

DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2025.0147

南瓜砧木嫁接对秋季中果型西瓜生长发育和果实品质的影响

宋宇, 张艺洋, 陈聪, KALEEM Muhammad Mohsin, 陈家振, 徐慧敏, 林昕原, 别之龙

(果蔬园艺作物种质创新与利用全国重点实验室·华中农业大学园艺林学学院 武汉 430070)

摘要:为筛选出适宜秋季中果型西瓜嫁接的南瓜砧木,以西瓜品种美都作为接穗,以9个自育南瓜砧木(H1~H9)和2个商业南瓜砧木(丰乐金甲和京欣砧4号,H10和H11)作为嫁接砧木,以2个商业南瓜砧木(H10和H11)和自根苗(H12)为对照,研究秋季不同南瓜砧木嫁接西瓜后对嫁接亲和性、西瓜幼苗生长、田间适应性、果实产量和品质等性状的影响。结果表明,各砧木与西瓜嫁接亲和性均较好,嫁接苗的种苗质量、田间长势和产量均优于自根苗,其中砧木H1、H2、H7、H8、H9的增产效果和H2、H6、H7、H8、H9嫁接的西瓜果实内在品质均优于2个商业南瓜砧木。对21项重要指标进行主成分和隶属函数分析,综合评价筛选出了H9、H7和H83份南瓜砧木,在嫁接西瓜苗期壮苗指数、产量、可溶性固形物含量、感官评价得分等方面均优于商业南瓜砧木丰乐金甲和京欣砧4号,相比于自根苗增产率达20.45%~27.98%,适宜作为湖北省等相同生态区域的中果型西瓜秋季设施栽培的嫁接砧木。

关键词:南瓜砧木;西瓜;产量;品质;综合评价

中图分类号:S651

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2025)08-145-09

Effects of different pumpkin rootstocks on the growth, development and fruit quality of medium-size grafted watermelon in autumn

SONG Yu, ZHANG Yiyang, CHEN Cong, KALEEM Muhammad Mohsin, CHEN Jiazhen, XU Hui-min, LIN Xinyuan, BIE Zhilong

(National Key Laboratory for Germplasm Innovation & Utilization of Horticultural Crops/College of Horticulture & Forestry, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China)

Abstract: To screen suitable pumpkin rootstocks for medium-size grafted watermelon in autumn, nine hybrid pumpkin rootstocks and two commercial rootstocks (Fengle Jinjia and Jingxin Zhen No. 4) were evaluated using Meidu watermelon as the scion. Two commercial pumpkin rootstocks (H10 and H11) and self-rooted seedlings (H12) were used as control. This study investigated the effects of different pumpkin rootstocks on grafting compatibility, seedling growth, field adaptability, yield, and fruit quality of watermelon. The results indicated that all tested rootstocks exhibited high compatibility with watermelon. Grafted seedlings demonstrated superior quality, growth vigor and yield compared to self-rooted seedlings. H1, H2, H7, H8, and H9 showed better yield; H2, H6, H7, H8, and H9 exhibited superior intrinsic fruit quality compared to the commercial rootstocks. Through principal component and membership function analysis of 21 key indicators, rootstocks H9, H7, and H8 were comprehensively evaluated as superior to Fengle Jinjia and Jingxin Zhen No. 4 in terms of seedling strength index, yield, soluble solids content and sensory evaluation score, increasing yield by 20.45%~27.98% compared to self-rooted plants. These pumpkin rootstocks are recommended as suitable options for medium-size grafted watermelon cultivation in autumn, particularly in ecological zones with conditions similar to those of Hubei province.

Key words: Pumpkin rootstock; Watermelon; Yield; Quality; Comprehensive evaluation

收稿日期:2025-03-02;修回日期:2025-04-17

基金项目:国家重点研发计划项目(2023YFD2300703);果蔬园艺作物种质创新与利用全国重点实验室委托项目(Horti-3Y-2024-014);国家西甜瓜产业技术体系项目(CARS-25)

作者简介:宋宇,男,在读硕士研究生,主要从事砧木遗传育种研究。E-mail:songy0911@163.com

通信作者:别之龙,男,教授,主要从事设施栽培和工厂化育苗研究。E-mail:biezl@mail.hzau.edu.cn

我国西瓜生产与消费均居全球首位,年产量占世界总产量的60%以上^[1]。传统西瓜生产多集中在春季,但近年来随着消费需求升级,西瓜的消费已由传统的夏季消费变为全年消费,秋季西瓜生产满足了国庆、中秋双节对西瓜的需求,且具备生产周期短、经济效益好等优势,有着广泛的市场前景^[2]。中果型西瓜因具有单瓜质量适中、丰产性强、汁液丰富且风味优良等特点,已成为我国西瓜消费市场主流品类,其中美都是具有代表性的适合设施栽培的中果型西瓜品种,在我国南方地区推广面积逐年扩大^[3-5]。然而秋季西瓜设施栽培存在高温、病虫害高发、重茬等问题,植株生长弱,栽培管理困难,严重制约着西瓜的产量和品质^[6-7]。

筛选出优异的西瓜嫁接砧木是解决秋季西瓜设施栽培重茬问题、提升西瓜产量及抗逆性的有效措施^[8]。目前市场上西瓜嫁接砧木主要有南瓜和葫芦2类,其中南瓜砧木在抗枯萎病等土传病害及增产效果方面表现优于葫芦砧木^[9-11]。前人研究表明,不同南瓜砧木品种的嫁接效应存在显著差异,幼苗期即可通过西瓜株高、茎粗等形态指标区分优劣^[12]。若砧木选用不当,易导致接穗生长发育受抑,进而影响西瓜的产量和品质^[13]。现有砧木筛选研究

多聚焦于春季栽培环境,而对秋季高温下的砧木研究不足。针对秋季西瓜嫁接砧木筛选需综合考量接穗与砧木的亲合力、嫁接苗种苗质量、田间长势、抗病性、产量和品质等指标。本试验以11个南瓜品种(系)为砧木嫁接美都西瓜,以接穗自根苗和2个商业砧木为对照,系统探究秋季不同南瓜砧木对西瓜的亲合性、种苗生长、根系形态、田间适应性、果实产量和品质的影响,并结合主成分分析和隶属函数法进行综合评价,旨在筛选出适合秋季中果型西瓜设施栽培嫁接的优良南瓜砧木,为生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试西瓜接穗品种为美都,购自宁波微萌种业有限公司。参试南瓜砧木一共11份,其中H1~H9为华中农业大学设施园艺课题组前期经过对枯萎病、根腐病以及耐盐性系统鉴定筛选出的砧用南瓜,并于2024年春季在湖北武汉、宁夏中卫以及内蒙古巴彦淖尔3地开展的嫁接试验中,嫁接亲和性、田间抗逆性及产量表现均优于商业砧木(未发表)。H10丰乐金甲、H11京欣砧4号,分别购自合

表1 供试南瓜砧木的来源与特性
Table 1 Sources and characteristics of tested pumpkin rootstocks

来源 Source	编号 Number	砧木名称 Rootstock name	特性 Characteristics
华中农业大学设施园艺课题组 Protected horticulture team, Huazhong Agricultural University	H1	PTYM298Y06	抗枯萎病,抗根腐病,强耐盐性 Resist <i>Fusarium</i> wilt, resist root rot, strong salt tolerance
	H2	PTYM74Y16	抗枯萎病,抗根腐病,强耐盐性 Resist <i>Fusarium</i> wilt, resist root rot, strong salt tolerance
	H3	PTYM3Z6Z0	高抗枯萎病,抗根腐病 High resist <i>Fusarium</i> wilt, resist root rot
	H4	PTYMZ6Z9Z3	抗根腐病 Resist root rot
	H5	PTYMZ6Z9Z5	高抗枯萎病,抗根腐病,强耐盐性 High resist <i>Fusarium</i> wilt, resist root rot, strong salt tolerance
	H6	PTYM47Z5	高抗枯萎病,抗根腐病 High resist <i>Fusarium</i> wilt, resist root rot
	H7	PTYM3Z6Z5	抗枯萎病,抗根腐病 Resist <i>Fusarium</i> wilt, resist root rot
	H8	PTYMY68Z5	抗枯萎病,抗根腐病,强耐盐性 Resist <i>Fusarium</i> wilt, resist root rot, strong salt tolerance
	H9	PTYMZ9Z6Z5	高抗枯萎病,抗根腐病,强耐盐性 High resist <i>Fusarium</i> wilt, resist root rot, strong salt tolerance
合肥丰乐种业股份有限公司 Hefei Fengle Seed Industry Co., Ltd.	H10	丰乐金甲 Fengle Jinjia	高抗枯萎病,抗根腐病 High resist <i>Fusarium</i> wilt, resist root rot
京研益农(北京)种业科技有限公司 Jingyan Yinong (Beijing) Seed Sci-Tech Co., Ltd.	H11	京欣砧4号 Jingxin Zhen No. 4	高抗枯萎病,抗根腐病 High resist <i>Fusarium</i> wilt, resist root rot

肥丰乐种业有限公司和京研益农(北京)种业科技有限公司,均为商业砧木。南瓜砧木具体信息见表1。以美都自根苗 H12 及 2 个商业南瓜砧木 H10、H11 为对照。

1.2 设计

试验于 2024 年 7—8 月在国家蔬菜改良中心华中分中心智慧玻璃温室完成嫁接育苗,于 8—10 月在武汉市农业科学院北部园区试验基地塑料大棚内进行田间栽培试验。试验大棚 2023 年曾种植过西瓜,2024 年春茬作物为茄子。砧木与接穗分别于 7 月 2 日、4 日播种,育苗选择 50 孔标准穴盘,基质按草炭:蛭石:珍珠岩体积比为 3:1:1 配制,并添加 $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 的复合肥作为基肥(N、P、K 质量比为 15:15:15,雅苒国际有限公司),7 月 14 日待砧木第一片真叶硬币大小、接穗子叶展平时采用断根贴接法进行嫁接,8 月 1 日(嫁接苗 3 叶 1 心时)定植,8 月 24 日开始人工辅助授粉,9 月 8 日对植株进行摘心,10 月 2 日采收。试验采用随机区组设计,12 个处理,每个处理种植 4 个小区,作为 4 次重复,每小区定植 11 株,单个小区面积为 8.8 m^2 ,单行种植,株距为 40 cm,采用吊蔓栽培,双蔓整枝,1 株留 1 果,其他管理同常规生产。

1.3 项目测定

1.3.1 嫁接苗生长指标测定 嫁接后 14 d,统计嫁接成活率(嫁接成活率/ $\%$ =嫁接成活数/嫁接总株数 $\times 100$)。嫁接苗 3 叶 1 心时,每个处理随机选取 5 株嫁接苗。用直尺测量砧木和接穗高度(砧木高度为基质表面到嫁接口的距离,接穗高度为基质表面到生长点的距离-砧木高度);用游标卡尺测量茎粗(接穗子叶节以下 1 cm 处直径);采用 Epson Expression12 000XL 扫描仪及 WinRHIZO Pro 软件分析系统进行叶面积、根长、根表面积、根直径、根体积等指标的测定。采用 TTC 法测定根系活力^[14]。使用 SPAD-502 叶绿素仪(日本 Konica Minolta)测定嫁接苗接穗第 3 片真叶的叶绿素相对含量(SPAD 值);用电子天平测定地上部(接穗及砧木)和地下部(根)的干质量。根冠比、嫁接苗壮苗指数、自根苗壮苗指数均参照汪正香^[15]的方法计算。

根冠比=地下部干质量/地上部干质量;

嫁接苗壮苗指数=(接穗茎粗/接穗高度+嫁接苗根冠比) \times 全株干质量;

自根苗壮苗指数=(茎粗/株高+自根苗根冠比) \times 全株干质量。

1.3.2 田间生长和果实调查 在定植后 20 d 调查

定植苗成活株数,定植后 38 d(摘心前)调查 12 株的株高(土壤表面至西瓜主蔓生长点的高度)、茎粗(接穗子叶节下方 1 cm 处直径)、第 1 雌花节位和坐瓜节位。采收前调查 4 个小区的末期存活数和坐瓜数。

1.3.3 果实产量和品质指标调查 每个处理随机选取 12 个成熟度一致的西瓜,用天平称量单瓜质量,根据小区平均产量计算产量(折合 667 m^2 产量),用直尺测量果实横径和纵径并计算果形指数,果形指数=果实纵径/果实横径,用游标卡尺测量果皮厚度,用手持测糖仪(PAL-1, ATAGO, 日本)测定果肉中心和边部可溶性固形物含量。选取 4 个西瓜用酸度计(GMK-835N, G-WON Hi-tech, 韩国)测定可滴定酸含量^[16],组织 48 人评审组对西瓜果肉进行品鉴评分^[17-18](包括甜度、瓤质、酸度、多汁程度、质地、综合口感、异味或苦味和整体喜好度 8 项指标),评定结果采用综合得分法进行分析^[19]。

1.4 数据分析

采用 Excel 2016 软件进行数据处理及图表绘制,采用 DPS 7.05 对数据进行统计分析,采用 Duncan 新复极差法进行多重比较。采用基于主成分分析(PCA)的隶属函数方法进行综合评价^[19-20]。

2 结果与分析

2.1 不同南瓜砧木嫁接对西瓜嫁接苗种苗质量的影响

从表 2 可以看出,11 种南瓜砧木嫁接西瓜的成活率均 $>95\%$,嫁接成活情况照片如图 1 所示,其中 H1、H2、H5、H6、H8 和商业砧木 H11 的嫁接成活率达 100%,与西瓜的嫁接亲和性最优。嫁接苗的株高与茎粗是评价嫁接苗种苗质量的关键形态指标,本试验中所有砧木嫁接苗的株高、茎粗及壮苗指数均显著大于自根苗。H7 嫁接苗较其他嫁接苗更为矮壮,在嫁接苗中,其株高最低,仅为 9.46 cm,茎粗最大,达 3.55 mm,壮苗指数显著大于除 H4 和 H9 外的其他处理。叶面积和 SPAD 值是影响光合效率的重要指标,在本试验中,H8 嫁接苗的叶面积最大,与 H4、H6 和 H7 均无显著差异,但显著高于其他处理,较商业砧木 H10、H11 分别提高了 25.02%、17.76%。所有嫁接苗叶片的 SPAD 值均显著高于自根苗,在南瓜嫁接组合中,H6 的 SPAD 值最低,显著低于 H1、H2、H4、H7、H8 和 H9。

表2 不同南瓜砧木对西瓜嫁接苗种苗生长指标和叶片 SPAD 值的影响
Table 2 Effects of different pumpkin rootstocks on the growth indicators and leaf SPAD value of grafted watermelon seedlings

编号 Number	嫁接成活率 Grafting survival rate/%	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	壮苗指数 Seeding strength index	叶面积 Leaf area/cm ²	SPAD 值 SPAD value
H1	100.0	10.96 ab	3.38 abc	0.338 bcd	64.90 d	48.82 a
H2	100.0	11.52 a	3.12 abc	0.330 cd	62.60 de	48.98 a
H3	97.3	10.50 abc	2.96 c	0.305 cd	70.21 bcd	47.34 ab
H4	95.8	10.80 ab	3.47 ab	0.395 abc	78.54 ab	49.20 a
H5	100.0	11.24 ab	3.26 abc	0.358 bcd	62.81 de	48.52 ab
H6	100.0	10.26 abc	3.04 bc	0.269 d	77.92 abc	45.44 b
H7	97.2	9.46 c	3.55 a	0.482 a	76.84 abc	49.28 a
H8	100.0	10.14 bc	3.13 abc	0.361 bcd	85.45 a	49.30 a
H9	97.3	10.44 abc	3.54 a	0.429 ab	65.50 d	48.94 a
H10	97.3	11.20 ab	3.31 abc	0.287 d	68.35 cd	48.66 ab
H11	100.0	9.98 bc	3.34 abc	0.321 cd	72.56 bcd	48.42 ab
H12		6.90 d	2.40 d	0.093 e	54.97 e	40.44 c

注: H12 为西瓜自根苗, 其余编号为西瓜嫁接苗。同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: H12 is watermelon self-rooted seedlings, and the rest numbers are watermelon grafted seedlings. Different small letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 level. The same below.

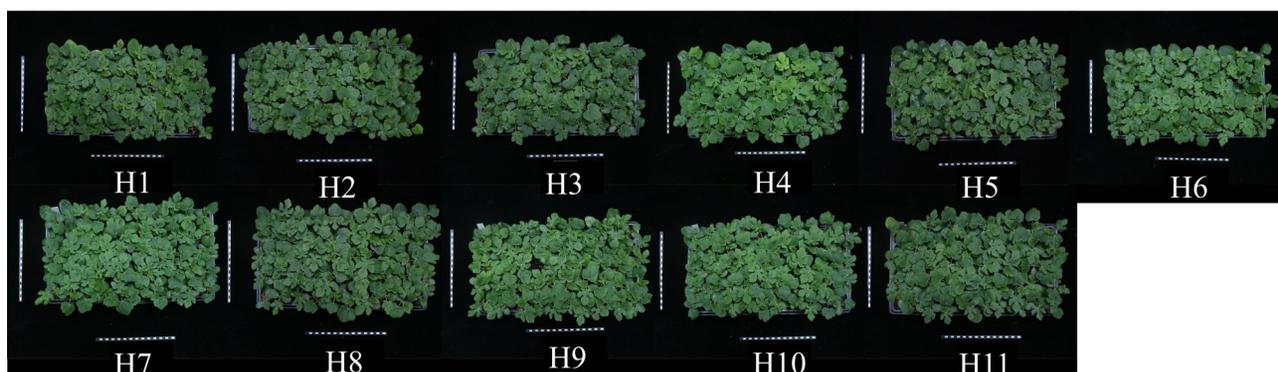


图1 11个南瓜砧木嫁接西瓜成活情况照片

Fig. 1 Photos of the survival status of 11 pumpkin rootstocks grafted with watermelon

根系作为植物代谢活跃的吸收与合成器官,其形态直接影响幼苗同化产物的积累及早期产量的形成。从表3中可以看出,所有嫁接苗的根长、根表面积和根体积均大于自根苗,其中H1表现均最优;而H3的根长、根表面积表现最差,但均与2个商业砧木H10、H11和自根苗无显著差异。从根直径方面来看,H9最大,H2最小,H1、H2、H4、H6均与商业砧木H10、自根苗无显著差异。根系活力反映了植物根系吸收养分能力的强弱,由表3可知,所有嫁接苗的根系活力均强于自根苗,其中H1、H2和H9均显著强于商业砧木H11和自根苗。总体看来,与其他处理相比,H1砧木嫁接西瓜具有更好的根系形态和更强的根系活力。

2.2 不同南瓜砧木嫁接对西瓜田间长势的影响

定植后20d的调查结果表明(表4),所有嫁接

苗的定植成活率均>95.0%,表明参试南瓜砧木均与西瓜接穗具有良好的共生亲和性。至采收末期,H7和H9的存活率仍高达100.0%,在秋季嫁接栽培中表现出很强的抗逆性和田间适应性。末期存活率最低的是西瓜自根苗,其次是H4,分别为86.4%和88.6%。

从表4可以看出,在秋季栽培条件下,所有嫁接苗的第1雌花节位和坐瓜节位均高于自根苗,其中H5、H7、H9的第1雌花节位和H1、H7、H9的坐瓜节位均高于2个商业砧木H10、H11和自根苗。所有嫁接苗的株高和茎粗在定植38d后均大于自根苗,各处理株高最高的是H1,为276.75cm,比自根苗高23.83cm;其次是商业砧木H10,为274.92cm。H1株高与H4、自根苗有显著差异,但与其他处理差异不显著。嫁接苗中茎粗最大的是H2,为12.53mm,

表3 不同南瓜砧木对西瓜嫁接苗根系形态和根系活力的影响

编号 Number	根长 Root length/cm	根表面积 Root surface area/cm ²	根直径 Root diameter/mm	根体积 Root volume/cm ³	根系活力 Root activity/(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)
H1	496.44 a	55.692 a	0.377 bcde	0.496 a	0.216 a
H2	429.37 b	44.485 b	0.338 e	0.429 ab	0.201 ab
H3	223.41 fg	28.288 cd	0.419 bed	0.221 fgh	0.179 abc
H4	397.08 bc	43.755 b	0.351 de	0.397 bc	0.163 bc
H5	285.43 ef	39.327 b	0.445 ab	0.285 def	0.157 bcd
H6	366.67 cd	39.903 b	0.354 cde	0.305 de	0.174 abc
H7	310.80 de	42.745 b	0.448 ab	0.349 cd	0.174 abc
H8	232.42 f	30.747 cd	0.421 bcd	0.232 efgh	0.158 bc
H9	226.59 fg	36.888 bc	0.515 a	0.227 efgh	0.195 ab
H10	232.55 f	28.690 cd	0.381 bcde	0.185 gh	0.169 bc
H11	247.34 f	29.832 cd	0.435 bc	0.247 efg	0.143 cd
H12	165.69 g	22.511 d	0.388 bcde	0.166 h	0.115 d

表4 不同南瓜砧木对西瓜植株生长的影响

Table 4 Effects of different pumpkin rootstocks on the growth of watermelon plants

编号 Number	定植成活率 Transplanting survival rate/%	末期存活率 End-stage survival rate/%	第1雌花节位 First female node	坐瓜节位 Fruit setting node	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm
H1	97.7	97.7	10.42 bc	22.83 ab	276.75 a	10.63 bc
H2	100.0	95.5	10.33 bc	21.58 abc	271.50 ab	12.53 a
H3	100.0	95.5	11.08 abc	21.67 abc	270.17 ab	9.08 d
H4	95.5	88.6	10.08 c	21.00 bcd	258.08 bc	10.00 cd
H5	100.0	93.2	11.42 abc	22.42 abc	267.92 ab	11.16 bc
H6	100.0	97.7	10.42 bc	22.08 abc	269.08 ab	11.35 b
H7	100.0	100.0	11.92 a	22.83 ab	270.25 ab	9.39 d
H8	100.0	95.5	10.92 abc	20.67 cd	271.75 ab	9.96 cd
H9	100.0	100.0	11.75 ab	23.42 a	270.33 ab	10.87 bc
H10	97.7	93.2	11.25 abc	22.67 ab	274.92 a	10.73 bc
H11	100.0	95.5	10.17 c	20.75 cd	268.33 ab	9.42 d
H12	97.7	86.4	8.67 d	19.33 d	252.92 c	7.71 e

显著大于其他各处理;最小的是 H3,为 9.08 mm。其中 H2、H5、H6、H9 的茎粗均大于 2 个商业砧木 H10、H11 和自根苗。

2.3 不同南瓜砧木嫁接对西瓜产量的影响

采收前西瓜坐瓜情况调查表明(表 5),总坐瓜数最多的是 H9,为 44 个,最少的是 H6 和自根苗,均为 38 个,H7、H9 的总坐瓜数均大于 2 个商业砧木 H10、H11 和自根苗,坐瓜数分别为 42、44 个。与自根苗相比,参试南瓜砧木嫁接后均提高了西瓜的单瓜质量和产量。在所有嫁接西瓜中,H1 的单瓜质量最大,为 4 094.58 g,显著高于除 H2 和 H6 外的其他处理;H4 的单瓜质量最小,但与 H3、H5、H7、H8、H9、2 个商业砧木 H10、H11 及自根苗无显著差异。受田间枯萎病等病害影响,自根苗的总坐瓜数和单瓜质量均最小,产量也低于所有嫁接处理,仅

为 2 361.79 kg;H1、H2、H7、H8 和 H9 的产量均高于 2 个商业砧木 H10、H11 及自根苗,与自根苗相比,增产率为 20.45%~34.69%。

2.4 不同南瓜砧木嫁接对西瓜品质的影响

果形指数(果实纵径/横径)和果皮厚度是衡量西瓜果实商品性状的关键指标。从表 6 可以看出,H4 处理的果实横、纵径均显著小于其他处理,除 H4 外,其他嫁接苗的果实横、纵径均比自根苗大。与自根苗相比,参试南瓜砧木均未显著改变西瓜的果形指数,但均显著增加了西瓜的果皮厚度,其中 H6、H3 和 H9 较厚,显著厚于 H2、H4、H5、H11。

不同南瓜砧木嫁接对西瓜果实内在品质的影响不同。由表 6 可知,所有嫁接西瓜中 H1、H2、H5、H6、H7、H8、H9 的中心可溶性固形物含量和 H2、H3、H4、H6、H7、H8、H9 的边部可溶性固形物含量

表5 不同南瓜砧木对西瓜产量的影响
Table 5 Effects of different pumpkin rootstocks on watermelon yield

编号 Number	总坐瓜数 Total number of fruit setting	单瓜质量 Single fruit mass/g	产量 Yield/kg	增产率 Yield increase rate/%
H1	41	4 094.58 a	3 181.10	34.69
H2	40	3 784.17 ab	2 868.23	21.44
H3	40	3 614.17 bcd	2 739.37	15.99
H4	39	3 340.75 cd	2 468.83	4.53
H5	41	3 571.67 bcd	2 774.84	17.49
H6	38	3 870.83 ab	2 787.22	18.01
H7	42	3 665.83 bc	2 917.46	23.53
H8	41	3 661.67 bc	2 844.76	20.45
H9	44	3 625.42 bcd	3 022.69	27.98
H10	41	3 614.17 bcd	2 807.86	18.89
H11	41	3 616.67 bcd	2 809.80	18.97
H12	38	3 280.00 d	2 361.79	

注:总坐瓜数为4个小区的坐瓜总数。增产率为每个处理与西瓜自根苗相比的产量增加幅度。

Note: The total number of setting melons refers to the total number of setting melons in 4 communities; The yield increase rate refers to the extent to which the yield of each treatment increases compared to the self-rooted seedlings of watermelons.

表6 不同南瓜砧木对西瓜果实品质的影响

Table 6 Effects of different pumpkin rootstock on watermelon fruit quality

编号 Number	果实横径 Fruit transverse diameter/cm	果实纵径 Fruit longitudinal diameter/cm	果形指数 Fruit shape index	果皮厚度 Fruit rind thickness/mm	w(可溶性固形物) Soluble solids content/%		w(可滴定酸) Titratable acidity content/%	感官评价得分 Score of sensory evaluation
					中心 Center	边部 Edge		
H1	17.79 a	18.58 a	1.044 a	9.40 abc	10.36 ab	9.16 ab	0.40 a	15.48 bc
H2	17.04 abcd	17.59 abcd	1.033 a	8.73 bc	10.44 ab	9.23 a	0.31 ab	17.98 a
H3	17.18 abc	17.66 abcd	1.029 a	10.20 a	10.24 ab	9.25 a	0.28 b	14.06 c
H4	15.00 e	15.35 e	1.024 a	8.40 c	10.21 b	9.19 ab	0.24 b	17.35 a
H5	16.69 bcd	17.09 bcd	1.024 a	8.68 bc	10.36 ab	9.06 ab	0.29 ab	17.25 a
H6	17.25 abc	17.88 abc	1.036 a	10.59 a	10.63 ab	9.36 a	0.27 b	16.65 ab
H7	16.28 cd	16.95 cd	1.041 a	9.75 ab	10.60 ab	9.38 a	0.27 b	17.21 a
H8	16.31 cd	16.64 d	1.020 a	9.85 ab	10.83 a	9.38 a	0.24 b	16.73 ab
H9	16.44 bcd	17.06 bcd	1.038 a	10.08 a	10.35 ab	9.39 a	0.25 b	17.50 a
H10	17.45 ab	18.10 ab	1.037 a	9.79 ab	10.31 ab	9.16 ab	0.32 ab	16.63 ab
H11	16.03 d	16.60 d	1.039 a	8.48 c	10.10 b	8.78 b	0.24 b	14.40 c
H12	16.00 d	16.55 d	1.040 a	7.33 d	10.40 ab	9.26 a	0.27 b	16.44 ab

边部可溶性固形物含量、可滴定酸含量、感官评价得分。由表7可知,21项重要指标可以转化为11个主成分(PC1~PC11),前5个主成分(PC1~PC5)的初始特征值均>1,累计方差贡献率达85.706%,能够解释绝大部分的数值变异来源(总方差),故选取前5个主成分进行后续分析。PC1~PC5的方差贡献率分别为38.832%、18.542%、11.435%、10.259%、6.639%,权重分别为0.453、0.216、0.133、0.120、0.077。

均高于2个商业砧木H10、H11。值得注意的是,商业砧木H11秋季嫁接西瓜的中心和边部可溶性固形物含量及感官评价得分均最低,其中心、边部可溶性固形物含量均显著低于H8。可滴定酸含量是判定西瓜果实成熟度和口感风味的重要指标,在本试验中,与自根苗相比,砧木H1显著提高了西瓜果实可滴定酸含量,但与H2、H5及商业砧木H10差异不显著,与其他处理差异显著;H4、H8、H9和商业砧木H11砧木则降低了可滴定酸含量。感官评价是对西瓜的甜度、酸度、异味和质地等方面进行综合评价,综合得分代表了消费者对于西瓜口感风味的接受程度,其中感官评价得分较高的有H2、H4、H5、H6、H7、H8和H9,均高于2个商业砧木H10、H11和自根苗。

2.5 不同南瓜砧木嫁接西瓜的综合评价

采用主成分分析法对12份材料的21个重要指标进行分析,包括嫁接成活率、嫁接苗壮苗指数、根长、根表面积、根直径、根体积、根系活力、SPAD值、田间定植成活率、株高、茎粗、第1雌花节位、坐瓜节位、末期存活率、产量、果形指数、果皮厚度、中心和

通过模糊隶属函数法,将各主成分隶属函数值扩展到[0,1]闭区间上,从而对离散数据进行标准化处理,结合权重(PC1: 0.453、PC2: 0.216、PC3: 0.133、PC4: 0.120、PC5: 0.077),得出各嫁接组合的综合评价D值,并进行排序。从表8中可以看出,12份材料的D值介于0.262~0.780之间,排名为H9>H7>H8>H6>H5>H2>H3>商业砧木H10>H1>商业砧木H11>H4>自根苗。

表7 主成分特征值表

Table 7 Eigenvalues of principal components

主成分 PC	初始特征值 Initial eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate/%	累计方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%
PC1	8.155	38.832	38.832
PC2	3.894	18.542	57.374
PC3	2.401	11.435	68.809
PC4	2.154	10.259	79.068
PC5	1.394	6.639	85.706
PC6	0.848	4.039	89.745
PC7	0.812	3.867	93.613
PC8	0.604	2.875	96.488
PC9	0.365	1.740	98.228
PC10	0.217	1.031	99.259
PC11	0.156	0.741	100.000

3 讨论与结论

本试验选用美都西瓜为接穗,该品种抗病性、耐高温能力较强,是中果型西瓜中南方设施栽培的主栽品种^[21]。本试验在湖北武汉秋季塑料大棚内进行,2024年8月1日至10月2日期间温湿度记录仪(山东仁科测控技术有限公司)显示棚内平均温度为31.3℃(极值15.6~46.9℃),平均夜温为26.2℃,空气平均相对湿度为74.7%(极值23.8%~100.0%)。前期高温、昼夜温差小的环境导致西瓜植株生长纤弱,尽管在伸蔓期和果实膨大期加强了水肥调控,但植株的生长和果实的发育还是受到一定的影响,导致美都西瓜的单瓜质量和品质与正常的春季嫁接栽培相比都有不同程度的降低。此前

表8 不同南瓜砧木嫁接组合产量和品质综合指标的隶属函数分析结果

Table 8 Membership function analysis results of yield and quality indexes of different pumpkin rootstock grafting combinations

编号 Number	综合指标值 Comprehensive index(CI)					综合指标隶属值 Membership value of comprehensive index(U)					D 值 D value	排名 Rank
	CI1	CI2	CI3	CI4	CI5	U1	U2	U3	U4	U5		
	H1	3.52	-3.37	-2.11	-0.03	-0.80	1.00	0.00	0.10	0.49		
H2	1.67	-2.59	0.35	1.29	1.09	0.83	0.13	0.54	0.77	0.72	0.622	6
H3	-0.46	1.83	-1.05	-0.93	-0.85	0.63	0.85	0.29	0.30	0.15	0.556	7
H4	-1.93	-2.73	2.98	-2.39	-0.27	0.50	0.10	1.00	0.00	0.32	0.406	11
H5	0.11	0.03	0.45	-0.23	2.02	0.69	0.55	0.55	0.45	1.00	0.636	5
H6	0.80	-0.24	-0.30	2.41	-0.81	0.75	0.51	0.42	1.00	0.16	0.638	4
H7	2.52	1.49	1.23	-0.15	-0.54	0.91	0.79	0.69	0.47	0.24	0.749	2
H8	-0.20	1.68	1.28	1.97	1.17	0.66	0.82	0.70	0.91	0.75	0.735	3
H9	2.68	2.77	0.83	-0.61	-0.52	0.92	1.00	0.62	0.37	0.24	0.780	1
H10	0.30	0.63	-0.59	-0.88	-1.35	0.70	0.65	0.37	0.32	0.00	0.547	8
H11	-1.72	0.84	-2.69	-1.71	1.82	0.52	0.69	0.00	0.14	0.94	0.472	10
H12	-7.30	-0.33	-0.38	1.26	-0.96	0.00	0.50	0.41	0.76	0.11	0.262	12

多数嫁接栽培都是在春季低温下进行的,南瓜砧木有很好的耐低温性,与自根苗相比,嫁接苗的长势、产量和品质都有一定的提升。本试验研究表明,在秋季前期高温条件下,选用南瓜砧木嫁接同样有较大的优势,并且秋季环境对砧木田间抗逆性与丰产性的筛选要求更高。

嫁接亲和性体现在砧穗维管束再生能力与代谢协调性上,嫁接成活率高低反映了砧穗间嫁接亲和力强弱^[22]。在本研究中,11个南瓜砧木的嫁接成活率在95.8%~100.0%之间,田间定植成活率在95.5%~100.0%之间,表明参试南瓜砧木均与西瓜接穗具有良好的亲和性。嫁接首先促进根系发育,强大的根系又能促进地上部的生长,这种砧穗互作效

应改变了植物原有的吸收能力,从而影响植物的生长发育^[23]。嫁接苗的种苗质量体现在地上部种苗生长和根系发育上,能够影响嫁接苗田间生长和商品苗的经济价值。就西瓜嫁接苗种苗质量来看,与自根苗相比,不同南瓜砧木嫁接均显著提高了种苗的株高、茎粗、壮苗指数和叶片SPAD值,这与张荣凤等^[24]的研究结果相同。本试验中嫁接苗的根系活力均高于自根苗,这与任慧转等^[22]、刘叶琼等^[25]的研究结果一致,这是因为断根贴接法能够消除主根顶端优势,从而增强侧根的根系活力。相比于其他嫁接苗,H1在苗期具有强壮的根系,使其田间的株高长势和产量也最高,但并非所有嫁接苗的田间生长势和产量与种苗质量完全同步,可能还与砧木的田间

抗逆性等因素有关。

本试验在秋季栽培条件下,嫁接苗的第1雌花节位和坐瓜节位均比自根苗高,可能与开花前期(8月24—29日)白天平均温度为35℃、最高温度达到45.5℃有关,持续高温导致花粉活力降低,嫁接苗坐瓜困难,坐瓜节位普遍升高,也可能与南瓜砧木通过调控接穗内源激素平衡延迟了西瓜的生殖转化有关^[26]。本研究中,与自根苗相比,参试南瓜砧木嫁接均能提高西瓜的单瓜质量和产量,这与林叶等^[27]在春季嫁接栽培中的研究结果一致。砧木H1、H2、H7、H8、H9的增产效果均优于2个商业南瓜砧木,其中,H1的产量最高,相比于自根苗增产34.69%;H4的产量最低,结合田间生长势和课题组前期对砧木苗期的抗病性和耐盐性鉴定结果分析,可能是砧木自身的抗病性和抗逆性较其他砧木差,导致在秋季高温、昼夜温差小的环境条件下植株生长纤弱,最终表现为果实的质量和横、纵径均最小。秋季的高温环境使得西瓜植株更易发生病害,在本试验中,H4和自根苗的末期存活率分别为88.6%和86.4%,而其他嫁接苗末期存活率介于93.2%~100.0%之间,说明不同的嫁接苗对秋季栽培环境的抗逆性具有差异,因此在选用针对秋季西瓜嫁接栽培的砧木时需加强对砧木苗期抗逆性的筛选。本试验研究表明,南瓜砧木嫁接对果形指数无显著影响,但均会显著增加西瓜的果皮厚度,这与Yetisir等^[28]、王磊等^[29]的研究结果相似。本试验中,各处理嫁接西瓜的果皮厚度均小于美都西瓜正常春季嫁接的果皮厚度(未发表),可能是由于秋季果实发育期光照强度减弱,一定程度上影响了果皮的发育,其中H2、H4、H5和商业砧木H11秋季嫁接西瓜果皮过薄,会影响西瓜的贮藏和运输,选择砧木时应当淘汰。关于南瓜砧木对西瓜内在品质的影响,不同学者的研究存在差异。吕兆明等^[30]认为,不同南瓜砧木嫁接对西瓜口感及可溶性固形物含量影响不大;而Kyriacou等^[31]认为,南瓜砧木嫁接会导致西瓜的可溶性固形物和总糖含量降低;马燕萍等^[32]则认为南瓜砧木对西瓜内在品质的影响因品种不同而存在差异,通过优良南瓜砧木嫁接可以在一定程度上提高西瓜的可溶性固形物含量、维生素C含量和口感风味。在本试验中,H1、H2、H5、H6、H7、H8、H9的中心可溶性固形物含量和H2、H3、H4、H6、H7、H8、H9的边部可溶性固形物含量均高于2个商业砧木H10和H11;除砧木H1嫁接显著提高了西瓜可滴定酸含量外,其他砧木嫁接与自根

苗相比均未显著改变西瓜果实的可滴定酸含量。从感官评价得分上来看,不同南瓜砧木嫁接对秋季西瓜的口感风味产生的影响不同,其中H2、H4、H5、H6、H7、H8和H9的西瓜口感风味优于2个商业砧木H10、H11和自根苗。总体来看,与2个商业砧木相比,H2、H6、H7、H8、H9南瓜砧木嫁接在一定程度上提高了果实的内在品质。

本研究中,与其他砧木相比,砧木H1嫁接虽在种苗根系、田间株高长势和产量等方面增幅较大,但其可滴定酸含量升高及口感风味较差,这与刘润秋等^[23]的研究结果相似,可能是长势过强的南瓜砧木通过营养竞争或激素调控抑制西瓜糖分积累,导致品质下降;砧木H4嫁接虽较自根苗提高了西瓜的口感风味,但田间发病率高,果型小,相比于其他砧木增产甚微。因此,在筛选砧木时需要从亲和力、种苗质量、田间长势、抗病性、产量和品质等方面进行比较筛选和综合评判,基于主成分分析(PCA)的隶属函数法能有效避免筛选砧木时单一指标评价的片面性,已广泛用于对植物抗逆性、农艺性状以及产品品质等的综合评价^[33-34]。

综上所述,综合比较各砧木秋季嫁接西瓜的表现并结合主成分与隶属函数分析,筛选出了3个南瓜品种(系)H9、H7和H8,其亲和性、种苗质量、田间适应性及产质协同提升方面均强于市场上现有的商业砧木丰乐金甲和京欣砧4号,相比于自根苗增产率为20.45%~27.98%,可作为适宜湖北省等相同生态区域的中果型西瓜秋季设施栽培的嫁接砧木。

参考文献

- [1] 黄芸萍,王毓洪,胡美华,等.浙江省西甜瓜产业发展现状及发展建议[J].浙江农业科学,2022,63(5):887-890.
- [2] 李婷,曾剑波,陈艳利,等.北京地区秋季大棚小果型西瓜吊蔓栽培技术[J].中国瓜菜,2013,26(6):52-53.
- [3] 张保东,江姣,邱孟超,等.不同葫芦嫁接砧木对中果型西瓜品质及产量的影响[J].中国瓜菜,2016,29(1):30-33.
- [4] 陈偲,钟教慧,黄建祥,等.海南设施大棚美都西瓜高产栽培技术[J].农业科技通讯,2022(10):245-248.
- [5] 贝道正.黄岩40年西瓜推广品种演变与展望[J].园艺与种苗,2020,40(4):26-27.
- [6] 陈爱国,王银均,苏生平,等.江苏沿海地区大棚西瓜秋季栽培品种比较试验[J].农业科技通讯,2021(2):109-111.
- [7] 霍治邦,侯晟灿,张先亮,等.开封地区秋西瓜种植主要技术障碍及解决措施[J].北方园艺,2019(3):206-208.
- [8] 高丰,欧阳以勇,吴志鹏,等.不同育苗方法在秋西瓜生产中的应用[J].蔬菜,2016(8):6-7.
- [9] 马双武,尚建立,王吉明.西瓜嫁接砧木资源的初步筛选研究[J].中国瓜菜,2012,25(4):39-42.
- [10] GÜLÜT K Y. Nitrogen and boron nutrition in grafted water-

- melon I: Impact on pomological attributes, yield and fruit quality[J]. PLoS One, 2021, 16(5): e0252396.
- [11] HUANG Y, ZHAO L Q, KONG Q S, et al. Comprehensive mineral nutrition analysis of watermelon grafted onto two different rootstocks[J]. Horticultural Plant Journal, 2016, 2(2): 105-113.
- [12] 赵卫星, 徐小利, 常高正, 等. 嫁接对西瓜生长及抗逆性影响的研究进展[J]. 江西农业学报, 2011, 23(5): 63-65.
- [13] 韦志扬, 覃泽林, 韦莉萍, 等. 不同砧木嫁接对西瓜抗生理性凋萎症的作用机理研究[J]. 南方农业学报, 2013, 44(5): 773-777.
- [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, 2006.
- [15] 汪正香. 外源褪黑素对低温胁迫下嫁接西瓜幼苗生长生理的影响[D]. 四川雅安: 四川农业大学, 2019.
- [16] 李帅, 宋宇, 张春雨, 等. 不同南瓜砧木对小果型西瓜生长和果实品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(8): 82-91.
- [17] 李晶, 郁继华, 武玥, 等. 不同小果型西瓜品种品质评价[J]. 中国瓜菜, 2020, 33(11): 61-67.
- [18] LIU Q R, ZHAO X, BRECHT J K, et al. Fruit quality of seedless watermelon grafted onto squash rootstocks under different production systems[J]. Journal of the science of food and agriculture, 2017, 97(14): 4704-4711.
- [19] 李帅. 适合小果型西瓜嫁接的多抗南瓜砧木组合配制与评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2024.
- [20] 林听原, 别之龙, 黄远, 等. 广西地区不同砧木嫁接对西瓜生长和果实品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2025, 38(1): 102-108.
- [21] 崔劲松, 苏生平, 徐锦华, 等. 越夏连秋西瓜高效栽培技术要点[J]. 蔬菜, 2023(4): 74-76.
- [22] 任慧转, 周海蛟, 尧甜, 等. 不同砧木对西瓜断根嫁接苗生长发育的影响[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(7): 107-110.
- [23] 刘润秋, 张红梅, 徐敬华, 等. 砧木对嫁接西瓜生长及品质的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2003, 21(4): 289-294.
- [24] 张荣风, 杨旭. 不同的嫁接方法对西瓜幼苗生长的影响[J]. 辽宁农业职业技术学院学报, 2009, 11(3): 1-3.
- [25] 刘叶琼, 赵彬, 汤伟华, 等. 不同嫁接方法对西瓜幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(19): 134-137.
- [26] 黄芸萍, 张慧波, 应泉盛, 等. 砧木长势和花期对嫁接西瓜生长的影响[J]. 中国瓜菜, 2018, 31(5): 30-32.
- [27] 林叶, 段青青, 邵晶毅, 等. 不同南瓜砧木对嫁接西瓜生长、产量及品质的影响[J]. 北方园艺, 2015(5): 12-16.
- [28] YETISIR H, SAIR N, YÜCEL S. Rootstock resistance to *Fusarium* wilt and effect on watermelon fruit yield and quality[J]. Phytoparasitica, 2003, 31(2): 163-169.
- [29] 王磊, 常培培, 张自坤, 等. 露地小型西瓜产量品质砧木效应的综合评价[J]. 核农学报, 2019, 33(2): 346-354.
- [30] 吕兆明, 王福国, 赵艳艳. 不同砧木嫁接对压砂田地膜覆盖西瓜生长发育及产量与品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(7): 35-38.
- [31] KYRIACOU M C, SOTERIOU G A, ROUPHAEL Y, et al. Configuration of watermelon fruit quality in response to rootstock-mediated harvest maturity and postharvest storage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(7): 2400-2409.
- [32] 马燕萍, 赖逸云, 应泉盛, 等. 不同砧木嫁接对西瓜果实营养品质及瓜氨酸代谢的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(1): 151-154.
- [33] 王海燕, 汪颖, 王尖, 等. 嫁接对瓠瓜抗病抗逆性及果实品质的影响[J]. 核农学报, 2025, 39(1): 191-200.
- [34] 张伟清, 林媚, 王天玉, 等. 基于 PCA 分析和聚类分析的柑橘果实品质综合评价[J]. 果树学报, 2023, 40(5): 902-918.

(上接第 144 页)

- ciety for Horticultural Science, 1990, 115(1): 175-181.
- [23] 刘正义. 光伏温室光照环境的分析和优化[D]. 福州: 福建农林大学, 2018.
- [24] FANKHAUSER C, BATSCHAUER A. Shadow on the plant: A strategy to exit[J]. Cell, 2016, 164(1-2): 15-17.
- [25] ALLARDYCE C S, FANKHAUSER C, ZAKEERUDDIN S M, et al. The influence of greenhouse-integrated photovoltaics on crop production[J]. Solar Energy, 2017, 155: 517-522.
- [26] MORALES D, RODRÍGUEZ P, DELL'AMICO J, et al. High-temperature preconditioning and thermal shock imposition affects water relations, gas exchange and root hydraulic conductivity in tomato[J]. Biologia Plantarum, 2003, 47(2): 203-208.
- [27] 宋琪. 六种植物在光伏大棚条件下的适生性评价研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2020.
- [28] 祁娟霞, 曹丽华, 李建设, 等. 宁夏不同光伏温室和大棚冬季内环境比较研究[J]. 浙江农业学报, 2017, 29(3): 414-420.
- [29] 赵群法. 不同光伏板遮光密度对生菜、黄瓜、番茄生长发育影响的研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2018.
- [30] TRYPANAGNOSTOPOULOS G, KAVGA A, SOULIOTIS M, et al. Greenhouse performance results for roof installed photovoltaics[J]. Renewable Energy, 2017, 111: 724-731.
- [31] UREÑA-SÁNCHEZ R, CALLEJÓN-FERRE Á J, PÉREZ-ALONSO J, et al. Greenhouse tomato production with electricity generation by roof-mounted flexible solar panels[J]. Scientia Agricola, 2012, 69(4): 233-239.
- [32] 肖媛媛. 国外光伏温室发展现状[J]. 农业工程技术, 2022, 42(16): 18-21.
- [33] 杨月梅, 曹艳芳, 王淼. 光伏农业大棚发电项目对生态农业的影响浅析[J]. 能源与节能, 2015(2): 73-75.
- [34] 刘璋晶莹, 张龙, 吴宜文, 等. 光伏温室发展现状与研究方向[J]. 农业工程技术, 2022, 42(16): 12-17.