

## 两种栽培模式下樱桃番茄品种筛选试验

李连华<sup>1</sup>, 钟 勇<sup>2</sup>, 蒋 强<sup>1</sup>, 韦淑丹<sup>3</sup>, 习 鹏<sup>4</sup>, 荆子桓<sup>5</sup>

(1. 百色市现代农业技术推广中心 广西百色 533612; 2. 广西职业技术学院 南宁 530000;  
3. 广西农业工程职业技术学院 广西崇左 530028; 4. 广西田阳家得乐农业开发有限公司 广西百色 533612;  
5. 广西农业职业技术大学 南宁 530001)

**摘 要:**为筛选出简易设施栽培模式下综合表现最优、适宜推广的自主选育番茄品种,以6个樱桃番茄品种为材料,探究不同番茄品种在简易设施、露天两种栽培模式下的生长势、产量、品质等性状表现,并进行综合评价。结果表明,6个番茄品种中,牛魔王受栽培环境影响最小,在两种栽培模式下均适宜种植。坚强2号、金喜在简易设施栽培模式下的综合表现优于露天栽培,而坚强4号、西大樱粉1号则相反,更适宜在露天栽培模式下种植。综上所述,简易设施栽培模式与适宜品种组合可有效提高番茄品质,有助于番茄产业提质增效。

**关键词:**樱桃番茄;不同栽培模式;品种筛选;品质

中图分类号:S641.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2025)11-157-10

## Screening trial of cherry tomato varieties under two cultivation patterns

LI Lianhua<sup>1</sup>, ZHONG Yong<sup>2</sup>, JIANG Qiang<sup>1</sup>, WEI Shudan<sup>3</sup>, XI Peng<sup>4</sup>, JING Zihuan<sup>5</sup>

(1. Modern Agricultural Technology Research and Extension Center of Baise, Baise 533612, Guangxi, China; 2. Guangxi Vocational & Technical College, Nanning 530000, Guangxi, China; 3. Guangxi Agriculture Engineering Vocational Technical College, Chongzuo 530028, Guangxi, China; 4. Guangxi Tianyang Jiadele Agricultural Development Co., Ltd, Baise 533612, Guangxi, China; 5. Guangxi Vocational University of Agriculture, Nanning 530001, Guangxi, China)

**Abstract:** In order to screen out superior tomato varieties suitable for simple facility cultivation, six cherry tomato varieties were cultivated under two different patterns: Simple facility cultivation and open-field cultivation. Their performance was comprehensively evaluated based on yield, growth potential, disease resistance, commodity and quality. The results showed that Niumowang performed well under both cultivation patterns, Jianqiang No. 2 and Jinxi were more suitable for simple facility cultivation, while Jianqiang No. 4 and Xida Yingfen No. 1 were more suitable for open-field cultivation. Compared with the open-field cultivation pattern, four of the six varieties exhibited better performance in fruit hardness, carotenoid content, lycopene content, single fruit mass, and yield per plant under simple facility cultivation pattern. In conclusion, simple facility cultivation demonstrates better performance in terms of quality, and is an effective cultivation mode to promote the quality improvement of tomato industry.

**Key words:** Cherry tomato; Different cultivation patterns; Variety screening; Quality

樱桃番茄(*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* Alef.)是普通番茄的一个变种,又名圣女果、微型番茄、袖珍番茄等,因其果型小巧、色泽鲜艳、风味独特,且富含维生素C、番茄红素、胡萝卜素等营养物质而深受消费者青睐,是联合国粮农组织大

力推广的“四大果蔬”之一<sup>[1-3]</sup>。据FAO统计,2023年中国番茄的种植面积达 $1.16 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>,年产量超7021万t,是全球番茄种植面积最大、产量最高的国家,我国同期樱桃番茄面积约 $1.5 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,其中超过50%的面积为设施栽培<sup>[4]</sup>。广西作为亚热带地

收稿日期:2025-04-15;修回日期:2025-06-30

基金项目:广西科技计划(桂科AB23026077);广西自然科学基金(2024GXNSFBA010374);百色市科技计划项目(百科202432018);2024年广西农业科技项目(Z2024030)

作者简介:李连华,女,农艺师,主要从事蔬菜新品种引进推广技术研究。E-mail:1503108276@qq.com

通信作者:钟 勇,男,高级农艺师,主要从事蔬菜、果树新品种引进推广、农业病虫害防治技术研究。E-mail:454607979@163.com

区,年均气温 20℃以上,秋冬季气候温暖、霜冻少,是国内番茄秋冬季节露天栽培的主要区域之一,常年种植面积达  $6.36 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,樱桃番茄在百色右江河谷地区的栽培最集中,面积达  $1.87 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,占广西的 29.4%,成为全国秋冬番茄“南菜北运”重要基地。规模化的番茄种植已成为百色当地吸纳劳动力就业、促进农民增收的重要途径<sup>[5]</sup>,是促进地方经济发展的农业支柱产业,对推动产业持续健康发展意义重大。

然而,随着番茄种植产业逐步发展,生产过程中也暴露出制约产业持续发展的关键问题,如露天栽培易受雨水、霜冻等天气影响,番茄品质难以掌控,品质不稳定影响市场回购率和占有率,又如当前品种呈现多、杂、乱的局面,果实品质良莠不齐,难以树立地方品牌,无法实现产业效益的持续,总体产业效益、农民收益不高<sup>[5-6]</sup>。总之,破解当前番茄品质、不稳定的难题是促进地方番茄产业向高质量发展的迫切需求。设施栽培近年受到极大关注,给产业发展带来新方向。设施栽培的优势在于通过人工构建可控环境(如温度、湿度、光照、水分、养分、病虫害防控),有效规避或减轻不良自然条件(如过量降水、低温)的影响,并优化作物生长所需的营养供给。理论上,这种精准的环境调控能够显著影响番茄的生理代谢过程,例如提高光合效率、促进养分吸收利用、调控次生代谢产物合成与积累等,从而提升并稳定果实的关键品质指标及商品性。通过设施栽培实现农作物品质提升和稳定已有大量的成功例子,如程艳莉等<sup>[7]</sup>通过收集全国相关文献进行 Meta 分析,发现在一定的滴灌施肥条件下,与露天栽培相比,设施栽培可提高蔬菜水分利用效率 32.3%、氮肥偏生产力 18.3%、维生素 C 含量 25.6%、含糖量 9.87%,该结果证实了设施环境通过优化水肥利用效率进而促进品质提升。

设施栽培是指人为构建适宜作物生长的环境条件,一定程度上摆脱自然依赖,从而实现稳定高产的现代农业生产方式<sup>[8]</sup>。设施对农业产业升级的重要作用已成为广泛共识,近年来,国家和地方政府出台系列政策推动设施农业发展,如 2023 年中央一号文件明确指出,要实施设施农业现代化提升行动,大力发展现代设施农业。《全国现代设施农业建设规划(2023—2030 年)》进一步明确,到 2030 年,设施蔬菜产量占比提高到 40%。广西也为加快现代设施农业发展,制定了《广西加快推进现代设施农业发展实施方案(2023—2025 年)》,其中重大

任务之一就是发展以节能宜机为主的现代设施种植业,以设施大棚建设和水肥一体化改造为重点,打造右江河谷冬春设施蔬菜产区。在市场需求和政策引导下,百色番茄栽培设施化成为趋势,建设适合当地产业发展需求(水稻-番茄轮作模式)的设施及选用适合设施栽培的优良品种和配套技术是产业发展面对的首要问题。不同番茄品种对环境调控的响应存在差异,因此,筛选出对当地设施环境响应良好、能充分发挥品质潜力的优良品种,是实现设施栽培提质增效目标的关键环节。基于此,笔者开展对自主选育的优良番茄品种在露天和设施避雨栽培模式下的对比试验,旨在从品种与环境互作的角度,为设施栽培模式筛选出综合表现最优、最适合推广的自主选育番茄品种,为地方番茄产业优化升级、提高产业效率提供科学依据。

当前对番茄进行综合评价的方法有隶属函数法、DTOPSIS 法、层次分析法、主成分分析法等。其中,主成分分析法由于协方差矩阵对称,各主成分之间正交,可消除原始数据成分间的相互影响,以降维的方式解决层次分析法中因指标繁杂导致特征值和特征向量精确度复杂的情况而被广泛应用<sup>[9]</sup>,如刘珮君等<sup>[10]</sup>采用主成分分析法对番茄主要农艺性状进行综合评价,从而筛选出性状优良的番茄品种;周艳超等<sup>[11]</sup>利用综合主成分分析法从 29 份樱桃番茄杂交组合中筛选出了高品质的组合。因此,为更准确、客观地评价不同番茄品种在露天和简易设施栽培模式下的综合表现,本研究采用主成分分析法对 2 种栽培模式下的不同番茄品种表现进行综合评价。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

本次试验选用的 6 个番茄品种均为广西大学和广西田阳家得乐农业开发有限公司自主选育的品种。品种名称、来源、类型及主要性状见表 1。

### 1.2 试验地概况

试验地位于广西百色市田阳区百育镇的广西百色国家农业科技园区蔬菜栽培科研示范基地,基地具有简易设施栽培和露天栽培条件,该地处于右江河谷地区,地势平坦,属亚热带季风气候区,年均气温 21.95℃,年日照时数 1600~1900 h,年降水量 1053~1100 mm,无霜期高达 356 d,设施大棚与露天栽培土壤条件一致,均为沙壤土,可在露地大面积种植冬季蔬菜。

表 1 番茄品种名称、来源及主要性状  
Table 1 Name, source and main characters of tomato varieties

名称 Name	来源 Source	果实类型 Fruit type	主要性状 Main characters	简易设施栽培编号 Low-cost protected cultivation number	露天栽培编号 Open-field cultivation number
坚强 2 号 Jianqiang No. 2	广西大学 Guangxi University	粉红果 Pink fruit	无限生长, 抗 ty2 Infinite growth, resistant to ty2	P1	L1
坚强 4 号 Jianqiang No. 4	广西大学 Guangxi University	粉红果 Pink fruit	无限生长, 抗 ty2 Infinite growth, resistant to ty2	P2	L2
金喜 Jinxi	广西田阳家得乐农业开发有限公司 Guangxi Tianyang Jiadele Agricultural Development Co., Ltd.	粉红果 Pink fruit	无限生长, 抗 ty2 Infinite growth, resistant to ty2	P3	L3
牛魔王 Niumowang	广西田阳家得乐农业开发有限公司 Guangxi Tianyang Jiadele Agricultural Development Co., Ltd.	红果 Red fruit	无限生长, 抗 ty2 Infinite growth, resistant to ty2	P4	L4
西大樱粉 1 号 Xida Yingfen No. 1	广西大学 Guangxi University	粉红果 Pink fruit	无限生长, 抗 ty1、ty3 Infinite growth, resistant to ty1, ty3	P5	L5
樱黄 1 号 Yinghuang No. 1	广西大学 Guangxi University	黄果 Yellow fruit	无限生长, 抗 ty2 Infinite growth, resistant to ty2	P6	L6

注:ty 代表番茄黄化曲叶病毒病。  
Note: ty indicates tomato yellow leaf curl virus.

1.3 简易设施栽培设施概况

设施大棚全部为水泥立柱钢架大棚,水泥立柱高 3.8 m,拱棚跨度 6~8 m,棚顶高 2.5~2.8 m,棚肩高约 3.5 m,棚长视田块长度确定,20~30 m 不等,棚顶设置可收放卷膜装置,便于晴天通风、雨天避雨。大棚建设符合水稻-番茄水旱轮作生产需要,使用符合国家标准的建设材料。

1.4 方法

参试品种于 2023 年 9 月 3 日在广西田阳家得乐农业开发有限公司育苗场播种、育苗,2023 年 10 月 20 日分别定植于简易设施栽培和露天栽培环境中。以“栽培模式+品种”的组合定义为一个处理(表 1),采用随机区组排列,3 次重复,种植规格均为垄宽 1.2 m,垄高约 30 cm,沟宽约 50 cm,垄面双行种植,株行距 30 cm×40 cm,双干整枝,每个品种种植 225 株,定植前每 667 m<sup>2</sup>施用 50 kg(N、P、K 质量比 15:15:15)复合肥、280 kg 商品有机肥[有机质含量(w,后同)≥40%]作为底肥。试验地追肥、用药、整枝等田间管理都按当地常规种植方式进行。

1.5 指标测定

于植株生长初花期记录病毒病发病率和发生程度,每个处理随机选取 15 株调查,病情分级参照郜雅欣等<sup>[12]</sup>抗性分级方法进行病情指数分析,分级标准:0 级,无症状;1 级,明脉、轻花叶、小部分黄化、有少量褐斑;3 级,心叶及中部叶片花叶,小部分黄化、有少量褐斑;5 级,心叶及中部叶片花叶,少数

叶片畸形、黄化、有少量褐斑且皱缩或植株轻度矮化;7 级,重花叶,多数叶片畸形且黄化,有较多褐斑,皱缩且叶缘焦枯或植株矮化;9 级,重花叶,畸形,叶片黄化及叶缘焦枯严重,有大量褐斑,植株明显矮化,甚至死亡。

病情指数计算公式如下:

病情指数=Σ(各级病株数×相对级数值)/(调查总株数×最高严重度代表值)×100;

发病率/%=病株数/调查总株×100。

于盛果期测定株高、茎粗、单果质量、单株产量。用卷尺测定从根颈部到生长点最高处的高度,每个处理随机选取 5 株,取平均值为株高;用游标卡尺测定植株离地面 10 cm 处粗度,每个处理随机选取 5 株,取平均值为茎粗;每个处理随机选取 20 个成熟果称质量,取平均值为单果质量;每个处理随机选取 5 株,记录结果数并计算单株产量。每个处理随机选取 5 株,用电子天平分别称量单株地上部和地下部鲜质量,然后将样品用烘箱烘干至恒温,用电子天平称量地上部和地下部干质量。

于果实成熟后进行品质指标测定,每个处理的每个指标随机选取 5 个成熟果,用 GY-14 型果实硬度计测定果实硬度;用便携式数显折光仪(PAL-BX-IACID 55)测定果实可溶性固形物含量;采用苏丹红比色法测定番茄红素含量<sup>[13]</sup>;参考 GB 12456—2021 食品中总酸的测定,采用酸碱滴定法测定有机酸含量<sup>[14]</sup>;采用试剂盒法测定维生素 C 含量,试剂



盒(货号 JC1201-M)来源于南京集测生物科技有限公司;采用分光光度法测定类胡萝卜素含量<sup>[15]</sup>。

1.6 统计分析

通过 Microsoft Excel 2021 对试验数据进行整理计算及图表绘制,利用 IBM SPSS Statistics 27.0 进行单因素方差分析及独立样本 *t* 检验,利用 RStudio 4.4.1 进行主成分综合分析评价。

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式下各番茄品种的生长势及产量比较

由表 2~3 可知,在简易设施栽培模式下,西大樱粉 1 号的株高最高,达到 254.67 cm,植株最矮的是牛魔王,仅 109.33 cm,且其茎粗也最细,樱黄 1 号和坚强 4 号的株高没有显著差异,但樱黄 1 号的

茎粗最粗。坚强 2 号、金喜、牛魔王单果质量 15 g 左右,显著大于其他 3 个品种。单株产量由高到低的品种依次是牛魔王、坚强 2 号、金喜、坚强 4 号、西大樱粉 1 号、樱黄 1 号。由表 3 可知,金喜的植株地上部鲜质量最大,但其地上部干质量仅高于坚强 2 号,牛魔王则相反,表现为地上部鲜质量小,但其地上部干质量大。樱黄 1 号的植株地下部鲜质量显著大于其他品种,但其地下部干质量显著小于金喜。坚强 2 号的地下部鲜质量、干质量均显著小于其他品种。

在露天栽培模式下,植株最高的是金喜,但其茎粗小于西大樱粉 1 号和樱黄 1 号,株高、茎粗最小的仍是牛魔王。在该模式下坚强 4 号的单果质量显著大于其他品种,但就单株产量来看,金喜显著高于其他品种。西大樱粉 1 号的植株地上部鲜

表 2 不同栽培模式下各番茄品种的生长势及产量比较  
Table 2 Comparison of growth potential and yield of tomato varieties under different cultivation patterns

品种 Variety	株高 Plant height/cm		茎粗 Stem thickness/mm		单果质量 Single fruit mass/g		单株产量 Single plant yield/kg	
	简易设施栽培 Low-cost protected cultivation	露天栽培 Open-field cultivation	简易设施栽培 Low-cost protected cultivation	露天栽培 Open-field cultivation	简易设施栽培 Low-cost protected cultivation	露天栽培 Open-field cultivation	简易设施栽培 Low-cost protected cultivation	露天栽培 Open-field cultivation
坚强 2 号 Jianqiang No. 2	126.93±2.70 dB	155.67±1.53 eA	9.62±0.27 cB	10.77±0.24 dA	14.90±0.10 aA	8.94±0.14 cB	2.12±0.02 bA	2.05±0.05 bA
坚强 4 号 Jianqiang No. 4	200.43±2.23 cA	202.67±3.21 dA	9.72±0.27 bcB	10.76±0.23 dA	13.26±0.05 bB	16.87±0.31 aA	1.51±0.06 dB	1.69±0.06 cA
金喜 Jinxi	210.00±2.00 bB	270.67±1.15 aA	10.08±0.15 abB	11.79±0.24 cA	14.70±0.10 aA	11.79±0.08 bB	1.74±0.02 cB	2.61±0.06 aA
牛魔王 Niumowang	109.33±3.06 eB	148.67±2.52 fA	8.23±0.21 dB	9.03±0.15 eA	15.00±0.06 aA	8.62±0.09 cB	2.45±0.10 aA	1.62±0.06 cB
西大樱粉 1 号 Xida Yingfen No. 1	254.67±2.31 aA	235.67±1.53 cB	9.30±0.27 cB	12.35±0.19 bA	11.82±0.05 cA	11.64±0.12 bA	0.99±0.03 eB	1.34±0.03 dA
樱黄 1 号 Yinghuang No. 1	203.67±2.52 cB	265.33±2.52 bA	10.23±0.18 aB	13.21±0.25 aA	5.86±0.63 dB	7.69±0.50 dA	0.75±0.03 fB	0.95±0.05 eA

注:同列数据后不同小写字母表示不同品种在 0.05 水平差异显著。同个指标后不同大写字母表示不同栽培模式在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters after the same column indicate significant difference between different varieties at 0.05 level. Different capital letters after the same column indicate significant difference between different cultivation patterns of the same index at 0.05 level. The same below.

质量、干质量和地下部鲜质量、干质量均显著大于其他品种。坚强 4 号和金喜的地上部生物量、地下部鲜质量没有显著差异。

两种不同模式相比发现,除西大樱粉 1 号的株高外,同一品种在露天栽培模式下的株高、茎粗均显著高于简易设施栽培。除西大樱粉 1 号外,同一品种的单果质量在不同栽培模式下均表现出显著差异。除坚强 2 号外,同一品种的单株产量在不同

栽培模式下均存在显著差异,其中仅牛魔王的单株产量为简易设施栽培模式高于露天栽培模式,其余则相反。露天栽培模式下坚强 2 号、西大樱粉 1 号的地上部鲜质量、干质量和地下部鲜质量、干质量均显著大于简易设施栽培模式。简易设施栽培模式下金喜的地上部鲜质量,坚强 4 号和牛魔王的地上部干质量,坚强 4 号、金喜和樱黄 1 号的地下部鲜质量、干质量显著大于露天栽培模式。

品种 Variety	地上部鲜质量 Shoot fresh mass/kg		地上部干质量 Shoot dry mass/g		地下部鲜质量 Root fresh mass/g		地下部干质量 Root dry mass/g	
	简易设施栽培 Low-cost protected cultivation	露天栽培 Open-field cultivation	简易设施栽培 Low-cost protected cultivation	露天栽培 Open-field cultivation	简易设施栽培 Low-cost protected cultivation	露天栽培 Open-field cultivation	简易设施栽培 Low-cost protected cultivation	露天栽培 Open-field cultivation
坚强 2 号 Jianqiang No. 2	0.82±0.09 cdB	1.16±0.01 bA	107.70±2.91 dB	177.17±3.10 bA	23.60±0.20 eB	39.60±0.62 cA	7.50±0.10 fB	17.60±0.36 cA
坚强 4 号 Jianqiang No. 4	0.99±0.12 bcA	0.96±0.09 cA	144.80±5.54 aA	131.67±4.72 cB	35.13±0.47 cA	21.53±0.38 eB	13.40±0.20 eA	10.10±0.46 eB
金喜 Jinxi	1.32±0.09 aA	0.95±0.05 cB	126.77±3.07 cA	132.90±6.45 cA	41.37±0.50 bA	22.40±0.10 eB	24.57±0.35 aA	12.60±0.26 dB
牛魔王 Niumowang	0.64±0.06 dA	0.67±0.04 dA	138.70±3.10 abA	108.67±1.65 dB	28.77±1.05 dA	29.33±0.21 dA	17.17±0.21 dA	17.30±0.44 cA
西大樱粉 1 号 Xida Yingfen No. 1	1.14±0.16 abB	1.43±0.09 aA	136.27±3.28 bB	216.63±9.91 aA	29.07±0.78 dB	48.37±1.02 aA	20.33±0.51 cB	26.23±1.01 aA
樱黄 1 号 Yinghuang No. 1	0.82±0.04 cdA	0.77±0.06 dA	134.40±1.31 bA	129.10±3.84 cA	53.80±1.54 aA	42.90±0.66 bB	23.17±0.35 bA	18.67±0.25 bB

2.2 不同栽培模式下各番茄品种的品质比较

由图 1 可知,在简易设施栽培模式下,金喜的番茄红素含量最高,但其维生素 C 含量最低。牛魔王的类胡萝卜素含量、维生素 C 含量最高,且硬度最大,但可溶性固形物含量较低。坚强 2 号维生素 C 含量高,但番茄红素含量、可溶性固形物含量均显著低于其他品种。樱黄 1 号的可溶性固形物含量、有机酸含量最高,但其类胡萝卜素含量最低。坚强 4 号的有机酸含量最低,西大樱粉 1 号的果实硬度最小。

在露天栽培模式下,金喜的番茄红素、维生素 C 含量均显著低于其他品种,且可溶性固形物含量也仅高于牛魔王。牛魔王硬度最大,但可溶性固形物含量最低。坚强 4 号的类胡萝卜素、维生素 C 含量均显著高于其他品种,且硬度与牛魔王差异不显著。樱黄 1 号的可溶性固形物含量、有机酸含量最高,但类胡萝卜素含量、果实硬度均显著低于其他品种。番茄红素含量最高的品种是西大樱粉 1 号。

两种栽培模式相比,简易设施栽培模式下金喜的番茄红素含量极显著高于露天栽培模式,坚强 4 号和西大樱粉 1 号则相反。除金喜和樱黄 1 号外,其他品种在露天栽培模式下的类胡萝卜素含量极显著高于简易设施栽培模式。在简易设施栽培模式下,仅牛魔王的维生素 C 含量极显著高于露天栽培模式,其他品种均低于露天栽培模式。所有品种在简易设施栽培模式下的有机酸含量均极显著高于露天栽培模式。金喜、牛魔王、西大樱粉 1 号在

简易设施栽培模式下的可溶性固形物含量显著或极显著高于露天栽培模式,坚强 2 号则相反,坚强 4 号和樱黄 1 号没有显著差异。坚强 2 号、金喜、牛魔王、樱黄 1 号在简易设施栽培模式下的硬度极显著大于露天栽培模式,坚强 4 号、西大樱粉 1 号则相反。

2.3 不同栽培模式下各品种病毒病发生情况

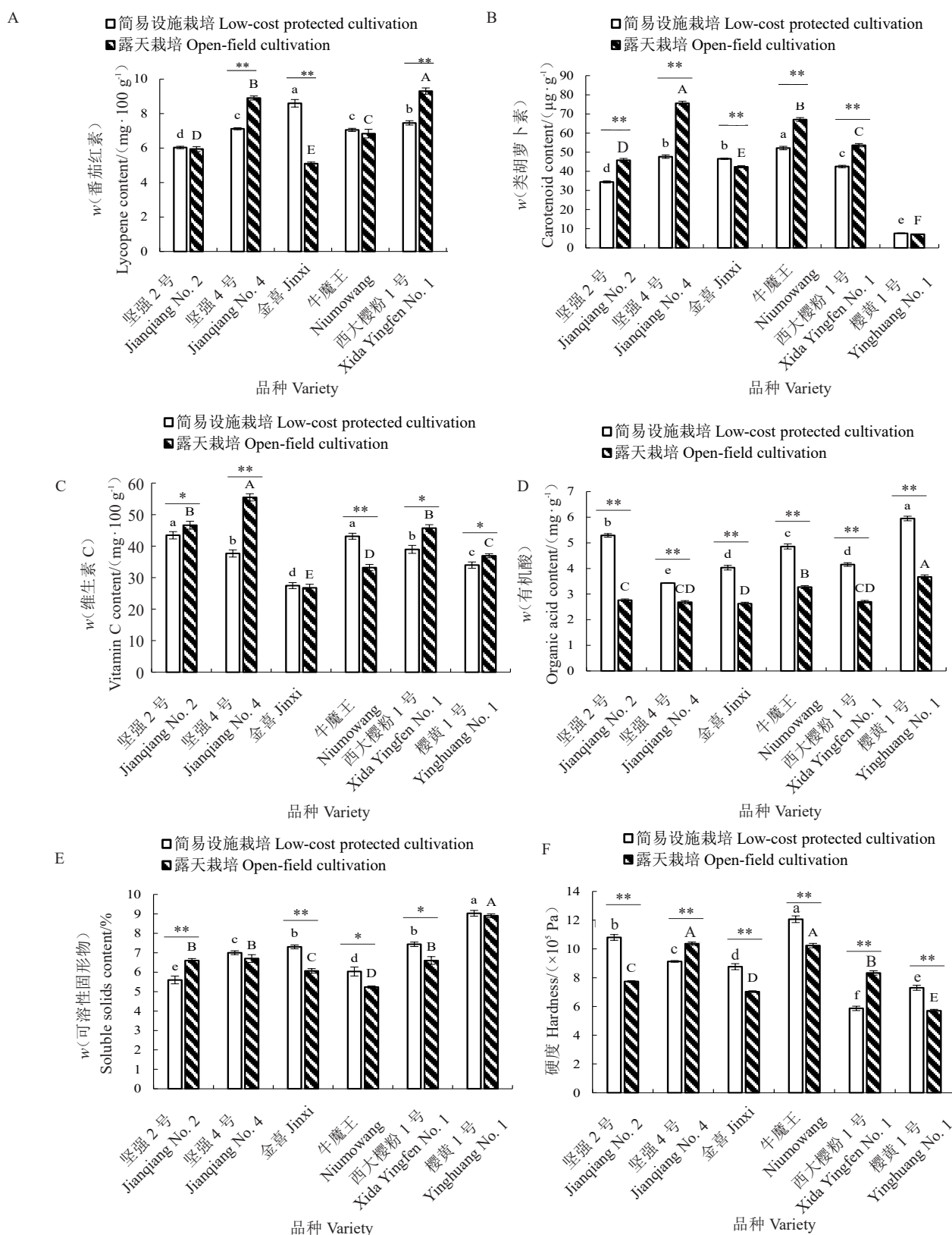
由表 4 可知,在简易设施栽培模式下,坚强 4 号和西大樱粉 1 号均发生了轻度的病毒病,且西大樱粉 1 号的发病率、病情指数高于坚强 4 号。所有品种在露天栽培模式下未发现感染病毒病的病株。

2.4 主成分分析综合评价

对两种栽培模式下 6 个番茄品种的生长、产量、品质数据进行 KMO 和 Bartlett 球形检验,KMO 检验系数为 0.566, Bartlett 球形检验的  $p$  值<0.05 (表 5),表明多个变量间有较强关联性,存在信息重叠,适合进行主成分分析降低维度。

由碎石图(图 2)和方差贡献率(表 6)可知,前 2 个主成分已包含 76.319%性状指标信息。结合得分矩阵(表 7)来看,主成分 1 的特征值是 4.729,方差贡献率是 52.546%,表明可以代表 52.546%的性状信息,主要反映果实硬度、类胡萝卜素和番茄红素含量、单果质量及单株产量;主成分 2 的特征值是 2.140,方差贡献率为 23.773%,主要反映株高和茎粗。

用  $Z_1$ 、 $Z_2$  分别代表 2 个主成分,用  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\cdots$ 、 $X_9$ 、 $X_9$  分别代表 9 个指标,根据表 7 番茄性状相关矩



注:不同小写字母表示简易设施栽培模式下不同品种间在 0.05 水平差异显著,不同大写字母表示露天栽培模式下不同品种间在 0.05 水平差异显著。\*表示在 0.05 水平差异显著;\*\*表示在 0.01 水平差异极显著。樱黄 1 号未检测出番茄红素。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level between different varieties under the simple facility cultivation mode, while different uppercase letters indicate significant difference at 0.05 level between different varieties under the open-field cultivation mode. \* indicates significant difference at 0.05 level; \*\* indicates extremely significant difference at 0.01 level. The lycopene content of Yinghuang No. 1 was not detected.

图 1 不同栽培模式下各番茄品种的果实品质比较

Fig. 1 Comparison of fruit quality of tomato varieties under different cultivation patterns

表 4 不同栽培模式下各品种病毒病发生情况				
Table 4 Occurrence of virus diseases of different varieties under different cultivation patterns				
栽培模式 Cultivation pattern	品种 Variety	病毒病发生率 Incidence of viral disease/%	病情指数 Disease index	发生程度 Occurrence degree
简易设施栽培 Low-cost protected cultivation	坚强 2 号 Jianqiang No. 2	0.00	0.00	未发生 No occurrence
	坚强 4 号 Jianqiang No. 4	6.67	6.67	轻度 Slight occurrence
	金喜 Jinxi	0.00	0.00	未发生 No occurrence
	牛魔王 Niumowang	0.00	0.00	未发生 No occurrence
	西大樱粉 1 号 Xida Yingfen No. 1	26.67	20.00	轻度 Slight occurrence
露天栽培 Open-field cultivation	樱黄 1 号 Yinghuang No. 1	0.00	0.00	未发生 No occurrence
	坚强 2 号 Jianqiang No. 2	0.00	0.00	未发生 No occurrence
	坚强 4 号 Jianqiang No. 4	0.00	0.00	未发生 No occurrence
	金喜 Jinxi	0.00	0.00	未发生 No occurrence
	牛魔王 Niumowang	0.00	0.00	未发生 No occurrence
	西大樱粉 1 号 Xida Yingfen No. 1	0.00	0.00	未发生 No occurrence
	樱黄 1 号 Yinghuang No. 1	0.00	0.00	未发生 No occurrence

表 5 KMO 检验和 Bartlett 检验			
Table 5 KMO test and Bartlett test			
KMO 取样适性量数 KMO sampling suitability quantity	巴特利特球形度检验 Bartlett test		
	近似卡方 Approximate chi-square	自由度 Degree of freedom	显著性 Significance
	0.566	77.118	36 0.000

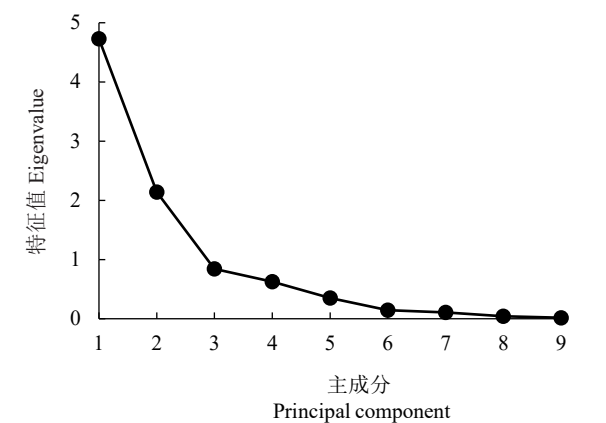


图 2 两种栽培模式下不同番茄品种番茄主成分分析碎石图

Fig. 2 The gravel map of principal component analysis of different tomato varieties under two cultivation patterns

阵的特征向量得出 2 个主成分的线性组合, 分别是:

$$Z_1=-0.65X_1-0.59X_2+0.75X_3+0.72X_4+0.80X_5+0.84X_6-0.19X_7-0.88X_8+0.85X_9;$$
$$Z_2=0.64X_1+0.63X_2+0.15X_3+0.08X_4+0.40X_5+$$

表 6 番茄各个性状主成分分析的方差贡献率			
Table 6 The variance contribution rate of principal component analysis of tomato characters			
主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%
1	4.729	52.546	52.546
2	2.140	23.773	76.319
3	0.843	9.365	85.684
4	0.623	6.918	92.601
5	0.352	3.916	96.518
6	0.147	1.632	98.150
7	0.106	1.181	99.331
8	0.044	0.484	99.815
9	0.017	0.185	100.000

表 7 番茄各个性状主成分分析的得分矩阵

Table 7 Scoring matrix of principal component analysis of tomato characters

指标 Index	主成分 1 Principal component 1	主成分 2 Principal component 2
株高 Plant height	-0.65	0.64
茎粗 Stem thickness	-0.59	0.63
单果质量 Singlefruit mass	0.75	0.15
单株产量 Single plant yield	0.72	0.08
番茄红素含量 Lycopene content	0.80	0.40
类胡萝卜素含量 Carotenoids content	0.84	0.40
有机酸含量 Organic acids content	-0.19	-0.92
可溶性固形物含量 Soluble solids content	-0.88	-0.11
硬度 Hardness	0.85	-0.36

$0.40X_6-0.92X_7-0.11X_8-0.36X_9。$

以主成分 1、主成分 2 对应的方差贡献率作为权数构建出 2 种栽培模式的总评价模型： $Z=0.525Z_1+0.238Z_2$ 。将不同栽培模式下 6 个番茄品种的 9 个指标试验数据进行标准化后代入对应的评价模型中，得到各品种的综合得分值(Z 值)和排序(表 8)，得分越高则综合表现越好。

表 8 番茄各个性状主成分分析的主成分得分及综合得分

Table 8 Principal component scores and comprehensive scores of principal component analysis of tomato characters				
编号 Number	$Z_1$	$Z_2$	Z	排序 Rank
P1	3.717	-2.707	1.307	4
P2	1.068	0.173	0.602	7
P3	1.263	0.249	0.772	5
P4	6.217	-2.904	2.573	2
P5	-2.332	0.393	-1.131	10
P6	-7.998	-3.667	-5.071	12
L1	0.318	0.636	0.318	9
L2	4.412	2.051	2.663	1
L3	-0.412	2.767	0.442	8
L4	3.642	-0.487	1.796	3
L5	-0.099	2.837	0.623	6
L6	-9.526	0.660	-4.844	11

评价结果显示，综合得分排名前五的“品种-栽培模式”是 L2(露天栽培-坚强 4 号)、P4(简易设施栽培-牛魔王)、L4(露天栽培-牛魔王)、P1(简易设施

栽培-坚强 2 号)、P3(简易设施栽培-金喜)。简易设施栽培模式下，综合得分从高到低依次是牛魔王、坚强 2 号、金喜、坚强 4 号、西大樱粉 1 号、樱黄 1 号。露天栽培模式下，综合得分从高到低依次是坚强 4 号、牛魔王、西大樱粉 1 号、金喜、坚强 2 号、樱黄 1 号。除坚强 4 号和西大樱粉 1 号外，简易设施栽培模式下其他品种在主成分 1 上的得分均高于露天栽培模式(图 3)，而主成分 1 主要反映的性状是果实硬度、类胡萝卜素含量、番茄红素含量、单果质量及单株产量，表明简易设施栽培模式更有利于品质提升。

3 讨论与结论

现阶段的大棚简易设施栽培技术在高品质番茄栽培中具有很大的优化提升空间，从表 8 可以发现，简易设施栽培模式下有更多的品种在品质上(主成分 1)的得分高于露天栽培模式，这与 Singh 等<sup>[16]</sup>、Healy 等<sup>[17]</sup>的研究结果一致，即设施栽培常因相对可控的环境，减少了露天环境中的逆境胁迫，从而提高番茄品质。但品质表现好的 P4、P1、P3 在主成分 2(主要反映株高、茎粗)上得分较低。综合来看，简易设施栽培模式下的番茄品种在果实品质及产量上表现良好，但植株长势较弱，造成这一现象的原因可能是两种栽培模式下的土壤水分和光照存在差异。研究表明，番茄植株不同生长时期对水分敏感度不同，不同时期不同的水分管理可显著

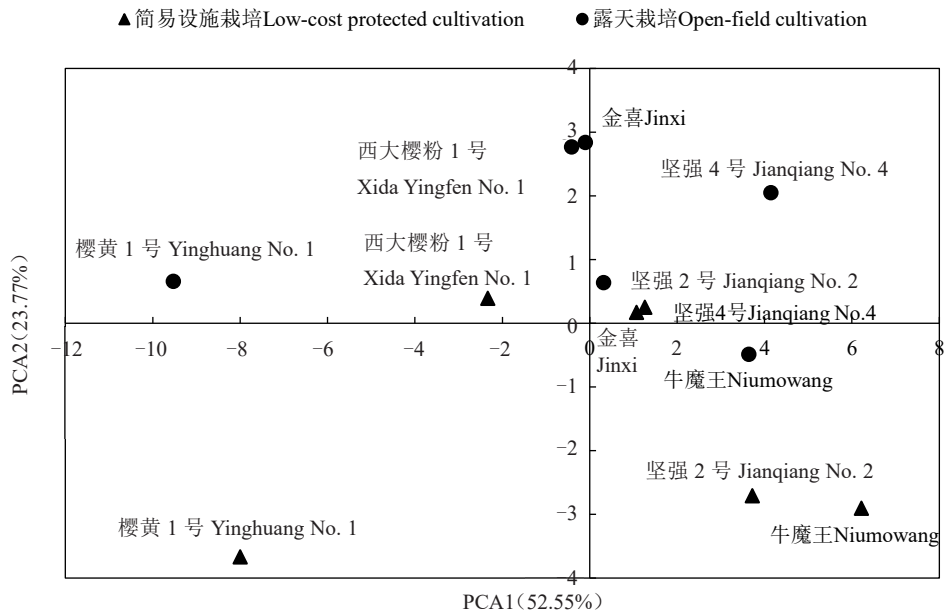


图 3 两种栽培模式下不同番茄品种番茄主成分分析散点图  
Fig. 3 The scatter plot of principal component analysis of different tomato varieties under two cultivation patterns



影响番茄生长、产量及品质,尤其是即将过渡到生殖生长与营养生长并进的开花坐果期,在该时期适当的水分管理有利于植株生长发育和坐果保产<sup>[18]</sup>。因此,精准的水分管理是未来设施栽培模式下载培技术优化的方向之一,但露天栽培无法控制雨水,某一年份的植株长势较好可能存在一定的偶然性。另外,光照也是影响植株生长发育的重要环境因子之一,在本试验中,避雨设施大棚棚顶薄膜虽有较强的透光性,但与露天栽培的阳光直射相比,光合有效辐射有所减弱,加之棚内温度高于露天栽培,相对露天环境植株易偏向于生殖生长,而露天栽培条件可使植株偏向营养生长<sup>[19]</sup>。

针对植株长势较弱这个问题,在实际种植生产中可根据植株实际情况通过调整施肥、优化栽培管理等改善植株生长状况,如不同肥料品种(缓释肥替代常规水溶肥)、合适的氮肥施用量均可提高樱桃番茄株高、茎粗,促进樱桃番茄植株生长并提高产量和果实品质<sup>[20-22]</sup>;此外,胡健泰等<sup>[23]</sup>研究发现,痕量灌溉管的不同布设方式可在一定程度上影响樱桃番茄的生长、品质、产量和水分生产效率,与表层覆盖相比,痕量管理深15 cm的效果更佳。另外,樱桃番茄的生长和品质受到不同栽培模式的影响,在本试验中,坚强4号、西大樱粉1号在露天栽培模式下就优于简易设施栽培,而筛选优良的品种并匹配适宜的栽培模式对未来樱桃番茄的品种选育具有重大价值<sup>[24]</sup>。由此可见,优良品种加适宜设施栽培模式能促进产量和品质的提升,加快产业升级。

在实际生产中,露天栽培因不用投资设施建设,因而生产成本更低,在追求产量的时期具有巨大的优势。但随着人们对果蔬品质的需求日益强烈,露天栽培容易受到不可控的环境因素影响,使得果实品质不稳定的劣势更加凸显。避雨设施高投入的特点也让农户难以接受,影响技术应用规模的扩大,因此在避雨设施建设上应优先考虑简易适用性,降低成本,既符合产业发展要求又减少生产投入成本。试验地采用简易的避雨棚,投资成本约2万元·667 m<sup>2</sup>,使用期限按10年计算,加上每年的维护成本0.05万元·667 m<sup>2</sup>,折合每年成本0.25万元,通过避雨棚生产的番茄裂果率降低8%,硬度提升11%,品质提升带来的价格提高0.6元·kg<sup>-1</sup>,每667 m<sup>2</sup>产量平均按照3500 kg计算,每667 m<sup>2</sup>每年新增产值0.5万元,每667 m<sup>2</sup>每年相较露天栽培新增产值0.25万元。因此,笔者认为利用简易设施栽培技术种植高品质番茄品种拥有巨大的发展潜力。

与大果番茄相比,我国在选育优良樱桃番茄新品种方面的研究工作起步较晚,目前虽已取得较显著成效,但存在品种杂乱、品牌效益低等问题,未来仍有很大的发展空间<sup>[25]</sup>。时至今日,广西百色地区的樱桃番茄主栽品种仍旧处于被外来进口品种垄断的状态,由此带来的种子市场波动、引种混乱、番茄品质不稳定等问题频繁发生<sup>[5-6]</sup>,严重影响了当地种植户的生产效益,不利于番茄产业的长久可持续发展,因此依靠自主选育品种助力地方番茄产业高质量发展显得尤为重要。参与本次试验的所有番茄品种均为广西大学和广西田阳县得乐农业开发有限公司自主选育的品种,这些品种具有抗病抗逆、优质高产、适宜百色种植等特点<sup>[26-28]</sup>,对筛选出的适合避雨设施栽培的番茄品种将进一步研究,探索优化配套栽培技术,实现良种良法加设施协同增效助力当地番茄产业高质量发展。

本试验以6个樱桃番茄品种为材料,探究不同番茄品种在避雨、露天两种栽培模式下的生长势、产量、品质等性状表现,并进行综合评价。结果表明,6个番茄品种中,牛魔王受栽培环境影响最小,在两种栽培模式下均适宜种植。坚强2号、金喜在简易设施栽培模式下的综合表现优于露天栽培模式,而坚强4号、西大樱粉1号则相反,更适宜在露天栽培模式下种植。除坚强4号和西大樱粉1号外,其余品种在简易设施栽培模式下的果实品质、产量等表现均优于露天栽培模式,表明简易设施栽培模式可有效提高番茄品质,是助力番茄产业提质增效的栽培模式。

## 参考文献

- [1] 郑锦荣,李艳红,聂俊,等.设施樱桃番茄产业概况及研究进展[J].广东农业科学,2020,47(12):212-220.
- [2] 王珊珊,杨超沙,尹伟平,等.多抗优质樱桃番茄资源鉴定及筛选[J].中国农业大学学报,2022,27(8):121-130.
- [3] 徐达勋.不同增氧滴灌方法对温室樱桃番茄产量、品质及光合作用的影响[J].江苏农业学报,2020,36(1):152-157.
- [4] 高贤义,王颖,林婷薇,等.台州地区20种樱桃番茄早春设施栽培品比试验[J].长江蔬菜,2025(10):40-44.
- [5] 李文嘉,王益奎,蒋雅琴,等.广西番茄产业基地现状与发展对策[J].中国蔬菜,2014(8):49-51.
- [6] 李文嘉,黎炎,王益奎,等.广西田阳县番茄生产现状及主栽品种[J].中国蔬菜,2011(7):32-34.
- [7] 程艳莉,张芬,刘发波,等.滴灌施肥对不同类型蔬菜和果树产量、水氮利用效率和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2023,29(9):1677-1688.
- [8] 谢伟,闫元元,田兴武,等.宁夏设施栽培对土壤真菌群落结构和功能的影响[J].生态学报,2024,44(18):8383-8396.

- [9] 王文选,季延海,刘明池,等.不同鲜食番茄品种生长和品质综合分析[J].山西农业大学学报(自然科学版),2023,43(5):39-50.
- [10] 刘珮君,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.
- [11] 周艳超,薛坤,葛海燕,等.基于主成分与聚类分析的樱桃番茄品质综合评价[J].浙江农业学报,2021,33(12):2320-2329.
- [12] 郜雅欣,高艳明,李建设,等.宁夏地区不同品种番茄主要病毒病的分子鉴定及抗性评价[J].西北农业学报,2024,33(4):726-735.
- [13] 杨定清,谢永红,王棚,等.番茄中番茄红素检测方法的改进[J].西南农业学报,2010,23(1):277-278.
- [14] 中华人民共和国国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局.食品安全国家标准 食品中总酸的测定:GB 12456—2021[S].北京:中国标准出版社,2021.
- [15] 张建苓.两个番茄 MADS-box 家族基因 *SICMB1* 和 *SIMBP3* 在生殖发育中的功能研究[D].重庆:重庆大学,2018.
- [16] SINGH H, DUNN B, MANESS N, et al. Evaluating performance of cherry and slicer tomato cultivars in greenhouse and open field conditions: Yield and fruit quality[J]. HortScience, 2021,56(8):946-953.
- [17] HEALY GK, EMERSON BJ, DAWSON JC. Tomato variety trials for productivity and quality in organic hoop house versus open field management[J]. Renewable Agriculture and Food Systems, 2017,32(6):562-572.
- [18] 苑蒙飞,徐利岗,窦家珏,等.基于土壤水分下限的设施番茄适宜灌溉控制指标试验[J].南水北调与水利科技(中英文),2024,22(6):1239-1248.
- [19] 李跃洋,苏铁,王胤,等.2020.中国与荷兰设施园艺对比分析[J].中国蔬菜,2020(6):11-15.
- [20] 叶挺,沈婷婷,王欣怡,等.不同缓释肥对樱桃番茄植株生长及基质养分特性的影响[J].中国瓜菜,2024,37(1):122-131.
- [21] 曾博玲,孙权,刘喆,等.不同施氮量对樱桃番茄生长、品质和氮素积累量的影响[J].江苏农业科学,2024,52(1):148-154.
- [22] 王燕武,刘子凡,廖道龙,等.施氮量对番茄果实鲜质量积累的影响[J].中国瓜菜,2021,34(11):85-88.
- [23] 胡健泰,陈其兵,刘兴成,等.痕量灌溉管作地埋滴灌带对基质栽培樱桃番茄生长发育的影响[J].干旱地区农业研究,2024,42(2):158-162.
- [24] 刘志新,郑北平,张洪亮,等.适合无土栽培设施种植的樱桃番茄品种筛选[J].江苏农业科学,2024,52(21):166-174.
- [25] 张国栋.分子标记辅助樱桃番茄自交系筛选及优势杂交组合选育[D].武汉:华中农业大学,2017.
- [26] 吴宏昱,史艳玮,陈彬,等.樱桃番茄新品种坚强2号的选育[J].中国蔬菜,2023(12):96-98.
- [27] 汪茜,甘桂云,史艳玮,等.樱桃番茄新品种坚强4号的选育[J].中国蔬菜,2023(3):107-109.
- [28] 韦淑丹,蒋强,钟勇,等.番茄西大樱粉1号嫁接砧木筛选[J].中国瓜菜,2022,35(6):81-85.