 少 | 红 | 0.40 | 2.00 | 15.50 | 硬 | 甜 |
| 202-3 | 深粉 | 3.86 | 3.70 | 0.96 | 中 | 粉红 | 0.30~0.50 | 2.00 | 17.50 | 硬 | 甜 |
| 179-7 | 粉红 | 3.00 | 2.90 | 0.97 | 中 | 粉红 | 0.30 | 2.00 | 24.10 | 硬 | 酸甜 |
| 204-9 | 浅红 | 2.96 | 4.04 | 1.36 | 多 | 红 | 0.40 | 2.00 | 11.80 | 硬 | 甜 |
| 226-2 | 黄 | 2.06 | 2.28 | 1.11 | 少 | 黄 | 0.30 | 2.00 | 24.90 | 硬 | 酸 |
| 176-6 | 粉红 | 3.58 | 4.10 | 1.15 | 少 | 粉红 | 0.30~0.40 | 2.00 | 19.40 | 硬 | 甜 |
| 214-4 | 深红 | 3.24 | 3.48 | 1.07 | 中 | 红 | 0.30~0.50 | 2.00 | 21.20 | 硬 | 酸甜 |
| 213-8 | 粉红 | 3.34 | 3.38 | 1.01 | 中 | 粉红 | 0.40 | 2.00 | 20.30 | 硬 | 酸甜 |
| 191-6 | 粉红 | 4.48 | 5.14 | 1.15 | 中 | 粉红 | 0.40 | 2.00 | 27.00 | 硬 | 酸 |
| 215-11 | 浅黄 | 2.62 | 3.04 | 1.16 | 少 | 黄白 | 0.40 | 2.00 | 19.70 | 硬 | 酸 |
| 165-6 | 黄红 | 3.22 | 4.04 | 1.25 | 少 | 黄 | 0.20~0.70 | 2.00 | 13.20 | 硬 | 甜 |
| 189-11 | 浅黄 | 3.34 | 3.54 | 1.06 | 多 | 黄白 | 0.50~0.70 | 2.00 | 27.90 | 硬 | 淡 |
| 216-5 | 粉红 | 3.10 | 3.82 | 1.23 | 多 | 粉红 | 0.50 | 2.00~3.00 | 31.50 | 硬 | 淡 |
| 182-1 | 红黄 | 3.32 | 3.82 | 1.15 | 中 | 黄 | 0.30 | 2.00 | 21.10 | 硬 | 甜 |
| 205-10 | 浅红 | 2.86 | 3.98 | 1.39 | 少 | 红 | 0.30 | 2.00 | 3.30 | 硬 | 酸甜 |
| 208-2 | 粉红 | 4.48 | 5.14 | 1.15 | 多 | 粉红 | 0.70 | 2.00 | 10.60 | 硬 | 酸 |
| 168-5 | 粉红 | 2.86 | 3.96 | 1.38 | 少 | 粉红 | 0.40 | 2.00~3.00 | 4.20 | 硬 | 甜 |

表4 多抗樱桃番茄资源的营养品质

Table 4 Quality parameters of multi-resistance cherry tomato resources

| 编号 Number | 可溶性固形物 质量分数/% TSS mass fraction | 总酸质量分数/% Total acidity mass fraction | 固酸比 TSS-acidity ratio | L* 值 L* value | a* 值 a* value | b* 值 b* value | 番茄红素质量 分数(mg/g) Lycopene mass fraction |
|--------------|---------------------------------------|--|--------------------------|------------------|-------------------|------------------|--|
| | 166-10 | 6.00±0.17 ij | 1.02±0.02 e | 5.88±0.21 no | 37.09±0.29 cde | 20.30±0.81 abcde | 11.26±0.32 efg |
| 172-1 | 6.90±0.17 defg | 1.19±0.02 ab | 5.80±0.08 o | 50.20±1.82 a | 22.54±1.94 a | 44.41±3.12 a | 0.02±0.00 n |
| 177-9 | 6.60±0.26 gh | 1.14±0.05 bc | 5.79±0.10 o | 35.27±1.18 ef | 20.52±0.53 abcd | 10.28±0.72 fg | 0.66±0.02 b |
| 219-11 | 7.00±0.26 cdef | 1.19±0.10 ab | 5.88±0.28 mno | 34.94±1.91 ef | 20.38±1.32 abcde | 10.23±0.75 fg | 0.66±0.02 b |
| 192-2 | 5.80±0.20 ij | 0.65±0.03 h | 8.92±0.10 d | 33.53±0.85 f | 17.24±0.41 defg | 9.30±1.43 fg | 0.69±0.02 a |
| 170-2 | 6.50±0.17 h | 0.88±0.04 ghi | 7.39±0.18 i | 34.59±0.86 ef | 16.40±0.81 fg | 8.71±1.10 g | 0.55±0.02 e |
| 171-3 | 5.70±0.20 jk | 0.93±0.02 fg | 6.13±0.08 lm | 36.60±1.01 cde | 18.40±0.71 bcdefg | 10.73±0.68 fg | 0.40±0.02 i |
| 217-12 | 5.10±0.17 lm | 0.61±0.02 h | 8.36±0.05 f | 35.64±0.31 ef | 16.95±1.60 efg | 9.06±1.29 g | 0.54±0.02 e |
| 180-4 | 7.30±0.10 abc | 0.96±0.02 f | 7.60±0.05 hi | 34.73±0.89 ef | 20.83±1.22 abc | 10.85±0.8 fg | 0.49±0.02 gf |
| 202-3 | 7.10±0.20 bcde | 0.76±0.03 j | 9.34±0.12 c | 34.27±0.86 ef | 19.06±0.38 abcdef | 9.71±0.48 fg | 0.63±0.02 c |
| 179-7 | 6.70±0.26 fgh | 0.83±0.07 i | 8.09±0.38 g | 35.84±0.04 def | 19.14±1.58 abcdef | 9.93±0.78 fg | 0.59±0.02 d |
| 204-9 | 6.10±0.20 i | 0.92±0.03 fgh | 6.63±0.07 k | 35.63±1.08 ef | 19.74±1.52 abcdef | 14.34±2.46 def | 0.19±0.02 j |
| 226-2 | 5.10±0.10 lm | 0.73±0.02 j | 6.99±0.05 j | 38.70±0.52 cd | 22.20±0.54 a | 24.20±0.32 c | 0.05±0.00 m |
| 176-6 | 7.40±0.17 ab | 0.86±0.01 hi | 8.61±0.12 e | 36.59±0.32 cde | 20.45±0.74 abcde | 11.07±1.89 efg | 0.51±0.02 f |
| 214-4 | 6.90±0.20 defg | 1.07±0.02 de | 6.45±0.07 k | 35.58±0.87 ef | 19.24±1.22 abcdef | 9.87±0.45 fg | 0.61±0.02 cd |
| 213-8 | 6.80±0.20 efgh | 1.12±0.03 cd | 6.07±0.06 lmn | 36.12±0.65 def | 17.68±1.04 cdefg | 9.72±0.28 fg | 0.49±0.01 gf |
| 191-6 | 6.80±0.00 efgh | 1.10±0.01 cd | 6.18±0.06 l | 37.04±0.70 cde | 15.42±0.88 g | 8.47±0.63 g | 0.43±0.01 h |
| 215-11 | 7.50±0.17 a | 1.21±0.04 a | 6.20±0.08 l | 42.24±0.55 b | 8.24±1.02 h | 27.93±3.45 c | 0.01±0.00 n |
| 165-6 | 6.70±0.26 fgh | 0.86±0.02 hi | 7.79±0.16 h | 35.04±0.55 ef | 22.36±1.01 a | 17.10±0.44 d | 0.16±0.01 k |
| 189-11 | 5.40±0.20 kl | 0.60±0.03 h | 9.00±0.14 d | 40.65±1.43 b | 8.48±0.95 h | 32.49±3.92 b | 0.00±0.00 n |
| 216-5 | 4.90±0.17 m | 0.50±0.02 i | 9.80±0.01 b | 36.77±0.92 cde | 21.48±1.41 ab | 11.06±0.44 efg | 0.61±0.02 cd |
| 182-1 | 6.70±0.10 fgh | 0.66±0.01 h | 10.20±0.09 a | 35.64±0.63 ef | 21.77±1.17 ab | 18.16±0.88 d | 0.12±0.02 l |
| 205-10 | 7.20±0.10 abcd | 0.96±0.02 f | 7.50±0.05 i | 33.34±0.65 f | 17.30±1.24 defg | 15.59±1.23 de | 0.10±0.00 l |
| 208-2 | 4.00±0.10 n | 0.53±0.01 i | 7.55±0.05 i | 39.07±0.44 c | 20.68±1.09 abc | 11.77±0.55 efg | 0.44±0.01 h |
| 168-5 | 7.50±0.20 a | 0.89±0.02 ghi | 8.43±0.04 ef | 35.69±0.94 ef | 18.49±1.01 bcdefg | 10.05±0.12 fg | 0.51±0.02 f |

注:同列数据不同字母表示差异显著($P<0.05$),相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。Note: Within the same column, different letters represent significant differences ($P<0.05$), while the same letters represent no significant differences ($P>0.05$).

TSS质量分数 $>6.70\%$ 的资源有14个,215-11和168-5质量分数最高,均达到了 7.50% ,其中168-5口感较甜;总酸质量分数 $>0.83\%$ 的资源有17个,215-11、219-11和172-1号分别达 1.21% 、 1.19% 和 1.19% ,口感较酸。TSS质量分数 $>6.70\%$,总酸质量分数 $>0.86\%$,固酸比在 $7.50\sim 8.61$ 的资源有176-6、168-5、179-7、165-6、180-4和205-10,固酸比分别为 8.61 、 8.43 、 8.07 、 7.79 、 7.60 和 7.50 。综合抗病性、TSS含量、总酸含量、固酸比和外观品质,筛选出多抗优质的资源6份,其中含有6个抗性基因的优质资源为180-4和179-7,含有5个抗性基因的优质资源为176-6,含有4个抗性基因的优质资源为165-6和205-10,含有3个抗性基因的优质资源为168-5。

L^* 值反应果实的亮度,其中172-1号最高,为 50.20 ,215-11和189-11均在 40.00 以上,而192-2和205-10的 L^* 值略低,在 33.00 左右。根据测得的 a^* 和 b^* 值,计算获得番茄红素质量分数 $>0.60\text{ mg/g}$ 的资源有6个,分别为192-2、177-9、219-11、202-3、214-4和216-5,192-2号番茄红素质量分数最高,为 0.69 mg/g ,果实为深红或深粉色,即颜色越深,番茄红素的含量越高;189-11、215-11和172-1号果实颜色为浅黄及深黄,番茄红素质量分数较低,仅为 0 、 0.01 和 0.02 mg/g ,即果实颜色越浅,番茄红素含量越低。综合抗病性、番茄红素含量及外观品质,筛选出多抗且番茄红素含量高的资源6份,其中含有7个抗性基因的优质资源为177-9和219-11,含有6个抗性基因的优质资源为192-2和202-3,含有5个抗性基因的优质资源为214-4,含有4个抗性基因的优质资源为216-5。

3 结论与讨论

陈宝玲等^[8]利用分子标记技术最终筛选出同时含有7个抗性基因的材料1份,含有6个抗性基因的材料5份,含有5个抗性基因的材料2份,8份多抗材料中,仅1份材料为樱桃番茄(含5个抗性基因),其余为大果型或中果型材料。陈莉菁等^[9]利用功能标记对234份番茄材料进行5个抗病基因的检测,得到最多含4个抗性基因的材料6份,其中,3份材料为大果番茄,3份材料为樱桃番茄。本研究通过分子标记技术对696份番茄材料进行11个抗性基因检测,筛选出25个代表性多抗(三抗及以上)樱桃番茄资源,占比 42.4% ,7个抗性基因以上的有

4份,占比 6.8% ,含有6个抗性基因的共8份,占比 13.6% 。本研究筛选出多抗材料较多的原因可能是因为上述研究取样不分大小果,检测的抗病基因数量少,而本研究检测了11个抗性基因,较7个抗性基因筛选目标性较多,且番茄材料份数较多。

邓红山等^[26]通过对41份番茄材料生物学性状及抗病性分析,筛选出3种及以上抗性的材料7份,果实硬度好的材料2份,占比 4.9% 。本研究综合抗病性、TSS含量、总酸含量、固酸比及外观品质,筛选出多抗优质番茄资源6份,占比 10.2% ,可能是因为樱桃番茄本身优质多抗资源占比较大。

本研究发现,25个代表性多抗樱桃番茄种质资源TSS含量、总酸含量和固酸比差异较大,TSS含量最高的为215-11及168-5号,168-5号口感较甜,215-11号口感较酸,但其风味足,217-12号含糖量较低,但其固酸比较大,口感甜。因此在评价果实口感品质时需结合含糖量及糖酸比进行综合评价,本研究认为TSS质量分数 $>6.70\%$,总酸质量分数 $>0.86\%$,固酸比在 $7.50\sim 8.61$ 的樱桃番茄资源风味佳且品质好,可做为优质番茄的评价依据,这与李丽梅等^[23]结论基本一致。另外口感与风味物质相关性较大,口感也因人而异,优质樱桃番茄资源的评价标准和方法有待于进一步研究。

综合抗病性与品质来看,166-10含多个抗病基因,但TSS和番茄红素含量较低,风味欠佳;168-5含抗病基因较少,TSS和番茄红素含量较高,且糖酸比较高,风味较好。因此,在筛选优质多抗樱桃番茄种质资源时需注意考虑抗病性与品质,同时综合产量等其它农艺性状,才能同时满足种植户和消费者的需求。

参考文献 References

- [1] 齐乃敏,杨少军,朱龙英,刑强,丁海东,薛林宝,朱为民. 番茄主要品质性状的遗传研究进展[J]. 上海农业学报, 2006, 22(4): 140-143
- Qi N M, Yang S J, Zhu L Y, Xing Q, Ding H D, Xue L B, Zhu W M. Advance in genetic research into main quality characters of tomato[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2006, 22(4): 140-143 (in Chinese)
- [2] 郑金亮,孙涌栋,常怀成,郝明贤. 不同水溶性肥料对樱桃番茄产量、可溶性固形物及有机酸含量的影响研究[J]. 种子科技, 2020, 38(3): 11-12, 14
- Zheng J L, Sun Y D, Chang H C, Hao M X. Effects of different water-soluble fertilizers on yield, soluble solids and

- organic acid content of cherry tomato [J]. *Seed Science & Technology*, 2020, 38(3): 11-12, 14 (in Chinese)
- [3] 任海龙, 徐麟, 陈积豪, 符小发, 王天地, 高强. 鲜食番茄品种对比试验[J]. *农村科技*, 2016(10): 55-56
Ren H L, Xu L, Chen J H, Fu X F, Wang T D, Gao Q. Comparison test of fresh tomato varieties[J]. *Rural Science & Technology*, 2016(10): 55-56 (in Chinese)
- [4] 王明琦. 番茄抗病种质资源的分子鉴定及其抗病性分析[D]. 上海: 上海交通大学, 2019
Wang M Q. Molecular identification and diseases resistance analysis of resistant germplasm resources in tomato [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2019 (in Chinese)
- [5] 朱明涛. 番茄分子抗病育种研究进展[J]. *北方园艺*, 2010(23): 200-203
Zhu M T. Research progress on molecular breeding for disease resistance of tomato[J]. *Northern Horticulture*, 2010(23): 200-203 (in Chinese)
- [6] 宋建军, 王琳珊, 田鹏, 王瑞飞. 番茄主要病害抗病基因分子标记的研究进展[J]. *东北农业大学学报*, 2012, 43(4): 1-10
Song J J, Wang L S, Tian P, Wang R F. Research progress on molecular marker disease for resistance genes in tomato[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2012, 43(4): 1-10 (in Chinese)
- [7] 尹庆珍, 杨超沙, 尹伟平, 张立永, 王国华. 优质抗病耐运番茄新品种冀番 137 和冀番 138 的选育[J]. *河北农业科学*, 2017, 21(3): 86-88
Yin Q Z, Yang C S, Yin W P, Zhang L Y, Wang G H. Breeding of high quality, disease resistant and tolerant to transport tomato varieties Jifan137 and Jifan138[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2017, 21(3): 86-88 (in Chinese)
- [8] 陈宝玲, 甘桂云, 王先裕, 于琴芝, 龙安四. 126 份番茄材料的抗性基因分子标记检测[J]. *中国蔬菜*, 2016(6): 34-41
Chen B L, Gan G Y, Wang X Y, Yu Q Z, Long A S. Molecular marker detection of resistant genes from 126 tomato varieties[J]. *China Vegetables*, 2016(6): 34-41 (in Chinese)
- [9] 陈莉菁, 刘子记, 谢尚潜, 凌鹏, 朱婕. 5 个抗病基因功能标记在 234 份番茄材料中的检测[J]. *热带作物学报*, 2021, 42(6): 1685-1693
Chen L J, Liu Z J, Xie S Q, Ling P, Zhu J. Detection of five disease resistance genes in 234 tomato materials with functional markers[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2021, 42(6): 1685-1693 (in Chinese)
- [10] 暴会会, 张杰, 赵凯, 谢俊俊, 杨飞, 杨正安. 不同番茄亲本材料 7 个抗性基因的分子标记检测[C]//2018 中国园艺学会学术年会论文集. 青岛: 中国园艺学会, 2018: 155
Bao H H, Zhang J, Zhao K, Xie J J, Yang F, Yang Z A. Molecular marker detection of 7 resistance genes in different tomato parent materials. [C] In: *Proceedings of the Chinese Society for Horticultural Science Annual Conference 2018*. Qingdao, Chinese Society for Horticultural Science, 2018: 155 (in Chinese)
- [11] 赵鹤, 王铁臣, 徐进, 苏铁, 祝宁, 侯爽. 塑料大棚高品质番茄品种筛选[J]. *蔬菜*, 2020(11): 67-70
Zhao H, Wang T C, Xu J, Su T, Zhu N, Hou S. Screening test of high quality tomato cultivars in plastic greenhouse[J]. *Vegetables*, 2020(11): 67-70 (in Chinese)
- [12] 王丽, 孙兆军, 胥志文. 绿色食品樱桃番茄生产技术规程[J]. *农业科技通讯*, 2020(7): 290-292
Wang L, Sun Z J, Xu Z W. Technical regulation of green food cherry tomato production [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2020(7): 290-292 (in Chinese)
- [13] Caro M, Verlaan M G, Julián O, Finkers R, Wolters A M A, Hutton S F, Scott J W, Kormelink R, Visser R G F, Diez M J, Pérez-de-Castro A, Bai Y L. Assessing the genetic variation of *Ty-1* and *Ty-3* alleles conferring resistance to tomato yellow leaf curl virus in a broad tomato germplasm[J]. *Molecular Breeding*, 2015, 35(6): 1-13
- [14] Yang X H, Caro M, Hutton S F, Scott J W, Guo Y M, Wang X X, Rashid M H, Szinay D, Jong H, Visser R G F, Bai Y L, Du Y C. Fine mapping of the tomato yellow leaf curl virus resistance gene *Ty-2* on chromosome 11 of tomato [J]. *Molecular Breeding*, 2014, 34(2): 749-760
- [15] 邱树亮, 王孝宣, 杜永臣, 高建昌, 国艳梅, 朱德蔚, 胡鸿, 李宝聚, 石延霞. 番茄斑萎病毒 TSWV 的鉴定及抗病种质的筛选[J]. *园艺学报*, 2012, 39(6): 1107-1114
Qiu S L, Wang X X, Du Y C, Gao J C, Guo Y M, Zhu D W, Hu H, Li B J, Shi Y X. Identification of tomato spotted wilt virus (TSWV) and screening for resistant sources in tomato [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2012, 39(6): 1107-1114 (in Chinese)
- [16] 朱明涛, 孙亚林, 郑莎, 张晓黎, 王涛涛, 叶志彪, 李汉霞. 分子标记辅助聚合番茄抗病基因育种[J]. *园艺学报*, 2010, 37(9): 1416-1422
Zhu M T, Sun Y L, Zheng S, Zhang X L, Wang T T, Ye Z B, Li H X. Pyramiding disease resistance genes by molecular marker-assisted selection in tomato [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2010, 37(9): 1416-1422 (in Chinese)
- [17] Staniaszek M, Szczechura W, Marczewski W. Identification of a new molecular marker C2-25 linked to the *Fusarium oxysporum* f sp *radicis-lycopersici* resistance *Frl* gene in tomato[J]. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 2014, 50(4): 285-287
- [18] 于拴仓, 柴敏, 郑晓鹰, 姜立纲. 番茄叶霉病抗性基因 *Cf-5* 的 CAPS 标记建立[J]. *分子植物育种*, 2005, 3(1): 57-60
Yu S C, Chai M, Zheng X Y, Jiang L G. A CAPS marker for leaf mould resistance gene *Cf-5* in tomato[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2005, 3(1): 57-60 (in Chinese)
- [19] 苏晓梅. 番茄抗灰叶斑病基因 *Sm* 的精细定位与克隆[D]. 北京: 中国农业大学, 2018
Su X M. Fine mapping and cloning of the *Sm* gene conferring resistance to gray leaf spot in tomato [D]. Beijing: China

- Agricultural University, 2018 (in Chinese)
- [20] Li J, Chitwood J, Menda N, Mueller L, Hutton S F. Linkage between the *I-3* gene for resistance to *Fusarium* wilt race 3 and increased sensitivity to bacterial spot in tomato[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2018, 131(1): 145-155
- [21] Jung J, Kim H J, Lee J M, Oh C S, Lee H, Yeam I. Gene-based molecular marker system for multiple disease resistances in tomato against tomato yellow leaf curl virus, late blight, and verticillium wilt[J]. *Euphytica*, 2015, 205(2): 599-613
- [22] 李锡香, 杜永臣. 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
- Li X X, Du Y C. *Descriptors and Data Standard for Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill)* [M]. Beijing: Agricultural Press of China, 2006 (in Chinese)
- [23] 李丽梅, 杨超沙, 张立永, 尹庆珍, 毛向宏. 优质番茄种质资源品质分析及综合评价[J]. 华北农学报, 2020, 35(S1): 85-92
- Li L M, Yang C S, Zhang L Y, Yin Q Z, Mao X H. Quality analysis and comprehensive evaluation of high quality tomato germplasm resources[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2020, 35(S1): 85-92 (in Chinese)
- [24] 裴娇艳, 杨震峰, 许凤, 郑永华. 基于绿熟番茄果实 L^* 值的番茄红素含量预测模型建立[J]. 食品科学, 2010, 31(10): 296-300
- Pei J Y, Yang Z F, Xu F, Zheng Y H. Prediction model, based on L^* value, of lycopene content of mature green tomato[J]. *Food Science*, 2010, 31(10): 296-300 (in Chinese)
- [25] GB/T 10474—1989. 番茄汁[S]. 北京: 中国标准出版社, 1989
- GB/T 10474—1989. Tomato juice[S]. Beijing: China Standard Press, 1989 (in Chinese)
- [26] 邓红山, 但忠, 木万福, 袁建明, 苏银玲, 杨龙. 番茄种质资源主要生物学性状观察与评价[J]. 热带农业科学, 2016, 36(6): 50-53
- Deng H S, Dan Z, Mu W F, Yuan J M, Su Y L, Yang L. Observation and evaluation on biological characteristics of tomato germplasm resources[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2016, 36(6): 50-53 (in Chinese)

责任编辑: 董金波