

不同砧木嫁接对菜椒生长、产量、品质及抗青枯病的影响

练冬梅, 林碧珍, 李 洲, 樊俊苗, 赖正锋, 袁素素, 洪建基

(福建省农业科学院亚热带农业研究所 福建漳州 363005)

摘 要:为筛选鸿福 8 号菜椒最优嫁接砧木,以鸿福 8 号菜椒为接穗,分别与 7 种砧木(辣砧 2 号、辣砧 4 号、辣砧 7 号、辣砧 8 号、金钻 21、健达 2 号、健达)开展嫁接试验,以鸿福 8 号自根嫁接为对照(CK),采用贴接法嫁接,研究砧木嫁接对菜椒植株生长、产量、果实营养品质、抗青枯病等指标的影响,并采用相关性分析、主成分分析及隶属函数分析法对各砧木嫁接苗进行综合评价。结果表明,辣砧 4 号和辣砧 8 号砧木嫁接苗的株高显著高于 CK,分别较 CK 增加了 22.65% 和 22.43%,植株盛果期和生长末期根系活力、单果质量、产量、果实可溶性蛋白含量、粗纤维含量均显著高于 CK,产量分别较 CK 显著提高 23.60% 和 26.33%,青枯病病情指数均较 CK 显著降低 92.86%。主成分分析和隶属函数分析综合评价表明,7 种砧木嫁接苗和 CK 的综合排序为辣砧 4 号嫁接苗=辣砧 8 号嫁接苗>辣砧 7 号嫁接苗>健达嫁接苗>金钻 21 嫁接苗>CK=辣砧 2 号嫁接苗>健达 2 号嫁接苗。综上,辣砧 4 号和辣砧 8 号嫁接苗在生长、产量、品质及抗青枯病方面表现均较优,辣砧 4 号和辣砧 8 号适宜作为鸿福 8 号菜椒的理想砧木品种。

关键词:菜椒;砧木;嫁接;生长;产量;品质;青枯病

中图分类号:S641.3

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)09-167-10

Effects of different rootstocks on growth, yield, quality, and resistance to bacterial wilt in sweet pepper

Lian Dongmei, Lin Bizhen, Li Zhou, Fan Junmiao, Lai Zhengfeng, Yuan Susu, Hong Jianji

(Subtropical Agriculture Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Zhangzhou 363005, Fujian, China)

Abstract: To screen the optimal grafting rootstock for Hongfu No. 8 sweet pepper, grafting experiments were conducted using Hongfu No. 8 as the scion and seven rootstock materials (Lazhen No. 2, Lazhen No. 4, Lazhen No. 7, Lazhen No. 8, Jinzuan 21, Jianda No. 2 and Jianda), with self-grafted Hongfu No. 8 seedlings serving as the control (CK). Grafting was performed using the splice grafting method. Effects of rootstock grafting on plant growth, yield, fruit nutritional quality, and resistance to bacterial wilt in pepper were evaluated after grafting, and correlation analysis, principal component analysis, and membership function analysis were employed to comprehensively assess the grafted seedlings with different rootstocks. The results showed that compared with CK, the grafted seedlings on rootstocks Lazhen No. 4 and Lazhen No. 8 exhibited significantly greater plant height, increasing by 22.65% and 22.43%, respectively. At the full-fruiting and late growth stages, root activity, single fruit mass, yield, fruit soluble protein content, and crude fiber content were all significantly higher than those of CK, fruit yield was significantly increased by 23.60% and 26.33%, respectively, while the bacterial wilt disease index was significantly reduced by 92.86% in both cases compared with CK. Comprehensive evaluation based on principal component analysis and membership function analysis showed that the comprehensive ranking of the seven grafted rootstocks and CK were Lazhen No. 4 grafted seedlings=Lazhen No. 8 grafted seedlings>Lazhen No. 7 grafted seedlings>Jianda grafted seedlings>Jinzuan 21 grafted seedlings>CK=Lazhen No. 2 grafted seedlings>Jianda No. 2 grafted seedlings. In conclusion, grafted seedlings using Lazhen No. 4 and Lazhen No. 8 rootstocks exhibited the best performance in terms of growth, yield, fruit quality and bacterial wilt resistance, and are suitable as ideal rootstock varieties for Hongfu No. 8 sweet pepper.

Key words: Sweet pepper; Rootstock; Grafting; Growth; Yield; Quality; Bacterial wilt

收稿日期:2026-02-12;修回日期:2026-05-27

基金项目:福建省公益类科研院所基本科研专项(2023R1028004,2022R1030002,2022R1030001,2025R1028004);福建省竞争性公益项目(2023R1094,2024R1077);福建省自然科学基金(2023J01373,2025J01425);漳州市自然科学基金(ZZ2024J24)

作者简介:练冬梅,女,助理研究员,主要从事辣椒逆境研究。E-mail:woshildm1987@163.com

共同第一作者:林碧珍,女,农艺师,主要从事辣椒逆境研究。E-mail:2248118755@qq.com

通信作者:洪建基,男,研究员,主要从事特色蔬菜栽培研究。E-mail:76227508@qq.com

辣椒(*Capsicum* spp.)是茄科(*Solanaceae*)辣椒属(*Capsicum*)一年或多年生草本植物^[1],一般分为菜椒、长椒、簇生椒、圆锥椒、樱桃椒五大类。辣椒是我国栽培面积最大的蔬菜作物之一,年产量6400万t^[2]。近年来,福建地区的露地和设施辣椒栽培面积逐年增加,年种植面积约0.33万hm²,鸿福8号菜椒为主要种植品种之一。辣椒含有丰富的维生素C、可溶性糖、可溶性蛋白及辣椒素等营养物质,备受广大消费者的青睐^[3-4]。然而,当前椒农普遍采用连作重茬的种植方式,已对土壤物理结构造成明显破坏,也助长了土传病害的滋生蔓延,随之引发辣椒果实畸形、病虫害高发、产品品质下降以及产量锐减等诸多问题,严重制约着辣椒产业的持续健康发展^[5]。嫁接作为一项应用广泛的农业栽培技术,若选择适宜的砧木进行嫁接处理,可有效克服连作障碍所引发的土传病害,且能以较低的投入提升辣椒产量、增强其抗病能力、改善品质^[6-7]。当前在辣椒栽培中,嫁接技术已被广泛采用^[8-10],嫁接是提高辣椒果实品质、提高产量及增强植株抗逆性的重要手段之一^[11-12]。辣椒的长势可通过株高、株幅、根长、根系活力等指标进行衡量,而产量则主要由单果质量与单株果数等指标反映。果实的可溶性蛋白、维生素C、可溶性糖及粗纤维含量是评价其商品价值的关键指标。此外,植株抗病性的强弱直接影响产量稳定性和种植效益。因此,针对不同辣椒品种筛选适宜的砧木是生产中的关键环节。当前在辣椒嫁接生产中,常用的砧木类型主要包括辣椒本砧和茄子砧,相比之下,辣椒砧木的亲合性更高,嫁接后更有利于植株的生长发育^[13]。尹周薇等^[14]分别选取3个茄子砧木和3个辣椒砧木与辣椒进行嫁接,发现茄子砧亲和性差,辣椒砧亲和性好。江帆^[10]以7个辣椒本砧与辛香2号进行嫁接,通过系统分析辣椒嫁接苗的成活率、田间生长势、抗氧化酶活性、抗病能力等指标,表明卡特188砧木的效果最好。目前,不同辣椒品种对应的砧木选择缺乏统一标准,不同砧木与菜椒之间的亲和性、嫁接后菜椒的生长表现等尚未经过系统且充分的验证,因此,关于菜椒适宜砧木的筛选还需进一步深入研究。本研究选用7个辣椒本砧品种,以鸿福8号菜椒为接穗,系统探究不同砧木对菜椒生长状况、产量、果实营养品质及青枯病抗性的影响,以期筛选出适宜鸿福8号菜椒的优良砧木,实现鸿福8号菜椒生长势强健、产量提升、品质优良且高抗青枯病的目标,为福建省菜椒嫁接砧木的科学选择提

供理论依据与实践指导。

1 材料与方法

1.1 材料

供试接穗品种鸿福8号菜椒为日本坂田公司选育的杂交一代(F_1)品种,购自广州市金作农业科技有限公司,果实长10~15cm,果色淡黄绿色转红色,微辣,连续坐果性强,耐高温。砧木辣砧2号、辣砧4号、辣砧8号、辣砧7号均由如意情集团股份有限公司提供,金钻21由山东威尔种子有限公司提供,健达2号和健达由广州金作农业科技有限公司提供,7个砧木品种均为辣椒砧,7个砧木与接穗嫁接成活率均可达100%(预试验)。育苗基质购买自众耕(厦门)农业科技有限公司,基质中泥炭、珍珠岩、蛭石体积比为1:1:1。

1.2 试验设计

试验于2025年6—12月在福建省农业科学院亚热带农业研究所农场进行,选择辣椒连作4年且青枯病发病严重的地块。于6月1日采用50孔穴盘播种砧木,6月8日播种鸿福8号,7月8日采用贴接法进行嫁接,以鸿福8号自根苗嫁接为对照(CK)。小区面积35m²(长25m×宽1.4m),株行距为50cm×70cm,每小区定植100株,每个处理3次重复,共2400株。8月1日移栽定植,采用随机区组排列,统一种植管理。

1.3 指标测定与方法

1.3.1 植株生长指标测定 于植株生长末期(12月15日),每处理取长势一致的6株植株,记录分枝数,用直尺测量株高、株幅和根长,用游标卡尺测量茎粗(嫁接口上方1~2cm),用分析天平称量地下部鲜质量,每处理3次重复。测定各生长指标后对根系形态拍照。

1.3.2 根系活力和叶面积测定 每个处理分别于盛果期(10月10日)和生长末期(12月15日)选取3株植株,使用根系扫描仪(Expression 12 000XL,精工爱普生株式会社)测定植株展开心叶下第3片叶的叶面积;根系活力参照北京索莱宝科技有限公司试剂盒(BC5275-260210)说明书测定,每处理3次重复。

1.3.3 产量测定 辣椒成熟期每个处理选取6株记录单株挂果数,并用分析天平测定单果质量、单株产量,并按每667m²种植2000株计算667m²产量,每处理3次重复。

1.3.4 果实营养品质测定 各处理于盛果期(2025

年 10 月 15 日)随机选取大小基本一致、外观完整的 3 个成熟果实用于营养品质测定。采用 HPLC 法^[15]测定维生素 C 含量,采用考马斯亮蓝法^[16]测定可溶性蛋白含量,采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[17]测定可溶性糖含量,采用过滤法^[15]测定粗纤维含量。

1.3.5 青枯病抗性测定 于 2025 年 12 月 15 日调查菜椒青枯病发病株数,参照《辣椒种质资源描述规范和数据标准》^[18]对病情进行分级并计算病情指数。分级标准,0 级:无症状;1 级:1~2 片叶萎蔫,顶端正常;3 级:约 1/2 叶片萎蔫,顶端正常;5 级:约 2/3 叶片萎蔫,顶端正常;7 级:大部分叶片萎蔫,顶端叶片开始萎蔫;9 级:整株大部分枯萎或死亡。病情指数(DI)= Σ (病级数×相应病级株数)/(总株数×最高病级数)×100。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 软件进行试验数据整理、统计和图表绘制,采用 DPS 7.05 数据处理系统进行差异显著性分析。

盛果期根系活力、盛果期叶面积、株高、株幅、根长、分枝数、地下部鲜质量、单果质量、单株挂果数、产量、可溶性蛋白含量、维生素 C 含量、可溶性糖含量、粗纤维含量、病情指数等 15 个指标采用

Origin 2024 软件绘制相关性热图。采用 dps7.05 软件进行 15 个指标的主成分分析,先对原始数据进行标准化预处理,通过协方差矩阵特征分解提取主成分,保留累计方差贡献率>85%的主成分因子,以主成分载荷系数绝对值 ≥ 0.7 作为指标对应主成分贡献显著的筛选标准,并运用隶属函数法对各个指标进行综合评价^[19]。

2 结果与分析

2.1 不同砧木对菜椒嫁接苗植株生长的影响

由表 1 和图 1 可知,不同砧木品种嫁接后,菜椒的农艺性状存在明显差异。株高、株幅和分枝数方面,辣砧 4 号、辣砧 8 号、辣砧 7 号嫁接苗的株高分别较 CK 显著提高 22.65%、22.43%、15.14%,株幅分别较 CK 显著提高 25.45%、17.82%、16.00%,分枝数分别较 CK 显著提高 18.18%、9.09%、9.09%。茎粗方面,辣砧 4 号、辣砧 8 号、辣砧 7 号、健达嫁接苗分别较 CK 显著提高 27.61%、21.27%、19.73%、11.55%。根长方面,辣砧 7 号和辣砧 2 号嫁接苗分别较 CK 显著提高 49.51%、21.08%。地下部鲜质量方面,辣砧 7 号和辣砧 8 号嫁接苗分别较 CK 显著提高 32.74%、16.80%。

表 1 不同砧木对菜椒嫁接苗植株生长的影响

Table 1 Effects of different rootstocks on growth of grafted sweet pepper seedlings

砧木品种 Rootstock cultivar	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	株幅 Plant width/cm	根长 Root length/cm	分枝数 Number of branches	地下部鲜质量 Underground fresh mass/g
辣砧 2 号 Lazhen No. 2	77.0±5.93 e	8.66±0.34 f	49.7±1.86 d	49.4±2.72 b	8±1 e	39.69±2.57 cd
辣砧 4 号 Lazhen No. 4	111.0±8.63 a	12.48±0.92 a	69.0±3.52 a	41.2±2.46 c	13±1 a	42.53±1.83 c
辣砧 8 号 Lazhen No. 8	110.8±6.85 a	11.86±0.40 b	64.8±3.66 b	41.0±2.29 c	12±1 b	47.56±4.07 b
辣砧 7 号 Lazhen No. 7	104.2±10.38 ab	11.71±0.59 b	63.8±3.92 b	61.0±3.29 a	12±1 b	54.05±3.32 a
金钻 21 Jinzuan 21	85.3±7.84 de	10.16±0.15 d	55.7±2.16 c	39.2±1.55 c	11±1 c	34.69±2.39 e
健达 2 号 Jianda No. 2	79.2±3.31 e	9.54±0.36 e	51.0±1.79 d	33.2±2.36 e	9±1 d	25.98±2.22 f
健达 Jianda	98.8±5.31 bc	10.91±0.55 c	56.5±1.87 c	35.7±1.73 d	11±1 c	36.98±3.20 de
CK	90.5±9.81 cd	9.78±0.19 de	55.0±2.10 c	40.8±2.08 c	11±1 c	40.72±2.19 c

注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。
Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

2.2 不同砧木对菜椒嫁接苗根系活力和叶面积的影响

由图 2 可知,菜椒盛果期和生长末期,辣砧 4 号、辣砧 8 号、辣砧 7 号、健达嫁接苗根系活力均显著高于 CK,金钻 21、健达 2 号与 CK 差异均不显著,辣砧 2 号均显著低于 CK。盛果期辣砧 4 号、辣砧 8 号、辣砧 7 号、健达嫁接苗根系活力分别较 CK 显著提高了 57.84%、51.09%、45.22%、15.30%,生长

末期分别较 CK 显著提高了 44.51%、103.89%、64.47%、25.33%。

由图 3 可知,菜椒盛果期,辣砧 4 号、辣砧 8 号嫁接苗叶面积分别较 CK 显著提高了 42.73%、17.36%,其他品种与 CK 差异均不显著。生长末期,辣砧 4 号、辣砧 8 号嫁接苗叶面积分别较 CK 显著提高了 35.64%、23.53%,辣砧 7 号、健达、金钻 21、健达 2 号与 CK 差异均不显著,辣砧 2 号显

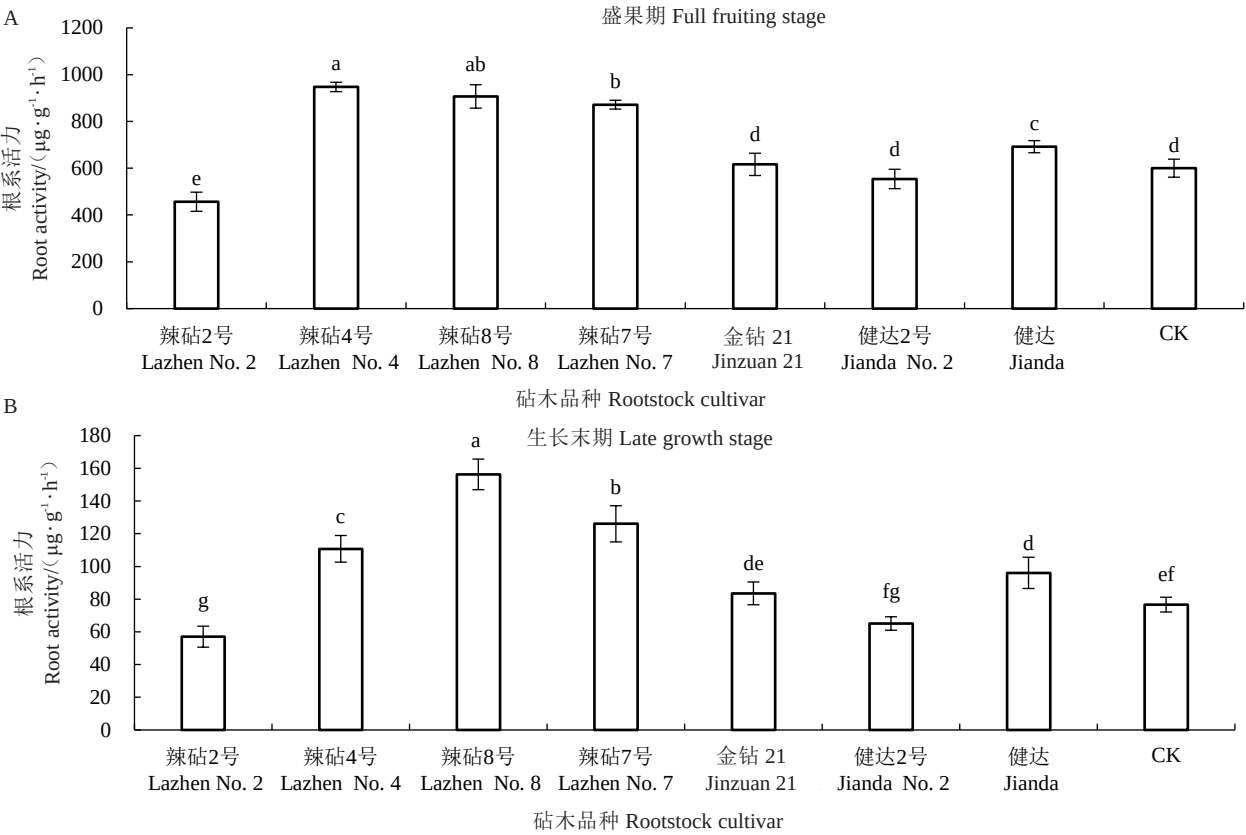


注:A. 辣砧 2 号;B. 辣砧 4 号;C. 辣砧 8 号;D. 辣砧 7 号;E. 金钻 21;F. 健达 2 号;G. 健达;H. CK。

Note: A. Lazhen No. 2; B. Lazhen No. 4; C. Lazhen No. 8; D. Lazhen No. 7; E. Jinzuan 21; F. Jianda No. 2; G. Jianda; H. CK.

图 1 不同砧木对菜椒嫁接苗生长末期根系形态的影响

Fig. 1 Effects of different rootstocks on root morphology of grafted sweet pepper seedlings at the late growth stage



注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

图 2 不同砧木对菜椒嫁接苗根系活力的影响

Fig. 2 Effects of different rootstocks on root activity of grafted sweet pepper seedlings

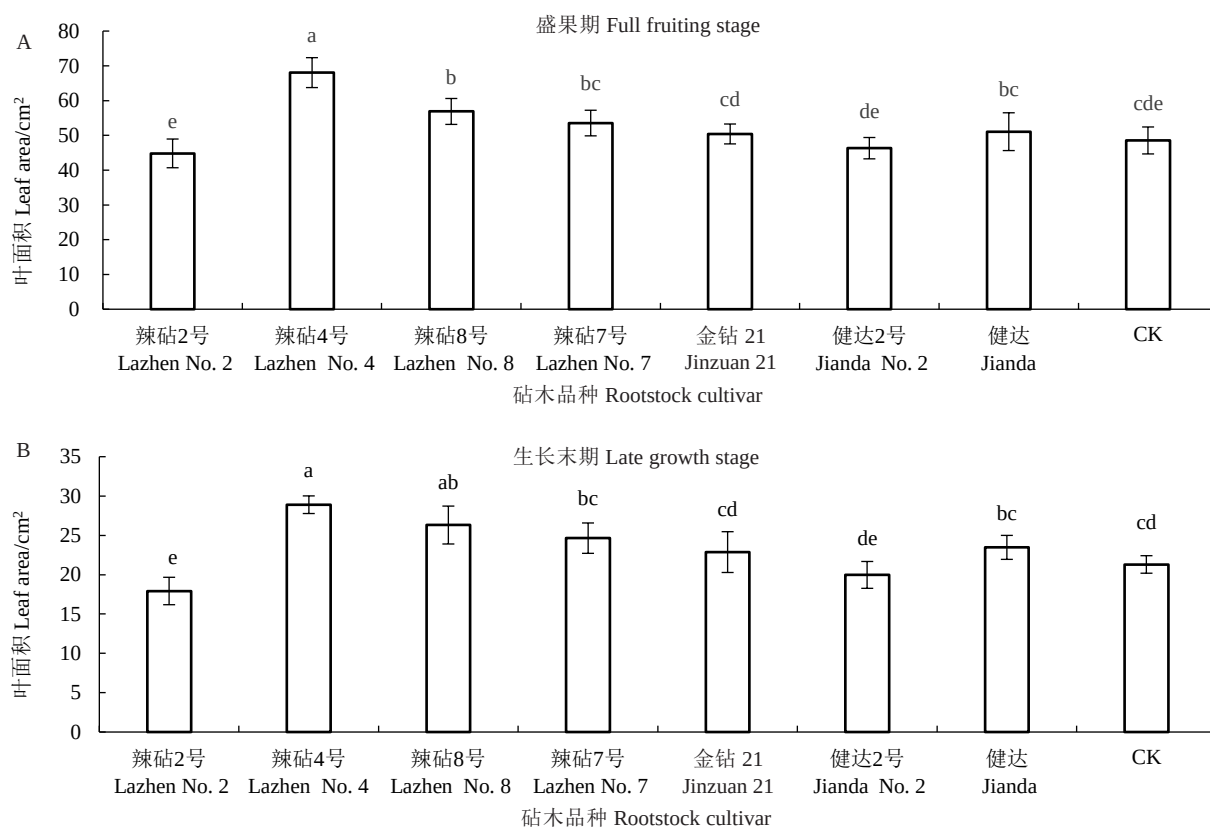


图3 不同砧木对菜椒嫁接苗叶面积的影响

Fig. 3 Effects of different rootstocks on leaf area of grafted sweet pepper seedlings

著低于CK。

2.3 不同砧木对菜椒嫁接苗果实生长和产量的影响

由图4可知,在果实成熟期,辣砧2号、辣砧4号、辣砧7号、辣砧8号、健达2号、金钻21嫁接苗的单果质量均显著高于CK,分别较CK提高了11.59%、9.99%、10.11%、10.23%、10.97%、11.59%;辣砧8号嫁接苗单株挂果数显著高于CK,较CK提高了4.59%,其他除辣砧4号嫁接苗外,均显著低于CK;辣砧4号、辣砧8号、辣砧7号嫁接苗的产量均显著高于CK,分别较CK提高了23.60%、26.33%、12.58%,健达、健达2号、辣砧2号均显著低于CK。说明辣砧8号嫁接的增产效果最为显著。

2.4 不同砧木对菜椒嫁接苗果实品质的影响

可溶性蛋白和维生素C含量主要体现菜椒的营养价值,可溶性糖含量与果实的甜度和风味密切相关,粗纤维含量与果实的口感质地密切相关。由图5可知,不同砧木菜椒嫁接苗果实品质具有一定差异。与CK相比,7种砧木嫁接苗果实中的可溶性蛋白含量均显著提高,其中辣砧8号、辣砧4号和辣砧2号嫁接苗分别较CK增加了121.78%、94.16%和82.24%;辣砧8号和健达嫁接苗果实的维

生素C含量分别较CK显著增加17.56%和21.97%,其他砧木嫁接苗与CK差异均不显著;金钻21嫁接苗果实的可溶性糖含量较CK显著提高16.70%,健达2号嫁接苗较CK显著降低11.10%,其他砧木嫁接苗与CK均无显著差异;辣砧4号、辣砧7号、辣砧8号、辣砧2号、健达嫁接苗果实的粗纤维含量均显著低于CK,分别较CK下降了19.66%、19.10%、10.11%、9.55%、7.87%。

2.5 不同砧木对菜椒嫁接苗青枯病抗性的影响

良好的抗病能力是辣椒稳产增收、提升种植效益的重要保障,病情指数是评价抗病性的重要量化指标,病情指数越低,则植株抗病性越强。由图6可知,不同砧木嫁接苗的青枯病病情指数不同。辣砧4号和辣砧8号嫁接苗的病情指数均较低,抗病性较强,其次是辣砧7号嫁接苗,病情指数分别较CK显著下降了92.86%、92.86%和75.00%。

2.6 菜椒嫁接苗15个指标的相关性分析

由图7可知,在嫁接苗生长方面,盛果期叶面积与盛果期根系活力呈极显著正相关;株高与盛果期根系活力、盛果期叶面积均呈极显著正相关;株幅与盛果期根系活力、盛果期叶面积、株高均呈极显著正相关;分枝数与盛果期根系活力、盛果期叶

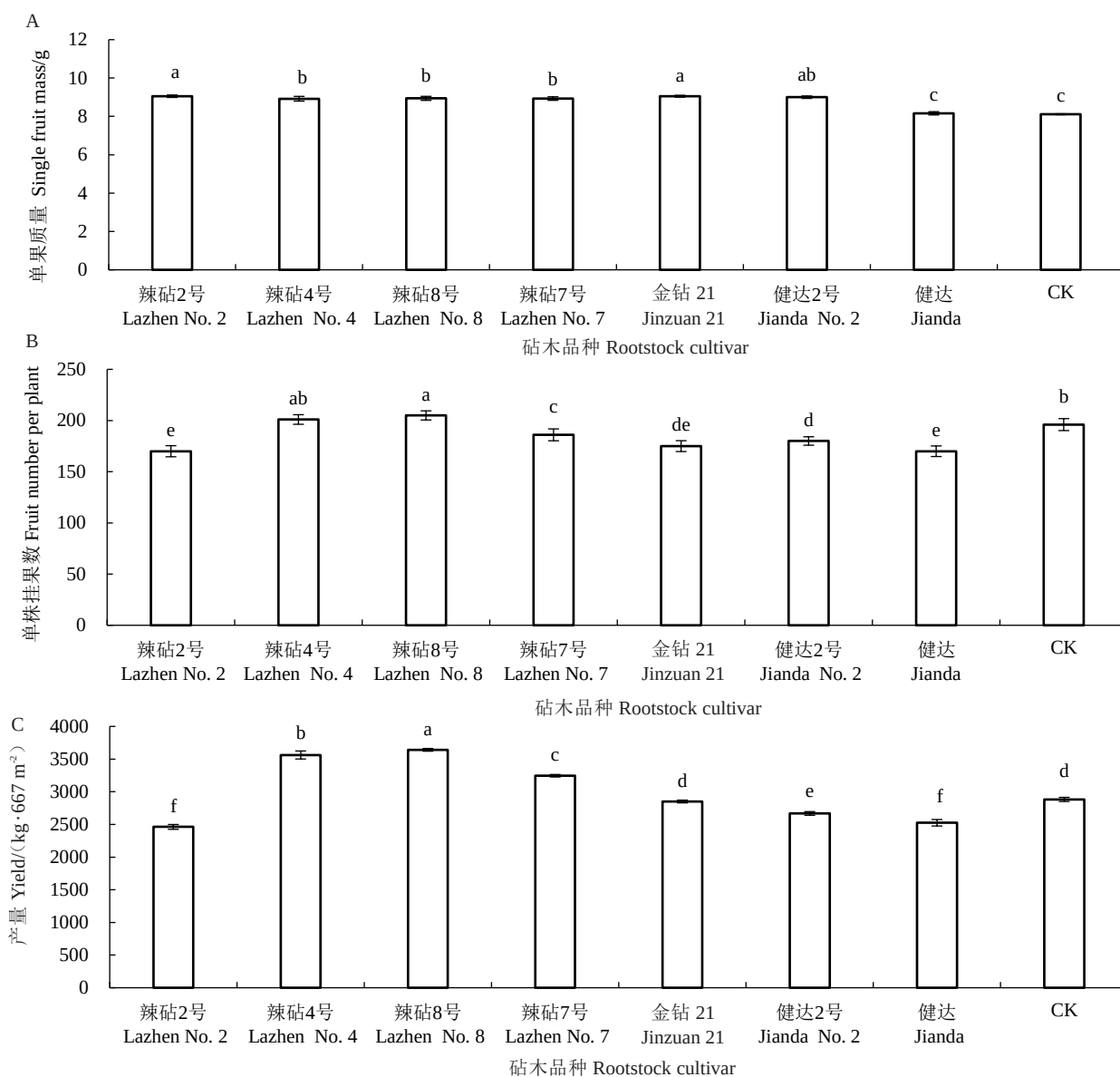


图4 不同砧木对菜椒嫁接苗果实生长和产量的影响

Fig. 4 Effects of different rootstocks on fruit growth and yield of grafted sweet pepper seedlings

面积、株高、株幅均呈极显著正相关;地下部鲜质量与根长呈显著正相关。在嫁接苗产量方面,单株挂果数与盛果期根系活力、株幅均呈显著正相关;产量与盛果期根系活力、株高、株幅、分枝数、单株挂果数均呈极显著正相关,与盛果期叶面积呈显著正相关;在品质方面,粗纤维含量与盛果期根系活力、株高、株幅、地下部鲜质量均呈显著负相关。青枯病抗性方面,病情指数与盛果期根系活力、株高、株幅、分枝数、产量均呈极显著负相关,与盛果期叶面积、地下部鲜质量、单株挂果数均呈显著负相关。

2.7 主成分分析与隶属函数分析

对菜椒嫁接苗的15个指标进行主成分分析,

结果如表2所示。按照特征值大于1的筛选标准,提取得到4个主成分,累计贡献率为89.914%,对第1主成分贡献较大的指标有盛果期根系活力、盛果期叶面积、株高、株幅、分枝数、地下部鲜质量、单株挂果数、产量、粗纤维含量、病情指数,主要反映菜椒嫁接苗的生长、产量和抗病情况;根长为第2主成分的主要贡献指标;可溶性蛋白含量为第4主成分的主要贡献指标。

将7种砧木嫁接苗和CK的15个指标的数据进行标准化处理,提取的4个主成分的综合得分结果如表3所示,辣砧4号嫁接苗的主成分综合得分最高,达2.48分,其次依次为辣砧8号嫁接苗>辣砧7号嫁接苗>健达嫁接苗>金钻21嫁接苗>

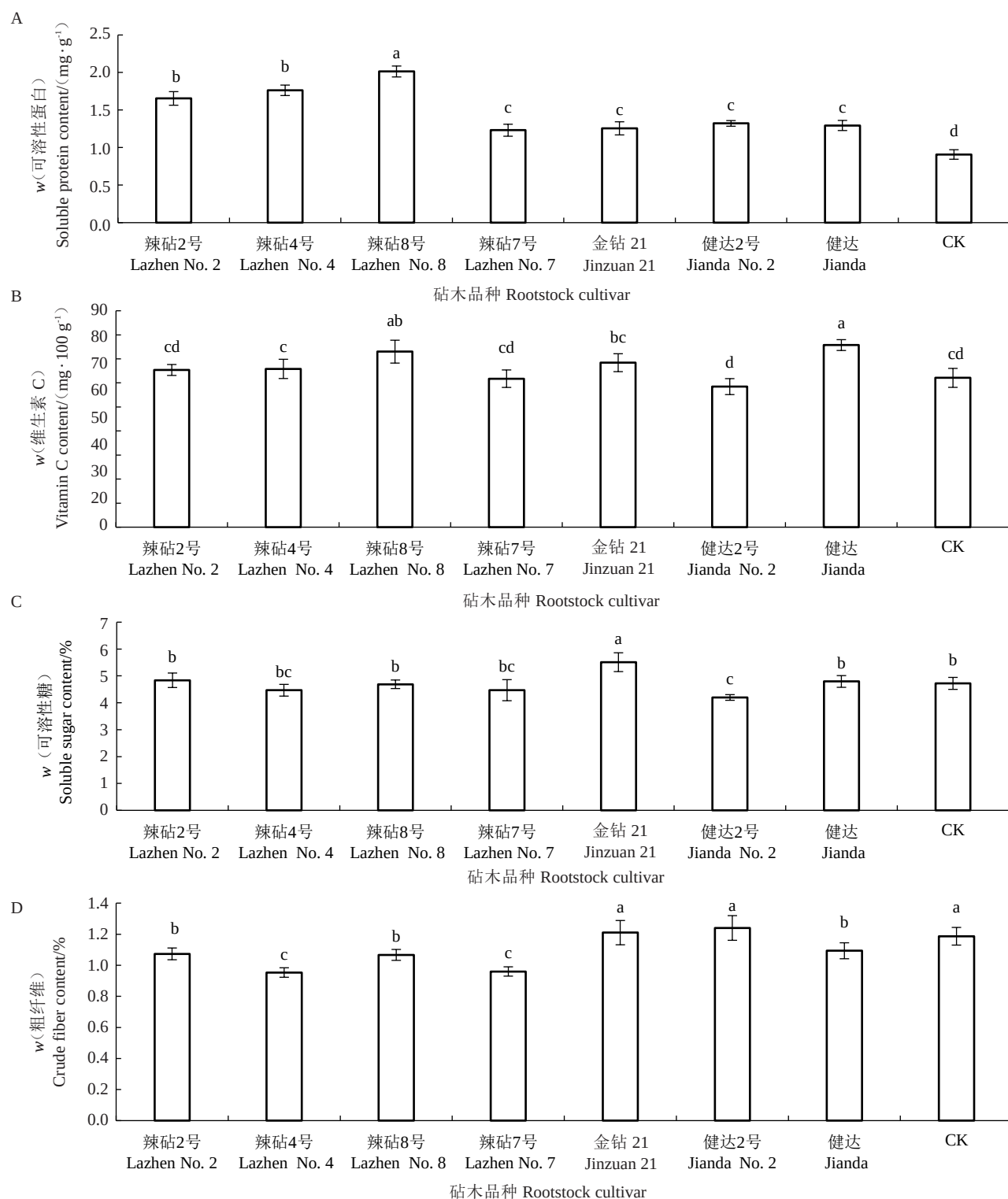


图5 不同砧木对菜椒嫁接苗果实品质的影响

Fig. 5 Effects of different rootstocks on fruit quality of grafted sweet pepper seedlings

CK>辣砧2号嫁接苗>健达2号嫁接苗。利用隶属函数法对7种砧木嫁接苗和CK的15个指标的隶属函数值进行分析,结果如表3所示,辣砧8号的隶属函数值最高,其次依次为辣砧4号嫁接苗>辣砧7号嫁接苗>健达嫁接苗>金钻21嫁接

苗>辣砧2号嫁接苗>CK>健达2号嫁接苗。结合主成分分析和隶属函数分析的结果,通过计算2种排名的算术平均值对各嫁接苗进行综合排序,依次为辣砧4号嫁接苗=辣砧8号嫁接苗>辣砧7号嫁接苗>健达嫁接苗>金钻21嫁接苗>CK=辣砧

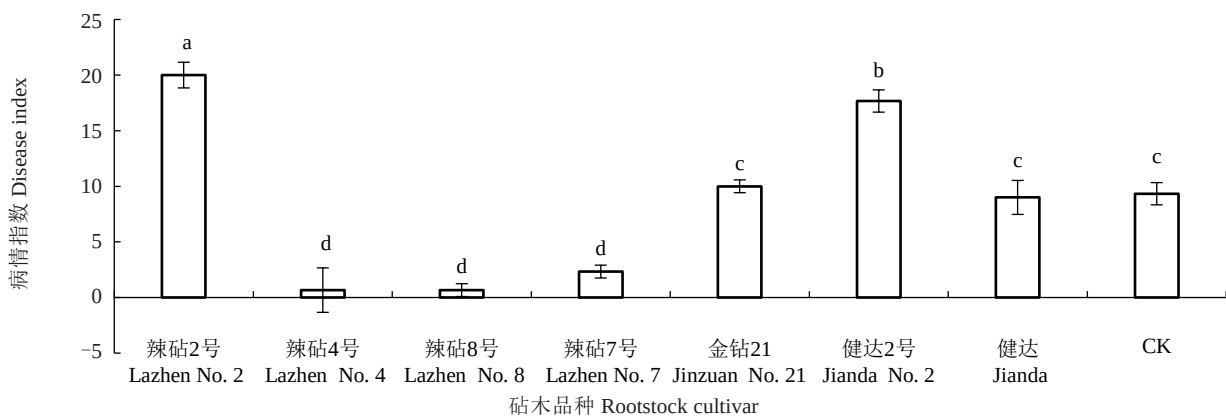
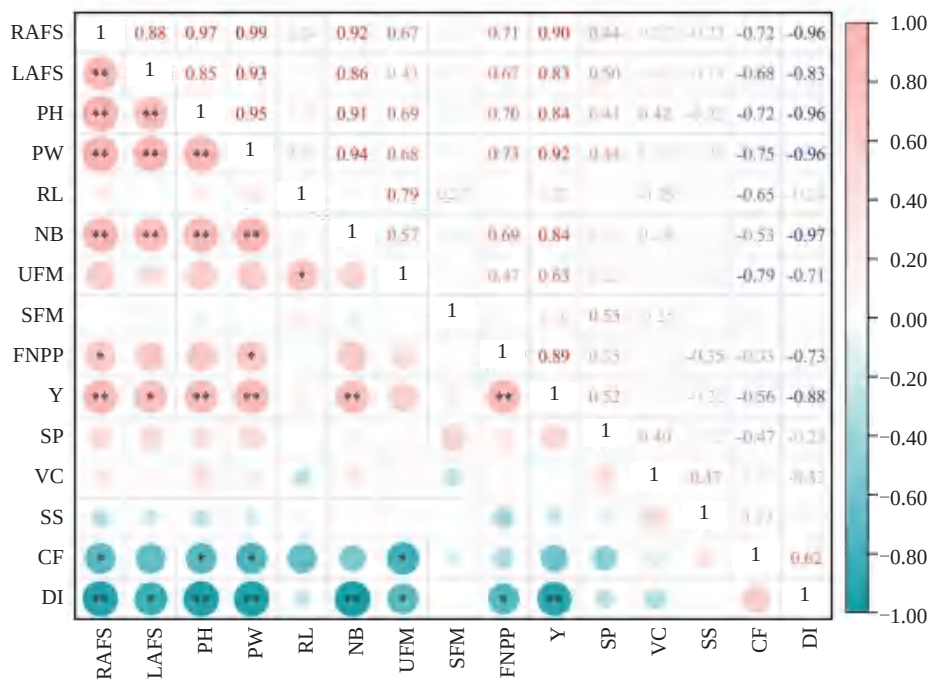


图 6 不同砧木对菜椒嫁接苗青枯病病情指数的影响

Fig. 6 Effects of different rootstocks on the disease index of bacterial wilt in grafted sweet pepper seedlings



注:RAFS. 盛果期根系活力;LAFS. 盛果期叶面积;PH. 株高;PW. 株幅;RL. 根长;NB. 分枝数;UFM. 地下部鲜质量;SFM. 单果质量;FNPP. 单株挂果数;Y. 产量;SP. 可溶性蛋白含量;VC. 维生素 C 含量;SS. 可溶性糖含量;CF. 粗纤维含量;DI. 病情指数。*表示在 0.05 水平显著相关;**表示在 0.01 水平极显著相关。

Note:RAFS. Root activity at full-fruit stage;LAFS. Leaf area at full-fruit stage;PH. Plant height;PW. Plant width;RL. Root length;NB. Number of branches;UFM. Underground fresh mass;SFM. Single fruit mass;FNPP. Fruit number per plant;Y. Yield;SP. Soluble protein content;VC. Vitamin C content;SS. Soluble sugar content;CF. Coarse fiber content;DI. Disease index. * indicates significant correlation at 0.05 level; ** indicates extremely significant correlation at 0.01 level.

图 7 不同砧木菜椒嫁接苗的 15 个指标间的相关性分析

Fig. 7 Correlation analysis of 15 indicators in sweet pepper seedlings with different rootstocks

2 号嫁接苗>健达 2 号嫁接苗。

3 讨论与结论

嫁接是增强植株对青枯病等土传病害抗性的关键举措之一^[20],然而,不同砧木与接穗间的互作效应不仅会调控植株的生长发育进程,还会对果实的

内在品质及外在商品性状产生直接影响^[21-24],因此,针对不同嫁接组合开展系统性的综合评价工作,是保障嫁接技术应用效果、推动相关研究深入开展的必要前提。采用相关性分析、主成分分析及隶属函数分析相结合的方法,对植物品种实施筛选与综合评价,是一种操作简便、可行性强且评价结果相对

表 2 不同砧木菜椒嫁接苗 15 个指标的主成分分析

Table 2 Principal component analysis of 15 indicators of sweet pepper seedlings with different rootstocks

指标 Indicator	主成分 Principal component			
	1	2	3	4
盛果期根系活力 Root activity at full-fruit stage	0.980	0.050	-0.045	-0.027
盛果期叶面积 Leaf area at full-fruit stage	0.895	0.144	-0.202	0.076
株高 Plant height	0.964	0.179	0.070	-0.069
株幅 Plant width	0.990	0.038	-0.028	-0.011
根长 Root length	0.314	-0.781	0.532	-0.042
分枝数 Number of branches	0.906	0.276	0.051	-0.176
地下部鲜质量 Underground fresh mass	0.743	-0.363	0.495	-0.071
单果质量 Single fruit mass	0.094	-0.549	-0.336	0.652
单株挂果数 Fruit number per plant	0.762	0.049	-0.391	-0.251
产量 Yield	0.931	-0.041	-0.238	0.022
可溶性蛋白含量 Soluble protein content	0.484	-0.066	-0.306	0.744
维生素 C 含量 Vitamin C content	0.266	0.662	0.408	0.480
可溶性糖含量 Soluble sugar content	-0.219	0.403	0.545	0.410
粗纤维含量 Coarse fiber content	-0.769	0.382	-0.271	-0.124
病情指数 Disease index	-0.956	-0.174	-0.110	0.129
贡献率 Contribution rate/%	56.388	13.076	10.304	10.146
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	56.388	69.464	79.768	89.914
权重 Weight/%	62.713	14.543	11.460	11.284

表 3 基于主成分分析和隶属函数分析的排名结果

Table 3 Ranking results based on principal component analysis and membership function analysis

砧木品种 Rootstock cultivar	主成分分析 Principal component analysis		隶属函数分析 Membership function analysis		综合排名 Comprehensive rank
	F	排名 Rank	隶属函数值 Membership function value	排名 Rank	
辣砧 2 号 Lazhen No. 2	-1.96	7	0.45	6	6
辣砧 4 号 Lazhen No. 4	2.48	1	0.61	2	1
辣砧 8 号 Lazhen No. 8	2.28	2	0.62	1	1
辣砧 7 号 Lazhen No. 7	1.24	3	0.56	3	3
金钻 21 Jinzuan No. 21	-0.66	5	0.49	5	5
健达 2 号 Jianda 2	-2.44	8	0.36	8	8
健达 Jianda	-0.11	4	0.50	4	4
CK	-0.83	6	0.42	7	6

客观的技术路径^[25]。本文通过将 7 种辣椒砧木与鸿福 8 号菜椒进行嫁接,研究嫁接苗生长、果实产量、果实品质及植株抗性等指标的变化情况。结果表明,辣砧 4 号、辣砧 8 号和辣砧 7 号嫁接苗的株高、株幅、分枝数及茎粗均显著高于 CK,其中,株高分别较 CK 显著提高 22.65%、22.43%、15.14%,表明这些砧木能有效促进菜椒植株的营养生长。盛果期根系活力与盛果期叶面积、株高、株幅、分枝数等生长指标均呈极显著正相关,说明砧木通过增强根系吸收能力,改善了植株的水分和养分供应条件,促进嫁接苗生长。在产量方面,辣砧 8 号嫁接苗的单果质量和单株挂果数均较 CK 显著提高,且其产量最高,较 CK 显著增加 26.33%,这可能与辣砧 8 号嫁接苗根系活力和叶面积均较高有关。这与佺泽

会等^[11]的报道一致,即专用辣椒砧木能显著提升产量。然而,健达、辣砧 2 号、健达 2 号等嫁接苗产量均较 CK 显著降低,提示砧木选择需考虑品种特异性。品质分析显示,辣砧 8 号和辣砧 4 号嫁接苗果实的可溶性蛋白含量均较 CK 大幅增加(分别较 CK 提高 121.78%和 94.16%),而粗纤维含量较 CK 显著下降,改善了果实口感,但可溶性糖含量变化不显著,说明砧木对品质的调控具有选择性。抗病性方面,辣砧 4 号和辣砧 8 号嫁接苗的青枯病病情指数均较 CK 显著降低 92.86%。相关性分析表明病情指数与盛果期根系活力、株高、株幅、分枝数均呈极显著负相关,表明强壮的植株可增强植株的抗病能力,这可能由于砧木携带的抗病基因激活了嫁接苗的系统抗性,增强了植株的抗病能力。

本研究运用主成分分析法,将15个性状指标有效降维为4个主成分,累计贡献率达89.914%,有效规避了性状间的共线性干扰,简化了多指标综合评价流程。基于主成分分析和隶属函数分析进行综合评价,获得各砧木嫁接苗及CK的综合排序为辣砧4号嫁接苗=辣砧8号嫁接苗>辣砧7号嫁接苗>健达嫁接苗>金钻21嫁接苗>CK=辣砧2号嫁接苗>健达2号嫁接苗,评价结果更客观准确。根据综合评价,辣砧4号与辣砧8号嫁接苗综合性状均较优,其地下部鲜质量、根系活力、产量以及可溶性蛋白、维生素C含量等品质指标均显著优于排名末位的健达2号,其中,辣砧4号与辣砧8号嫁接苗产量均显著高于健达2号嫁接苗和CK,同时表现出更强的青枯病抗性。关键表型数据与数学模型评价结果的高度一致,印证了本研究所采用分析方法的实用性与可靠性。

综上,通过对不同砧木鸿福8号菜椒嫁接苗多个农艺性状、产量、果实品质及青枯病抗性等进行系统测定,同时运用主成分分析和隶属函数法进行综合评价,辣砧4号和辣砧8号嫁接苗综合优势最为突出,相较于其他砧木嫁接苗,二者在植株生长(株高、株幅、根系活力、地下部鲜质量)、产量方面表现优异,同时果实可溶性蛋白、维生素C含量均较高,青枯病病情指数均较低,选用辣砧4号和辣砧8号作为鸿福8号菜椒砧木,可在保证果实品质稳定的同时,大幅提升植株长势、产量,增强嫁接苗对青枯病抗性。

参考文献

- [1] 李曙轩,李树德.中国农业百科全书,蔬菜卷[M].北京:中国农业出版社,1990.
- [2] 邹学校,杨莎,朱凡,等.中国高口感品质鲜食辣椒产业发展与未来趋势[J].园艺学报,2024,51(1):27-38.
- [3] 吴迪,付文婷,吴康云,等.275份辣椒种质资源表型性状的遗传多样性分析[J].中国瓜菜,2024,37(9):47-53.
- [4] Zhang J, Wang C, Wang J, et al. Comprehensive fruit quality assessment and identification of aroma-active compounds in green pepper (*Capsicum annuum* L.) [J]. Frontiers in Nutrition, 2023, 9:1027605.
- [5] 张永香,任苗,洪茵恬,等.不同砧木嫁接对线辣椒生长发育及光合特性的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(7):94-101.
- [6] Nagila A, Crosby K M, Leskovar D I. Evaluating suitable rootstocks for grafting in organic pepper system[J]. HortScience, 2024,60(1):5-16.
- [7] Duan X, Liu F J, Bi H G, et al. Grafting enhances bacterial wilt resistance in peppers[J]. Agriculture, 2022, 12(5):583-583.
- [8] 郭小山,顾妍,孙敏,等.嫁接对辣椒生长及生理指标的影响[J].江苏农业科学,2020,48(4):139-142.
- [9] 张帆,刘博,石玉,等.干旱胁迫下嫁接对辣椒幼苗生长及生理特性的影响[J].江苏农业科学,2024,52(5):186-191.
- [10] 江帆.不同砧木嫁接对‘辛香2号’辣椒疫病抗性、品质和产量的影响[D].福州:福建农林大学,2023.
- [11] 仪泽会,毛丽萍,赵婧.不同砧木对辣椒成活率、产量、品质及抗病性的影响[J].中国瓜菜,2019,32(10):45-49.
- [12] 陈佳富,王君,林萱,等.嫁接提高辣椒品质与产量及抗逆性研究进展[J].辣椒杂志,2024,22(4):34-39.
- [13] Kumar P, Rana S, Sharma P, et al. Evaluation of chilli and brinjal rootstocks for growth, yield and quality of bell pepper (*Capsicum annuum* L. var. *grossum* Sendt.) under protected conditions[J]. Agricultural Research Journal, 2016, 53(2):180.
- [14] 尹周薇,吕俊恒,邓明华,等.提高辣椒品种软皮2307耐热性的砧木筛选[J].辣椒杂志,2025,23(3):20-25.
- [15] 张金彩.食品分析与检测技术[M].北京:中国轻工业出版社,2016.
- [16] 张淑芳.生物化学实验技术[M].武汉:华中科技大学出版社,2011.
- [17] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [18] 李锡香.辣椒种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [19] 张明辉,林碧珍,练冬梅,等.不同砧木嫁接对黄皮椒生长、产量、品质及抗病性的影响[J].福建农业学报,2025,40(6):594-601.
- [20] Lang X M, Zhao X, Zhao J T, et al. MicroRNA profiling revealed the mechanism of enhanced cold resistance by grafting in melon (*Cucumis melo* L.) [J]. Plants, 2024, 13(7):1016.
- [21] Devi P, Perkins-Veazie P, Miles C. Impact of grafting on watermelon fruit maturity and quality[J]. Horticulturae, 2020, 6(4):97.
- [22] Kaleem M M, Zhu P L, Atee Q M, et al. Integrated multi-omics analysis provides molecular insights into flavor variation in melons grafted onto two different pumpkin rootstocks during fruit development[J]. Horticultural Plant Journal, 2025, 11(3):1181-1197.
- [23] Mohamed A S, Abdelaty H S, Saleh S A. Grafting as a good technique to improve the productivity and quality of fruit bearing vegetables: A review[J]. Egyptian Journal of Chemistry, 2024,67(13):1901-1914.
- [24] Ye H X, Zhang C Y, Wang B L. Effects of grafting with different rootstocks on fruit yield and quality of muskmelon under continuous cropping[J]. Horticulturae, 2025, 11(2):183.
- [25] 高梓元,胡京昂,张蓓蓓,等.磷高效利用型嫁接番茄砧木筛选及综合评价[J].中国农业科学,2023,56(14):2761-2775.