

番茄型砧木对日光温室鲜食番茄 产量、品质的影响和评价

杨冬艳, 王 丹, 赵云霞

(宁夏农林科学院园艺研究所 银川 750002)

摘 要: 为筛选出适宜宁夏日光温室鲜食番茄嫁接栽培的砧木品种, 以鲜食番茄品种京采 6 号为接穗, 在日光温室不同茬口研究了 9 个番茄型砧木对鲜食番茄嫁接植株生长、产量和品质的影响, 并进行综合评价。结果表明, 与京采 6 号自根苗 CK 相比, 9 个砧木品种在日光温室春茬和秋茬栽培中均能显著增加嫁接番茄植株株高、生长速率, 促进叶片抽生, 部分砧木也能够提高茎粗生长速率; 春茬 5 个砧木、秋茬 9 个砧木嫁接处理显著降低植株病毒病发生率; 不同砧木平均提高嫁接鲜食番茄春茬、秋茬产量分别为 24.85% 和 52.56%, 不同砧木品种增幅不同。与 CK 相比, 部分砧木嫁接降低了果实可溶性固形物含量, 但提高果实可溶性糖含量和糖酸比。通过风味指标、商品指标、生长指标和营养指标进行层次分析赋权, 根据多属性决策分析方法排序, 结果表明, 惠砧 1 号 ZZ1、欧贝番茄 OB 在春茬和秋茬栽培中均排名前三, 嫁接植株长势、抗性和产量品质综合表现较优, 可作为宁夏地区日光温室鲜食番茄适用砧木品种。

关键词: 鲜食番茄; 日光温室; 番茄型砧木; 综合评价

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)07-135-09

Effects and evaluation of tomato rootstock on the yield and quality of fresh tomato in solar greenhouse

YANG Dongyan, WANG Dan, ZHAO Yunxia

(Horticulture Research Institute, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, Ningxia, China)

Abstract: To screen suitable rootstock varieties for the grafting cultivation of fresh tomato in Ningxia solar greenhouse, the fresh tomato variety Jingcai No. 6 was used as the scion. The effects of nine tomato rootstocks on the growth, yield, and quality of fresh tomato grafted plants were studied at different crop lengths in the solar greenhouse, and a comprehensive evaluation was conducted. The results showed that compared with CK, all nine rootstock varieties significantly increased the height and growth rate of grafted tomato plants, promoted the increase of leaf nodes and some rootstocks could also increase the growth rate of stem diameter in both spring and autumn cultivation in the solar greenhouse. The incidence of viral diseases in plants grafted with 5 rootstocks in spring and 9 rootstocks in autumn significantly decreased. Different rootstocks increased the average yield of fresh tomato in spring and autumn by 24.85% and 52.56%, respectively, with varying increases among different rootstock varieties. Compared with CK, partial rootstock grafting reduced the soluble solids content of the fruit, but increased the soluble sugar content and sugar acid ratio. By using flavor indicators, commodity indicators, growth indicators, and nutritional indicators for analytical hierarchy process (AHP) and weighting, the DTOPSIS method was used to calculate the ranking, it was found that Huizhen No. 1 ZZ1 and Oubei Tomato OB ranked among the top three in spring and autumn cultivation. The grafted plants showed excellent growth, resistance, yield, and quality, and can be used as reference rootstocks for fresh tomato in solar greenhouse in Ningxia.

Key words: Fresh tomato; Solar greenhouse; Tomato rootstock; Comprehensive evaluation

收稿日期: 2024-11-11; 修回日期: 2025-02-14

基金项目: 宁夏农业高质量发展和生态保护科技创新示范项目(NGSB-2021-804); 宁夏回族自治区科技创新领军人才资助项目(2021GKRLRX11)

作者简介: 杨冬艳, 女, 研究员, 主要从事设施蔬菜栽培生理研究。E-mail: yangdongyan2000@163.com

鲜食番茄,又称口感型番茄,因其风味浓郁、酸甜可口,既可以作水果,又可以作蔬菜,受到消费者青睐,从普通农贸市场走进高端水果专卖店^[1]。但鲜食番茄往往抗病能力较弱^[2],优质但产量低的问题导致种植鲜食番茄的风险较大。目前,选用抗性砧木进行嫁接栽培已成为保证设施番茄高产稳产的重要技术措施^[3],前人对嫁接番茄的产量效应进行了较多研究^[4],嫁接与果实品质关系的研究主要集中在瓜类蔬菜,对茄果类蔬菜的研究较少^[5],尤其是针对近年来备受欢迎的鲜食番茄,嫁接与果实品质关系的研究比较缺乏。因此,笔者在筛选高抗嫁接砧木的同时,研究其对果实品质的影响,对丰富番茄嫁接栽培理论、指导生产实践有重要意义。

嫁接作为一种简单方便、环境友好、成效快捷的农艺技术,能在生长期增强番茄对多种逆境的抵抗能力^[6]。研究表明,选用优质的嫁接砧木,能够提高番茄的光合能力和长势,提高产量,降低番茄青枯病发病率,保障果实品质^[7-9]。也有研究表明,选择合适的砧木能够同时提高嫁接番茄的产量和

品质^[10-11]。但 Turhan 等^[12]发现,嫁接番茄果实可溶性固形物、可溶性糖和维生素 C 含量降低,嫁接对于番茄品质的影响目前尚无定论。

番茄品质往往决定了商品价格及顾客喜好,而产量则决定了种植者的整体收益,嫁接番茄果实品质与产量很大程度上取决于砧木。因此,筛选适宜的砧木能对番茄生产起到促进作用^[6]。为此,笔者在日光温室 1 年 2 茬种植模式下,以宁夏主栽鲜食番茄品种为接穗,选择番茄类型砧木进行嫁接,分析不同砧木嫁接对番茄植株生长、产量和品质的影响,综合评价并筛选出适宜宁夏日光温室栽培的优良砧木品种,为促进设施鲜食番茄安全高效生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试鲜食番茄接穗品种为北京现代农夫种苗科技有限公司的京采 6 号,参试砧木有 9 个品种,均为番茄类型砧木品种,具体信息见表 1。

表 1 试验材料名称和来源
Table 1 Name and source of test materials

编号 No.	品种名称 Variety name	来源 Source
HD	红鼎 Hongding	宁夏巨丰种苗有限责任公司 Ningxia Jufeng Seed Co., Ltd.
HD2	红鼎 2 号 Hongding No. 2	宁夏巨丰种苗有限责任公司 Ningxia Jufeng Seed Co., Ltd.
GZ	番茄根砧 Tomato Genzhen	台湾农友种苗(中国)有限公司 Taiwan Nongyou Seedling (China) Co., Ltd.
OB	欧贝番茄 Obei tomato	北京泽农伟业农业科技有限公司 Beijing Zenong Weiye Agricultural Technology Co., Ltd.
WD	番茄无敌 Tomato Wudi	山东寿光格菱惠田种苗有限公司 Shandong Shouguang Geling Huitian Seedling Co., Ltd.
ZZ1	惠砧 1 号 Huizhen No. 1	浙江省农业科学院 Zhejiang Academy of Agricultural Sciences
YY1	野原 1 号 Yeyuan No.1	潍坊市润鹏种苗有限公司 Weifang Runpeng Seed Co., Ltd.
YY2	野原 2 号 Yeyuan No. 1	潍坊市润鹏种苗有限公司 Weifang Runpeng Seed Co., Ltd.
TF	天福 Tianfu	潍坊市润鹏种苗有限公司 Weifang Runpeng Seed Co., Ltd.
CK	京采 6 号 Jingcai No. 6	北京现代农夫种苗科技有限公司 Beijing Modern Farmer Seed Technology Co., Ltd.

1.2 方法

早春茬试验砧木于 2022 年 1 月 28 日播种,接穗于 2 月 8 日播种,接穗利用 98 孔穴盘播种,砧木为 72 孔穴盘播种。待接穗幼苗长至 2 叶 1 心时(2022 年 3 月 2 日)采用劈接法嫁接。秋冬茬试验砧木于 2022 年 7 月 20 日播种,接穗于 8 月 5 日播种,8 月 26 日嫁接。育苗生产环节在银川市兴庆区宁夏益利特农业科技有限公司育苗温室进行。

种植试验在宁夏银川市西夏区宁夏农林科学院现代科研基地日光温室内进行。试验温室净跨 8 m,长 60 m,脊高 3.8 m,后墙为两层 24 砖墙结构,

中间填有蓄热材料。采用地下栽培槽(长×宽×高=7 m×0.35 m×0.20 m)基质栽培,栽培槽南北方向,中心间距 1.4 m,基质为草炭商品基质,定植前每个栽培槽施腐熟鸡粪 20 kg,磷酸二铵 0.5 kg。早春茬嫁接苗 2022 年 4 月 1 日定植,采用随机区组设计,10 个处理,依次排列,3 次重复,小区面积 9.8 m²,株距 35 cm,双行栽培,每个小区定植 36 株,折合 667 m²定植 2160 株。春茬 6 月 7 日开始采收,8 月 10 日拉秧,采收期 2 个月。秋冬茬 9 月 8 日定植,12 月 6 日开始采收,2 月 16 日拉秧,采摘期 70 d。番茄均为单干整枝,留 6 穗果摘心,人工振动授粉,水肥

管理一致。

1.3 测试指标及方法

1.3.1 苗期指标 定植前每个处理随机选取 10 株幼苗,分别测量株高、茎粗、地上部干鲜质量、地下部干鲜质量,3 次重复。计算壮苗指数 (SSI)。

壮苗指数 = (茎粗/株高 + 地下部干质量/地上部干质量) × 单株干质量^[13]。

1.3.2 植株生长势及病毒病发生率 每个处理随机选取 10 株进行植株生长指标调查。在番茄初始吊蔓时和间隔 1 个月后,进行株高、接穗茎粗和叶片数量的调查,计算植株生长速率;在番茄采收后期调查病毒病发生率。计算公式如下。

株高生长速率/(cm·d⁻¹) = (吊蔓 1 个月后株高 - 初始吊蔓株高)/30 d;

茎粗生长速率/(mm·d⁻¹) = (吊蔓 1 个月后茎粗 - 初始吊蔓茎粗)/30 d;

叶片抽生时间/(d·片⁻¹) = 30 d/(吊蔓 1 个月后叶片数 - 初始吊蔓叶片数);

病毒病发生率/% = 发病的植株数/定植的植株数 × 100。

1.3.3 果实性状与品质、产量 每个处理选取第 2~第 3 穗成熟一致的果实 12 个,分为 3 组,测量果实纵径、横径、单果质量,计算果形指数(纵径/横径),同时利用硬度计测量果皮硬度,以 3 组平均值作为重复数据统计。果实品质采用四分法取样,将 12 个果实混合打浆后,采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量,采用考马斯亮蓝染色法测定可溶性蛋白含量,采用滴定法测定总酸含量,采用阿贝折射仪测定可溶性固形物含量,采用 2,6-二氯酚靛酚钠滴定法测定维生素 C 含量^[14],按照 GB/T 14215—2021 方法检测番茄红素含量,记录小区产量。

1.4 数据分析

采用 WPS office 2024 对原始数据进行处理并作图,应用 SPSS 23.0 进行单因素 ANOVA 检验和 Duncan 多重比较;

根据所测指标性质和关联程度建立综合评价层次结构关系,采用层次分析法(AHP)计算所测指标的权重^[15]。将综合品质评价目标层(C)分为营养品质(C₁)、植株生长品质(C₂)、商品品质(C₃)、风味品质(C₄)4 个准则层;其中营养品质包括可溶性蛋白含量(C₁₁)、维生素 C 含量(C₁₂)、番茄红素含量(C₁₃)3 个指标层;植株生长品质包括壮苗指数(C₂₁)、茎粗生长速率(C₂₂)、株高生长速率(C₂₃)、叶片抽生时间(C₂₄)、病毒病发生率(C₂₅)5 个指标层;

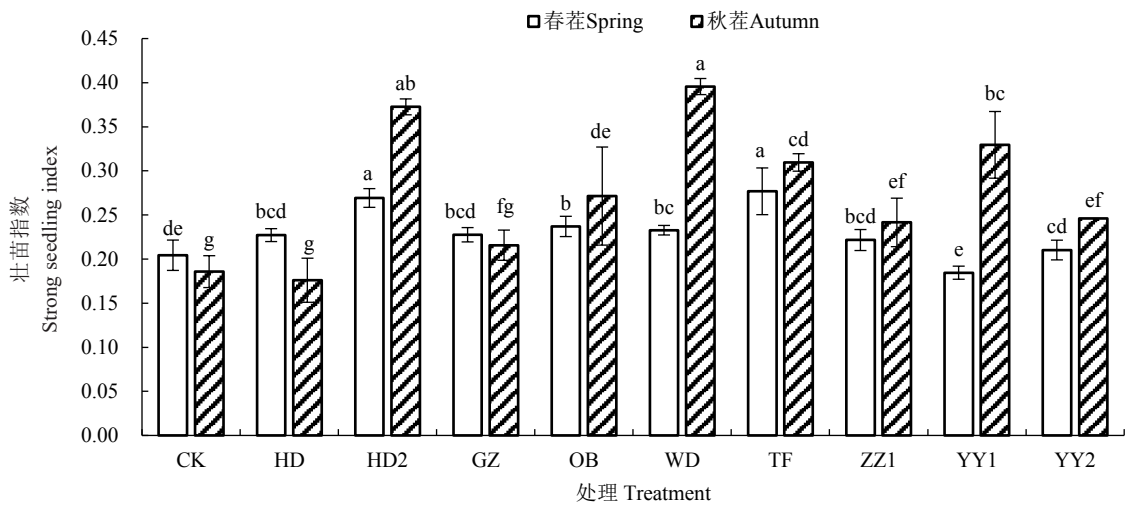
商品品质包括果形指数(C₃₁)、果皮硬度(C₃₂)、单果质量(C₃₃)和产量(C₃₄)4 个指标层;风味品质包括总酸含量(C₄₁)、可溶性糖含量(C₄₂)、可溶性固形物含量(C₄₃)、糖酸比(C₄₄)4 个指标层;评估层次建立后,运用比例标度法^[16]确定属性指标间的优先级并建立判断矩阵,运用 Yaahp 10.2 进行 AHP 层次构建,并用 MATLAB2018a 进行矩阵权重计算。

参考李文砚等^[17]采用的方法进行 DTOPSIS 分析及品质优良排序,使用 Excel 2013 进行数据处理及 DTOPSIS 运算。为消除各指标间量纲、单位、数级等对评价结果的影响,需要对原始数据进行无量纲处理。综合生产实际和消费者喜好,将受市场欢迎和迎合消费者喜好、对提高经济效益有正面作用的指标划分为正向指标,包括可溶性糖含量、可溶性固形物含量、糖酸比、果形指数、果皮硬度、单果质量、产量、壮苗指数、茎粗生长速率、株高生长速率,反之则划分为逆向指标,包括总酸含量、叶片抽生时间、病毒病发生率。正向指标以样本中最大值为分母($Z_{ij} = X_{ij} / X_{\max}$),逆向指标以最小值为分子($Z_{ij} = X_{\min} / X_{ij}$),除以各样本该指标的数值,得到无量纲矩阵;根据层次分析建立的权重集 S_j ,建立加权的决策矩阵 $R_{ij} = S_j \times Z_{ij}$,基于决策矩阵 R_{ij} ,以指标中最大值组成正理想解 X_j^+ ,以最小值组成负理想解 X_j^- ,按公式 $S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (R_{ij} - X_j^+)^2}$ 和 $S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (R_{ij} - X_j^-)^2}$ 计算各品种测定值与正、负理想解的距离,再根据公式 $C_i = S_i^- / (S_i^+ + S_i^-)$ 计算各品种与理想解的相对接近度,并按 C_i 大小排序, C_i 越大说明该品种与理想品种越接近。

2 结果与分析

2.1 不同砧木对嫁接苗幼苗长势的影响

由图 1 可知,春茬栽培时,红鼎 2 号 HD2 和天福(TF)嫁接苗壮苗指数显著高于其他砧木品种,且分别高于自根苗 CK 31.77%和 35.49%;其次是欧贝(OB)和番茄无敌(WD)处理,壮苗指数也显著高于 CK;除野原 1 号(YY1)壮苗指数低于 CK 以外,其他砧木嫁接苗均高于 CK。在秋茬栽培时,不同砧木嫁接苗长势差异进一步扩大,其中 WD 和 HD2 嫁接苗壮苗指数最高,分别显著高于 CK 112.99%、100.59%;其次为 YY1、TF、OB、野原 2 号(YY2)和惠砧 1 号(ZZ1),壮苗指数显著高于 CK 30.05%~77.41%,HD 和 GZ 均与 CK 没有显著差异。HD2、WD、TF 这 3 个砧木嫁接的番茄幼苗壮苗指数在不



注：同一时期的不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。图 2 同。
Note: Different lowercase letters in the same period indicate significant differences at 0.05 level. The same below.

图 1 不同砧木对嫁接苗壮苗指数的影响
Fig. 1 Effects of different rootstocks on the strong seedlings index of grafted plants

同季节育苗均在前列。

2.2 不同砧木对嫁接植株长势的影响

由表 2 可知,在春茬嫁接植株生长期间,HD、ZZ1、YY2 砧木株高生长速率较高,超过 CK 30%以上;WD 和 YY2 砧木茎粗生长速率显著高于 CK 60%以上。在秋茬嫁接植株生长期间,HD、HD2 和 OB 的株高生长速率较高,超过 CK 79%以上,ZZ1、OB、HD2 和 YY2 嫁接植株茎粗生长速率显著高于 CK 114%以上,可见,在春茬栽培的嫁接番茄植株茎粗更粗。CK 植株叶片抽生时间为春茬 2.29 d、秋茬 3.19 d,嫁接处理植株的叶片抽生时间均显著短于

CK。在春茬不同砧木处理之间叶片抽生时间没有显著差异,在秋茬,HD、ZZ1、GZ 砧木嫁接苗叶片抽生时间更短,更有利于光合物质的积累。

2.3 不同砧木对嫁接番茄果形及产量的影响

由表 3 可知,在春茬,除 HD 处理果实横径显著减少导致果形指数显著高于 CK 外,其他砧木嫁接处理果形指数与 CK 无显著差异。除 GZ 和 TF 处理单果质量分别较 CK 显著降低 15.53%、20.83%,其他砧木嫁接处理果实单果质量与 CK 无显著差异。在秋茬,嫁接处理的果实形状也发生了变化,纵、横径较 CK 都有所增加,其中横径增加幅度大于

表 2 不同砧木对嫁接植株长势的影响
Table 2 Effects of different rootstocks on the growth of grafted plants

品种编号 Variety No.	株高生长速率 Plant height growth rate/(cm·d ⁻¹)		茎粗生长速率 Stem thickness growth rate/(mm·d ⁻¹)		叶片抽生时间 Leaf emergence time/(d·leaf ⁻¹)	
	春茬 Spring	秋茬 Autumn	春茬 Spring	秋茬 Autumn	春茬 Spring	秋茬 Autumn
CK	3.39±0.15 f	1.95±0.32 d	0.112±0.02 d	0.037±0.008 e	2.29±0.06 a	3.19±0.34 a
HD	4.60±0.12 a	3.63±0.12 a	0.172±0.02 abc	0.033±0.009 e	1.58±0.08 b	1.93±0.17 d
HD2	4.33±0.03 bcd	3.54±0.06 a	0.134±0.03 cd	0.081±0.007 b	1.80±0.06 b	2.27±0.15 c
GZ	4.21±0.13 cd	2.77±0.11 c	0.131±0.01 cd	0.051±0.003 cd	1.70±0.11 b	2.17±0.08 cd
OB	4.10±0.12 d	3.51±0.28 a	0.169±0.02 abc	0.082±0.006 b	1.77±0.10 b	2.37±0.09 bc
WD	3.86±0.09 e	2.87±0.22 c	0.180±0.02 ab	0.057±0.006 cd	1.77±0.10 b	2.38±0.20 bc
TF	4.34±0.02 bc	3.41±0.21 ab	0.160±0.02 abc	0.045±0.005 de	1.84±0.06 b	2.49±0.11 bc
ZZ1	4.43±0.05 abc	2.93±0.21 c	0.144±0.04 bcd	0.099±0.001 a	1.73±0.06 b	2.18±0.15 cd
YY1	4.32±0.04 bcd	3.12±0.21 bc	0.136±0.01 bcd	0.076±0.010 b	1.77±0.10 b	2.63±0.20 b
YY2	4.48±0.05 ab	3.34±0.24 ab	0.196±0.01 a	0.080±0.016 b	1.80±0.06 b	2.71±0.29 b

注：同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

表3 不同砧木处理对果形及产量的影响
Table 3 Effects of different rootstock treatments on fruit shape and yield

品种编号 Variety No.	横径 Cross diameter/mm		纵径 Longitudinal diameter/mm		果形指数 Fruit shape index		单果质量 Single fruit mass/g		产量 Yield/(kg·667 m ⁻²)	
	春茬 Spring	秋茬 Autumn	春茬 Spring	秋茬 Autumn	春茬 Spring	秋茬 Autumn	春茬 Spring	秋茬 Autumn	春茬 Spring	秋茬 Autumn
	春茬 Spring	秋茬 Autumn	春茬 Spring	秋茬 Autumn	春茬 Spring	秋茬 Autumn	春茬 Spring	秋茬 Autumn	春茬 Spring	秋茬 Autumn
CK	75.55±4.29 a	61.88±1.65 b	57.36±2.17 a	53.02±1.41 d	0.76±0.02 b	0.86±0.03 a	155.22±3.56 ab	121.17±5.19 f	2353±206 de	2462±187 d
HD	68.24±0.67 c	72.04±0.78 a	58.09±5.40 a	57.21±2.34 ab	0.85±0.07 a	0.79±0.03 cd	154.89±3.71 ab	175.83±4.91 a	2375±131 de	4005±203 b
HD2	69.45±3.23 bc	65.06±2.20 b	54.44±1.21 a	55.21±0.65 bcd	0.78±0.04 b	0.85±0.03 ab	168.33±10.41 a	141.42±7.70 de	2906±121 bc	4340±185 a
GZ	75.51±1.37 a	63.25±1.74 b	57.06±0.87 a	54.52±1.42 cd	0.76±0.01 b	0.86±0.03 a	131.11±6.61 c	133.08±6.13 ef	2629±182 cd	4147±116 ab
OB	74.49±3.33 ab	73.49±0.39 a	56.21±1.35 a	56.96±1.14 abc	0.76±0.02 b	0.77±0.01 d	167.78±9.20 a	169.92±6.10 ab	2845±182 bc	3961±116 b
WD	71.99±1.56 abc	70.87±1.92 a	54.98±0.95 a	58.74±1.91 a	0.76±0.01 b	0.83±0.02 abc	163.67±9.24 a	167.92±6.78 ab	2781±169 bc	3247±245 c
TF	69.49±3.56 bc	70.27±2.67 a	54.05±1.65 a	54.39±0.59 d	0.78±0.04 b	0.77±0.02 d	122.89±9.21 c	152.83±6.65 cd	3006±60 b	4152±144 ab
ZZ1	72.44±1.53 abc	70.40±1.87 a	53.72±2.11 a	56.99±0.09 abc	0.74±0.02 b	0.81±0.02 bcd	147.67±3.84 b	158.33±3.59 bc	3735±170 a	4109±170 ab
YY1	74.51±2.74 ab	72.10±2.86 a	56.14±1.39 a	58.01±0.65 a	0.75±0.03 b	0.81±0.02 bcd	145.44±5.34 b	161.67±6.33 bc	2268±171 e	3243±79 c
YY2	70.44±1.63 bc	73.66±0.94 a	53.79±1.03 a	57.43±1.52 ab	0.76±0.02 b	0.78±0.01 d	154.78±6.30 ab	176.50±9.42 a	3895±310 a	2598±118 d

纵径,有6个砧木嫁接处理的果形指数显著低于CK。8个砧木处理的单果质量显著高于CK 16.71%~45.11%,其中HD、OB和YY2处理单果质量增幅最高,超CK 40%以上。砧木嫁接处理在春茬平均提高鲜食番茄产量24.85%,其中YY2砧木处理增幅最高,达到65.47%,其次是ZZ1处理,增幅为58.68%,除HD、GZ和YY1嫁接处理的产量与CK没有显著差异外,其他砧木处理的产量增幅在18.16%~65.47%。在秋茬栽培中,嫁接处理产量平均增幅达到52.56%,除YY2处理产量与CK无显著差异外,其他砧木嫁接处理均能显著增加鲜食番茄的产量,增幅最高的是HD2,达到76.28%。

2.4 不同砧木嫁接对番茄果实品质的影响

由表4可知,在春茬栽培中,与CK相比,仅GZ处理果实中可溶性固形物含量显著增加了6.87%,ZZ1处理与CK相近,其他砧木处理可溶性固形物含量均显著下降;而在秋茬栽培中,与CK相比,除ZZ1、YY2、GZ处理果实可溶性固形物含量无显著差异外,其他砧木处理均显著下降。除HD处理外,其他砧木处理均能够增加春茬果实的可溶性糖含量,秋茬则除ZZ1处理可溶性糖含量显著高于CK 20.29%外,其他砧木处理与CK无显著差异。嫁接对果实中总酸含量的影响因采收季节而不同,在春茬栽培中,不同砧木处理果实总酸含量与CK相比有高有低;在秋茬栽培中,嫁接果实的总酸含量均低于CK,平均下降幅度达到16.10%,其中HD降幅最高,为36.67%。因此嫁接处理的果实糖酸比也发生显著变化,在春茬栽培中,有5个砧木处理果实的糖酸比显著增加;在秋茬栽培中,则全部嫁接砧木处理果实糖酸比均增加,除WD砧木处理与CK无显著差异外,其他砧木处理均与CK存在显著差异。嫁接降低了番茄果实果皮硬度,尤其是在秋茬,果皮硬度平均下降了17.26%;其中春茬YY1砧木处理果皮硬度下降幅度最大,为19.06%,秋茬砧木HD处理降幅最大,为40.53%。品质指标中番茄红素含量对嫁接处理响应最为敏感,不同砧木处理果实番茄红素含量在春茬与CK相比有高有低,在秋茬除了ZZ1与CK相比增加外,其他砧木处理均下降。与CK相比,不同砧木处理在秋茬果实中可溶性蛋白和维生素C含量(YY1除外)均为下降,但在春茬栽培中部分砧木处理为增加,同一砧木处理在不同季节与CK相比有增有减,可见果实中可溶性蛋白和维生素C含量受成熟期间的温度、光照条件影响较为明显。

表 4 不同砧木嫁接对果实品质的影响
Table 4 Effects of different rootstock grafting on fruit quality

品种 编号 Variety No.	果皮硬度 Peel hardness/(kg·cm ⁻²)		w(可溶性固形物) Soluble solids content/%		w(可溶性糖) Soluble sugar content/(mg·g ⁻¹)		w(总酸) Total acid content/(g·kg ⁻¹)	
	春茬	秋茬	春茬	秋茬	春茬	秋茬	春茬	秋茬
	Spring	Autumn	Spring	Autumn	Spring	Autumn	Spring	Autumn
CK	1.93±0.04 ab	2.64±0.11 a	7.77±0.06 b	7.37±0.06 a	22.83±1.26 fg	40.47±1.53 bc	4.41±0.08 d	6.79±0.19 a
HD	1.63±0.12 cd	1.57±0.09 e	6.27±0.06 f	5.53±0.15 f	22.07±0.83 g	36.32±0.88 c	4.54±0.06 d	4.30±0.28 e
HD2	2.00±0.09 ab	2.06±0.29 cd	7.17±0.12 e	6.63±0.15 cd	28.91±1.09 cd	43.82±2.99 ab	4.44±0.06 d	6.30±0.16 b
GZ	1.93±0.11 ab	1.95±0.08 d	8.30±0.06 a	7.17±0.64 ab	28.05±0.37 e	43.99±8.33 ab	5.06±0.08 a	5.46±0.02 c
OB	1.99±0.18 ab	2.43±0.17 ab	7.67±0.06 c	6.17±0.15 e	35.45±0.79 a	42.43±1.48 b	4.09±0.07 e	5.56±0.17 c
WD	1.65±0.07 cd	2.66±0.13 a	7.43±0.15 d	6.87±0.15 bc	31.97±2.19 b	43.18±1.84 ab	4.60±0.06 cd	6.74±0.27 a
TF	1.82±0.13 bc	2.45±0.14 ab	7.20±0.12 e	6.37±0.15 de	30.59±1.69 bc	43.60±2.57 ab	4.82±0.05 b	5.31±0.20 cd
ZZ1	2.08±0.21 a	2.16±0.06 cd	7.80±0.06 b	7.33±0.15 a	28.18±1.04 e	48.68±1.30 a	4.18±0.20 e	6.34±0.15 b
YY1	1.57±0.07 d	2.27±0.13 bc	7.27±0.06 e	6.83±0.15 bc	27.07±0.99 e	45.42±1.77 ab	4.93±0.06 ab	5.04±0.13 d
YY2	1.92±0.05 ab	2.11±0.17 cd	5.93±0.06 g	7.40±0.20 a	24.44±1.10 f	45.12±1.76 ab	4.75±0.27 bc	6.22±0.16 b
品种编号 Variety No.	糖酸比 Sugar acid ratio		w(番茄红素) Lycopene content/(mg·kg ⁻¹)		w(可溶性蛋白) Soluble protein content/(mg·g ⁻¹)		w(维生素 C) Vitamin C content/(mg·kg ⁻¹)	
	春茬	秋茬	春茬	秋茬	春茬	秋茬	春茬	秋茬
	Spring	Autumn	Spring	Autumn	Spring	Autumn	Spring	Autumn
CK	5.18±0.38 cd	5.96±0.23 f	194.45±11.91 ef	214.26±13.36 b	0.58±0.05 cd	0.71±0.04 a	188.07±3.03 d	151.54±7.21 a
HD	4.87±0.12 d	8.45±0.32 ab	74.50±9.37 h	155.55±0.98 g	0.61±0.05 bcd	0.53±0.02 de	138.19±3.03 f	133.08±2.59 b
HD2	6.51±0.32 b	6.95±0.45 de	136.47±5.87 g	186.34±2.44 def	0.52±0.12 d	0.58±0.02 bc	174.10±1.73 e	133.80±4.38 b
GZ	5.54±0.13 c	8.06±1.50 abc	169.26±15.90 f	198.20±7.71 cd	0.55±0.02 d	0.57±0.01 bcd	202.87±2.88 c	112.22±4.38 c
OB	8.67±0.33 a	7.63±0.13 bcd	212.85±23.10 de	175.11±3.28 f	0.60±0.02 cd	0.51±0.01 e	188.57±3.46 d	131.40±5.10 b
WD	6.95±0.43 b	6.41±0.03 ef	225.67±14.37 cd	187.75±6.10 de	0.59±0.02 cd	0.58±0.02 bc	177.93±2.88 e	126.12±7.21 b
TF	6.35±0.34 b	8.21±0.23 abc	189.66±9.26 ef	179.85±2.04 ef	0.64±0.01 bc	0.55±0.01 cde	202.04±2.49 c	131.88±4.79 b
ZZ1	6.76±0.57 b	7.68±0.03 bcd	294.21±30.91 a	231.16±7.42 a	0.81±0.04 a	0.58±0.03 bc	213.02±2.59 b	148.42±6.49 a
YY1	5.49±0.27 cd	9.01±0.56 a	265.56±11.96 b	153.79±8.66 g	0.69±0.03 b	0.57±0.02 bcd	232.80±2.88 a	151.54±6.84 a
YY2	5.16±0.41 cd	7.25±0.10 cde	245.81±12.23 bc	206.48±6.06 bc	0.86±0.01 a	0.59±0.01 b	138.02±2.88 f	149.62±6.15 a

2.5 不同砧木嫁接对番茄植株病毒病发生率的影响

由图 2 可知,CK 在春茬和秋茬栽培中病毒病发生率均在 27%左右,砧木嫁接影响了番茄接穗植

株抗病毒病的能力。对于春茬 HD 砧木处理,病毒病发生率比 CK 显著提高 52.75%,GZ、OB、TF 嫁接处理的病毒病发生率与 CK 无显著差异,其他 5 个砧木嫁接的番茄植株病毒病发生率均显著下降,其

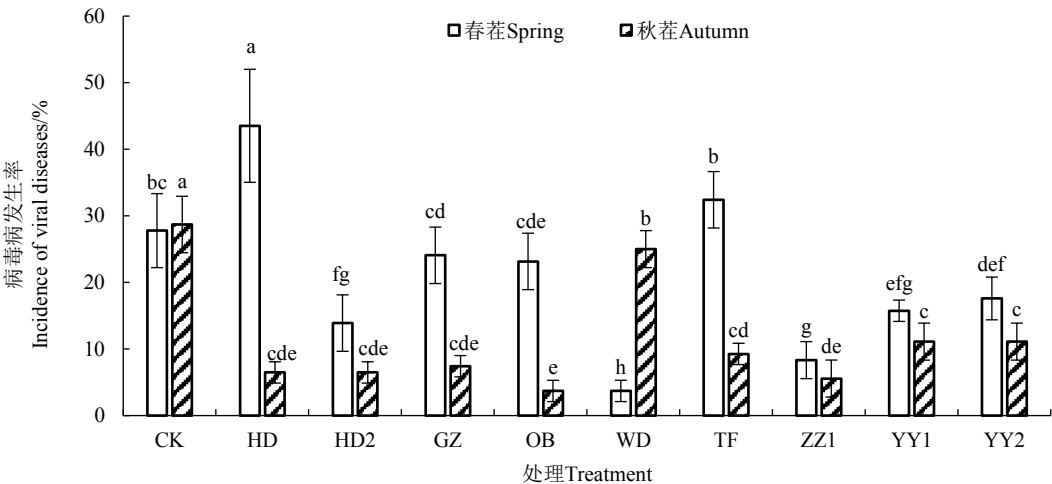


图 2 不同砧木对番茄植株病毒病发生率的影响
Fig. 2 Effects of different rootstocks on the incidence of viral diseases in tomato plants

中 WD 处理的病毒病发生率最低,为 3.7%。在秋茬栽培的嫁接处理中,嫁接处理均显著降低了病毒病的发生率。除 WD 外其他砧木嫁接处理在秋季高温季节降低接穗植株番茄病毒病发生率的效果优于早春季节。

2.6 鲜食番茄嫁接砧木品种综合评价

2.6.1 综合评价指标权重的确定 将单一品质指标与产量、生长指标综合起来进行评价分析,采用 AHP 法计算西瓜评价指标权重。由表 5 可知,判断矩阵的一致性检验系数(CR)均小于 0.10,说明权重

表 5 基于层次分析法(AHP)计算番茄综合品质评价指标权重
Table 5 Weights of watermelon evaluation index based on analytic hierarchy process (AHP)

层次 Layer		比较标度 Comparison scale	局部权重 Local weights	最终权重 Final weights	一致性检验参数 Consistency test parameters
目标层 C Target layer C	C ₁	1	0.061 6	0.061 6	CR=0.013 2<0.10 λ _{max} =4.03
	C ₂	3	0.184 7	0.184 7	
	C ₃	5	0.307 8	0.307 8	
	C ₄	7	0.446 0	0.446 0	
营养品质准则层 C ₁ Nutritional quality criteria layer C ₁	C ₁₁	1	0.115 7	0.007 1	CR=0.087 1<0.10 λ _{max} =3.09
	C ₁₂	3	0.326 4	0.020 1	
	C ₁₃	5	0.557 9	0.034 3	
生长品质准则层 C ₂ Growth quality criteria layer C ₂	C ₂₁	1	0.065 0	0.012 0	CR=0.017 6<0.10 λ _{max} =5.078 6
	C ₂₂	2	0.130 0	0.024 0	
	C ₂₃	3	0.195 0	0.036 0	
	C ₂₄	4	0.260 0	0.048 0	
	C ₂₅	5	0.350 0	0.064 6	
商品品质准则层 C ₃ Product quality criteria layer C ₃	C ₃₁	1	0.064 4	0.019 8	CR=0.027 5<0.10 λ _{max} =4.073 5
	C ₃₂	3	0.184 5	0.056 8	
	C ₃₃	5	0.300 2	0.092 4	
	C ₃₄	7	0.450 9	0.138 8	
风味品质准则层 C ₄ Flavor quality criteria layer C ₄	C ₄₁	1	0.081 4	0.036 3	CR=0.054 1<0.10 λ _{max} =4.144 4
	C ₄₂	2	0.185 6	0.082 8	
	C ₄₃	4	0.325 8	0.145 3	
	C ₄₄	5	0.407 2	0.181 6	

注:比较标度中,1 为同样重要,3 为稍微重要,5 为明显重要,7 为最为重要,2、4 为上述相邻判断的中间值。CR:矩阵一致性检验系数(<0.10),即具有整体的满意一致性;λ_{max}:最大特征值。

Note: In the comparison scale, 1 is equally important, 3 is slightly important, 5 is significantly important, 7 is the most important, and 2 and 4 are the intermediate values of the adjacent judgments mentioned above. CR: The matrix consistency test coefficient (<0.10) indicates overall satisfactory consistency; λ_{max}: Maximum eigenvalue.

具有整体的满意一致性。鲜食番茄评价指标权重的排序为:糖酸比(C₄₄)>可溶性固形物含量(C₄₃)>产量(C₃₄)>单果质量(C₃₃)>可溶性糖含量(C₄₂)>病毒病发生率(C₂₅)>果皮硬度(C₃₂)>叶片抽生速率(C₂₄)>总酸含量(C₄₁)>株高生长速率(C₂₃)>番茄红素含量(C₁₃)>茎粗生长速率(C₂₂)>维生素 C 含量(C₁₂)>果形指数(C₃₁)>壮苗指数(C₂₁)>可溶性蛋白含量(C₁₁)。糖酸比、产量和病毒病发生率是嫁接砧木品种筛选优先考虑的指标。

2.6.2 基于 DTOPSIS 法的嫁接番茄品质综合评价 基于 AHP 法确定的各指标权重,根据 DTOPSIS 分析方法,计算出春茬和秋茬各品种 C_i值。由表 6 可知,同一砧木嫁接的番茄植株在不同生长季节表

表 6 DTOPSIS 分析及优良排序
Table 6 DTOPSIS analysis and excellent ranking

品种编号 Variety No.	C _i		排序 Rank	
	春茬 Spring	秋茬 Autumn	春茬 Spring	秋茬 Autumn
CK	0.266 5	0.283 3	9	10
HD	0.179 7	0.583 8	10	5
HD2	0.420 4	0.571 3	4	6
GZ	0.337 9	0.617 8	7	3
OB	0.594 7	0.676 4	2	2
WD	0.603 7	0.383 3	1	9
TF	0.378 0	0.604 3	6	4
ZZ1	0.591 1	0.686 8	3	1
YY1	0.283 5	0.569 0	8	7
YY2	0.398 2	0.426 8	5	8

现不同,在春茬栽培中,综合排名前三的砧木品种为WD、OB和ZZ1;在秋茬栽培中,综合排名前三的品种为ZZ1、OB和GZ。接穗自根CK综合排名均在后列。ZZ1和OB砧木品种嫁接的鲜食番茄风味、长势和产量在春、秋茬栽培中均表现较好,WD和GZ则在春、秋茬栽培中表现差异较大,受栽培环境影响明显。

3 讨论和结论

近年来,消费市场对高品质番茄的需求越来越强烈^[18],笔者选用接穗品种京采6号为中果型鲜食番茄品种,在宁夏日光温室生产的不同季节,果实可溶性固形物含量均在7%以上,表明品种特性是影响番茄品质的首要因素^[19],而嫁接砧木品种也对番茄品质包括果实大小、颜色、硬度、风味物质和营养物质等有显著影响^[20]。Turhan等^[12]使用2种接穗品种与2种砧木品种进行嫁接发现,嫁接植株果实的单果质量高于非嫁接植株,嫁接提高了果形指数。本试验结果表明,不同砧木嫁接的鲜食番茄对果实外形和大小均有影响,不同季节表现不一。在春茬栽培中,嫁接对果实外形的影响较小,与CK相比,部分砧木单果质量降低。但在秋茬栽培中,与CK相比,嫁接果实横径增幅大于纵径,砧木嫁接处理降低番茄果实的果形指数,显著增加了果实单果质量(GZ除外)。试验9个砧木嫁接处理在春茬和秋茬平均提高了鲜食番茄产量24.85%、52.56%,砧木嫁接处理之间增产幅度有差异。Grieneisen等^[21]通过分析同一砧木品种与不同接穗品种的嫁接后的植株表现,嫁接对产量的影响在很大程度上取决于特定的砧穗组合,砧穗组合可能也是嫁接对果实外形影响结果不一的原因。

有研究表明,嫁接植株的果实通常比接穗果实大,尽管果实糖酸比可能不受影响,但可能会因稀释效应而导致可溶性糖含量下降,因此在嫁接中筛选可以提高果实糖含量的砧木至关重要^[22]。本试验结果表明,与CK相比,大部分砧木处理降低了果实可溶性固形物含量,但同时增加果实可溶性糖含量和糖酸比,产生该现象的原因可能是嫁接处理降低了果实中总酸含量。与CK相比,部分砧木嫁接能够降低果皮硬度,尤其是在秋茬,影响鲜食番茄果实品质。对于高温季节成熟的番茄,大部分砧木嫁接处理能够增加果实番茄红素、可溶性蛋白和维生素C含量。但对于低温季节成熟的番茄,嫁接处理降低了这3个指标的含量,不同砧木材料如何精确

地影响接穗果实品质性状,机制尚不清楚^[23]。

试验多数砧木嫁接处理在日光温室春茬和秋茬栽培中能够增加番茄植株株高、茎粗生长速率,部分砧木嫁接处理的叶片分化能力增强,这可能与嫁接砧木根系生长能力较强有关,从而增强了植株的吸收能力^[10],使得嫁接植株长势增强,抗逆性也得到了提高,通过砧木提高作物的抗病性是嫁接得到广泛应用的重要原因之一^[24]。由于番茄病毒病的频繁发生,宁夏地区鲜食番茄生产种植规模、时间和产量、品质受到严重影响。有研究表明,使用抗病毒砧木,通过嫁接能够有效抑制病毒的传播蔓延^[25],嫁接苗通过延缓黄瓜花叶病毒CMV的侵染,增强植株对CMV的抗性^[26]。本试验结果也表明,与CK相比,嫁接能够提高鲜食番茄抵抗病毒病发生的能力,不同砧木品种处理之间抗病毒性能差异显著,在春茬栽培中,有5个砧木嫁接处理番茄植株病毒病发生率显著下降,在高温季节9月定植的嫁接处理中,9个砧木嫁接处理均能显著降低病毒病发生率。

嫁接砧木的优劣,需从生长、产量、品质、抗性等多方面进行评价,才能比较全面地筛选出优良的嫁接砧木。目前,关于嫁接砧木品种的评价指标和评价方法尚不明确,番茄品种评价方法主要有层次分析法、隶属函数法、灰色关联法、主成分分析法及聚类分析法等,以上方法都建立在不同的数学原理基础上,特点各异,为排除主客观因素影响,多以2~3种方法联合进行分析评价。选择合适的评价指标并应用科学、快速的评价方法,对品种进行全面、客观地综合评价,是品种资源评价首先关注的问题。笔者应用AHP进行问题分解和指标赋权,再通过DTOPSIS方法将各品种指标测量值进行逼近理想解排序,达到全面、系统、科学综合评价的目的。鲜食番茄风味品质是首先考虑的评价指标,由于甜度和酸度的比值是影响消费者口感和风味接受度的关键因素,因此糖酸比是评价番茄感官品质的关键指标^[27],故笔者在评价品种中将糖酸比作为风味品质的首要指标;商品性品质是决定生产者经济收入的关键指标,因此筛选砧木目标评价层中,商品品质指标紧随风味品质之后,其次为生长品质指标,良好的长势和较强的抗病性是获得产量和品质的基础,最后为目前较为关注的营养品质指标,由此确定了属性指标间的优先级。经过排序发现,在春茬栽培中,排名前三的砧木品种为番茄无敌WD、欧贝番茄OB、惠砧1号ZZ1;而在秋茬栽培中,综合

排名前三的品种为惠砧1号ZZ1、欧贝番茄OB和番茄根砧GZ。在实际生产中可以根据种植季节选用不同的砧木品种,最终在嫁接植株长势、抗性、产量、品质综合表现方面达到较优。

参考文献

- [1] 郑军伟,张黎,胡京昂,等.中原地区设施鲜食番茄优质轻简高效生产技术[J].中国蔬菜,2024(5):140-144.
- [2] 王冰华,李蔚,苑爱华,等.北京地区鲜食番茄品种筛选试验[J].中国种业,2023(9):122-125.
- [3] 高方胜,王磊,徐坤.砧木与嫁接番茄产量品质关系的综合评价[J].中国农业科学,2014,47(3):605-612.
- [4] MARTINEZ-BALLESTA M C, ALCARAZ-LOPEZ C, MURIES B, et al. Physiological aspects of rootstock-scion interactions[J]. Scientia Horticulturae, 2010, 127(2):112-118.
- [5] ROUPHAEL Y, SCHWARZ D, KRUMBEIN A, et al. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables[J]. Scientia Horticulturae, 2010, 127(2):172-179.
- [6] 梅文字,李涛,孙保娟,等.嫁接番茄砧穗互作机理研究、应用现状与展望[J].广东农业科学,2021,48(8):47-57.
- [7] 寿伟林,董文其,陈杰,等.砧木品种和嫁接方法对番茄生长发育及光合特性的影响[J].浙江农业学报,2004,16(3):24-26.
- [8] 尤春,李长根.不同砧木嫁接对番茄生长及品质的影响[J].中国瓜菜,2019,32(12):60-63.
- [9] 陈银根,吕文君,吴旭江,等.不同砧木嫁接对樱桃番茄品质及产量的影响[J].长江蔬菜,2016(22):63-66.
- [10] 孙丽丽,徐扬,郭世荣,等.不同砧木嫁接对番茄成活率、生长及果实品质的影响[J].南京农业大学学报,2014,37(5):55-62.
- [11] 任平,阮祥稳,李英梅,等.嫁接砧木对关中东部越冬番茄生长及果实品质的影响[J].西北农业学报,2019,28(3):422-432.
- [12] TURHAN A, OZMEN N, SERBECI M S. Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality[J]. Hort Science Science, 2011, 38(4):142-149.
- [13] 李磊,王怡,郑金伟,等.烟秆生物质炭浸提液对黄瓜幼苗生长的影响[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2019,40(5):110-116.
- [14] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [15] 刘美迎,李小龙,梁苗,等.基于模糊数学和聚类分析的鲜食葡萄品种综合品质评价[J].食品科学,2015,36(13):57-64.
- [16] ALBAYRAK E, ERENSALY C. Using analytic hierarchy process (AHP) to improve human performance: An application of multiple criteria decision making problem[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2004, 15(4):491-503.
- [17] 李文砚,韦优,孔方南,等.DTOPSIS法在草莓品种综合评价中的应用研究[J].植物生理学报,2018,54(5):925-930.
- [18] 薛鑫.高效栽培 高效生产管理成设施蔬菜产业发展重要抓手[J].农业工程技术,2019,39(25):27-30.
- [19] ZHU G T, WANG S C, HUANG Z J, et al. Rewiring of the fruit metabolome in tomato breeding[J]. Cell, 2018, 172(1/2):249-261.
- [20] ROUPHAELY, KYRIACOU M C, PETROPOULOS S A, et al. Improving vegetable quality in controlled environments[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 234:275-289.
- [21] GRIENEISEN M L, AEGERTER B J, SCOTT C S, et al. Yield and fruit quality of grafted tomatoes, and their potential for soil fumigant use reduction. A meta-analysis[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2018, 38(3):29.
- [22] TIEMAN D, ZHU G T, RESENDE M F, et al. A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor[J]. Science, 2017, 355(6323):391-394.
- [23] 韦建明,李云洲,梁燕.嫁接技术提高番茄抗病抗逆性的研究进展[J].园艺学报,2023,50(9):1997-2014.
- [24] 王安全,郝德旺,蔡万聆鹤,等.嫁接对番茄抗性、产量和品质的影响研究进展[J].农业工程技术,2022,42(31):70-75.
- [25] REEVES G, TRIPATHI A, SINGH P, et al. Monocotyledonous plants graft at the embryonic root-shoot interface[J]. Nature, 2022, 602(7896):280-286.
- [26] SPANO R, GALLITELLI D, MASCIA T. Grafting to manage infections of top stunting and necrogenic strains of cucumber mosaic virus in tomato[J]. Annals of Applied Biology, 2017, 171(3):393-404.
- [27] NASSAR A M, KUBOW S, DONNELLY D. High-through put screening of sensory and nutritional characteristics for cultivar selection in commercial hydroponic greenhouse crop production[J]. International Journal of Agronomy, 2015(12):1-28.