

基于主成分分析法和熵权 TOPSIS 法的 黄瓜嫁接砧木综合评价

谭秀芳¹, 甄俊琦¹, 陈曦¹, 李新峥², 任广乾¹, 马凯³, 徐鹏亮¹

(1. 新乡市农业科学院 河南新乡 453003; 2. 河南科技学院园艺园林学院 河南新乡 453003;

3. 河南省农业科学院蔬菜研究所 郑州 450002)

摘要:为筛选黄瓜嫁接栽培的优良砧木,以7个南瓜砧木品种(Z1~Z7)为试材,博杰616黄瓜自根苗(CK)为对照,系统分析砧木对嫁接黄瓜生长、根系形态、根系活力、氮素同化关键酶活性、果实品质及产量的影响,并采用主成分分析法和熵权 TOPSIS 法进行综合评价。结果表明,嫁接可显著提高壮苗指数、根系活力、单株结瓜数、产量及谷氨酰胺合成酶(GS)、谷氨酸合酶(GOGAT)和硝酸还原酶(NR)活性,同时促进根长、根表面积、根尖数增加。结合砧木出苗率和果实商品性,对6种砧木进行综合评价,主成分分析法得分排序为 Z3>Z1>Z5>Z4>Z2>Z6, Z1、Z3 主成分得分分别为 1.086 和 1.398;熵权 TOPSIS 法得分排序为 Z1>Z3>Z2>Z5>Z4>Z6, Z1、Z3 相对接近度 C 值分别为 0.651 和 0.517。综合生长、根系性状、氮素代谢、品质及产量等指标, Z1 和 Z3 性状优良,适宜作为黄瓜嫁接栽培的理想砧木。本研究结果为黄瓜优质高效生产中优良砧木的选择奠定了基础。

关键词: 黄瓜; 砧木; 主成分分析法; 熵权 TOPSIS 法; 综合评价

中图分类号: S642.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)07-124-11

Comprehensive evaluation of cucumber grafting rootstock based on principal component analysis and entropy-weighted TOPSIS method

Tan Xiufang¹, Zhen Junqi¹, Chen Xi¹, Li Xinzhen², Ren Guangqian¹, Ma Kai³, Xu Pengliang¹

(1. Xinxiang Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453003, Henan, China; 2. College of Horticulture and Landscape, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, Henan, China; 3. Vegetable Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract: Grafting is one of the effective cultivation measures to overcome the obstacles of continuous cropping in soil and prevent soil-borne diseases of melon crops. To screen suitable rootstocks for grafted cucumber cultivation, seven pumpkin rootstock varieties (Z1-Z7) were evaluated as materials, with self-rooted cucumber as the control (CK). The effects of different rootstocks on the growth, root morphology, root activity, key enzyme activity of nitrogen assimilation, fruit quality and yield of grafted cucumbers were systematically analyzed. Comprehensive evaluations were conducted using principal component analysis (PCA) and the entropy-weighted TOPSIS method. The results showed that grafting significantly increased the seedling vigor index, root activity, fruit number per plant and yield. It also enhanced the activity of glutamine synthetase (GS), glutamate synthase (GOGAT) and nitrate reductase (NR), and promoted root length, root surface area and root tips number. Considering rootstock emergence rate and fruit marketability, six rootstocks were comprehensively evaluated. The ranking based on principal component score was Z3>Z1>Z5>Z4>Z2>Z6, with the score of Z1 and Z3 for 1.086 and 1.398, respectively. The entropy-weighted TOPSIS method yielded the ranking Z1>Z3>Z2>Z5>Z4>Z6, with the relative proximity value C of 0.651 for Z1 and 0.517 for Z3. Taking into account growth performance, root characteristics, nitrogen metabolism, fruit quality and yield, Z1 and Z3 exhibited superior overall performances and are recommended as ideal rootstocks for grafted cucumber cultivation. The results of this study lay a foundation for the selection of excellent rootstocks in the high-quality and efficient production of cucumber.

Key words: Cucumber; Rootstock; Principal component analysis; Entropy-weighted TOPSIS method; Comprehensive evaluation

收稿日期: 2026-03-02; 修回日期: 2026-04-07

基金项目: 新乡市农业科学院自立项目

作者简介: 谭秀芳, 女, 助理研究员, 研究方向为蔬菜工厂化育苗和栽培。E-mail: remotezise@163.com

通信作者: 徐鹏亮, 男, 农业经济师, 主要从事农业科技管理工作。E-mail: xxsxdny@126.com

黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 隶属于葫芦科黄瓜属, 为一年生攀缘草本植物, 是全球范围内广泛栽培的重要蔬菜作物之一^[1-2]。其中, 我国黄瓜的生产面积和总产量均居世界首位, 2023 年全国黄瓜种植面积达 132 万 hm², 年产量高达 8016 万 t^[3]。黄瓜风味清香、口感酥脆, 且富含多种矿物质, 兼具食用价值与营养价值, 深受广大消费者喜爱。随着农业生产技术的不断进步, 黄瓜的周年化生产发展迅猛。黄瓜为须根系植物, 根系吸收能力弱, 连年种植导致青枯病、枯萎病等土传病害频发, 连作障碍问题日益突出, 已成为制约黄瓜产量和品质的重要因素^[4-5]。

嫁接是克服土壤连作障碍、防治瓜类作物土传病害的有效栽培措施之一, 而选择理想的砧木是关键^[6-10]。南瓜是黄瓜嫁接中常用的砧木类型, 但不同南瓜砧木品种对嫁接黄瓜的生长特性、产量及果实品质的影响存在差异, 前人已围绕南瓜砧木筛选开展了大量研究。郑秀等^[11]、程云霞等^[12]从黄瓜生长特性、果实品质及产量等方面, 研究不同南瓜砧木对嫁接黄瓜生长发育的影响; 马钊珺等^[5]从株高、茎粗、叶面积、地上部和地下部干鲜质量等生长与同化物方面, 结合果实硬度、黏附性、内聚性等品质性状, 筛选出了优质南瓜砧木金尊; 谭占明等^[13]从嫁接成活率、物候期、农艺性状、产量及品质等方面综合评价, 筛选出优良砧木品种圣砧一号; 郭佩金等^[14]研究了不同砧木在 Ca(NO₃)₂ 胁迫下对嫁接黄瓜幼苗生长、根系形态、光合荧光特性、抗氧化能力及渗透调节能力的影响, 筛选出耐盐性较强的砧木强力士; 苗丽等^[15]对 102 份中国南瓜砧木种质资源进行综合评价, 从

农艺性状、产量、品质等方面, 筛选出 7 份可使嫁接黄瓜同时具备较高产量和较优风味品质的南瓜砧木材料; 杨和连等^[16]则从农艺性状和抗氧化酶活性等角度筛选出耐镉砧木镉砧 1 号。

氮素同化关键酶包含硝酸还原酶(NR)、亚硝酸还原酶(NiR)、谷氨酰胺合成酶(GS)、谷氨酸合酶(GOGAT)等, 这些酶能将植物根系吸收的硝态氮、铵态氮等无机氮转化为有机氮。现有砧木筛选研究多集中于嫁接植株的农艺性状、产量、果实品质及抗氧化能力等方面, 对根系氮素同化关键酶活性关注较少。在黄瓜嫁接砧木南瓜的综合筛选方法上, 常用隶属函数法、主成分分析法、灰色关联度分析等^[5, 14, 17-19]。熵权 TOPSIS 法是一种将熵权法客观赋权与 TOPSIS 法相结合的方法, 通过数据标准化处理、熵值计算实现权重的分配, 计算每个评价对象与正负理想解的距离来确定方案的优劣^[20-21], 而目前将主成分分析与熵权 TOPSIS 法相结合, 应用于黄瓜嫁接砧木综合评价的研究尚未见报道。基于此, 笔者以 7 个南瓜砧木品种为研究对象, 系统考察其对嫁接黄瓜植株生长、根系形态、根系活力、氮素同化关键酶活性、果实产量及品质的影响, 并构建黄瓜嫁接综合评价体系, 以期为高产优质黄瓜嫁接砧木筛选提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

黄瓜接穗为博杰 616, 属华北型强雌性密刺品种, 由河南省庆发种业有限公司提供。供试黄瓜砧木品种 7 个, 均为南瓜, 名称及来源见表 1。

表 1 供试黄瓜砧木品种及来源
Table 1 Name and source of rootstock for cucumber grafting

砧木编码 Rootstock code	砧木名称 Rootstock name	来源 Source
Z1	BZ-1	河南科技学院 Henan Institute of Science and Technology
Z2	施莱登 Schleiden	青岛金妈妈种业科技有限公司 Qingdao Jinmama Seed Science and Technology Co., Ltd.
Z3	博强 906 Boqiang 906	河南省庆发种业有限公司 Henan Qingfa Seed Industry Co., Ltd.
Z4	砧大力 1989 Zhendali 1989	青岛金妈妈种业科技有限公司 Qingdao Jinmama Seed Science and Technology Co., Ltd.
Z5	京欣砧 5 号 Jingxinzen No. 5	京研益农(北京)种业科技有限公司 Jingyan Yinong (Beijing) Seed Technology Co., Ltd.
Z6	壮士 Zhuangshi	农友种苗(中国)有限公司 Known-you Seed (China) Co., Ltd.
Z7	黑籽南瓜 Black-seed pumpkin	寿光问天种业有限公司 Shouguang Wentian Seed Industry Co., Ltd.

1.2 试验设计

试验于 2025 年 2—6 月在中原农谷现代种苗产业基地开展。2 月 11 日砧木种子浸种催芽,2 月 12 日播种;黄瓜接穗与自根苗种子于 2 月 13 日浸种催芽,2 月 14 日播种。砧木、接穗与自根苗均播种于 50 孔穴盘。2 月 20 日,采用插接法嫁接。3 月 17 日,将嫁接苗及自根苗定植于双坡面日光温室内。

试验共设 8 个处理,其中 7 个为不同砧木嫁接黄瓜处理,以博杰 616 自根苗为对照(CK)。各处理播种 100 粒,定植 50 株,3 次重复,随机区组排列。试验共设 24 个定植小区,每个小区长 10 m,宽 1.1 m,面积 11 m²。采用高垄双行定植,株距 40 cm,垄底宽 80 cm,垄面宽 60 cm,垄高 20 cm,垄沟宽 30 cm。

1.3 测定指标和方法

1.3.1 砧木出苗率与嫁接亲和性指标 砧木出苗率:砧木播种 7 d 后,随机选取 200 穴进行统计,以发芽且健壮幼苗为标准。砧木出苗率/%=正常幼苗株数/播种总粒数×100。

嫁接成活率:嫁接 15 d 后,随机选取 100 株嫁接苗进行统计,以嫁接口愈合良好、嫁接苗生长正常为嫁接成活标准。嫁接成活率/%=嫁接成活株数/总嫁接株数×100。

1.3.2 幼苗生长及壮苗指标 在嫁接 15 d 后,每个处理随机选取 3 株,3 次重复。砧木下胚轴长度为砧木根茎结合部至子叶的长度,采用卷尺测定;砧木茎粗为砧木子叶下方 0.5 cm 处直径,使用游标卡尺测定;接穗高度(含自根苗):嫁接苗为嫁接口至接穗生长点高度,自根苗为根茎结合部至生长点高度,采用卷尺测定;接穗茎粗(含自根苗)为接穗子叶下方 0.5 cm 处直径,使用游标卡尺测定;地上部与地下部鲜质量和干质量采用百分之一天平测定;根冠比=地下部干质量/地上部干质量;壮苗指数=茎粗/株高×全株干质量;叶面积选取自下而上第 2 片真叶,采用 Image J 1.53 a 软件测定;叶绿素相对含量采用手持金科利达 TYS-4N 叶绿素测定仪测定;根系形态指标采用 EPSON Expression 13000XL 平板扫描仪测定;采用 2,3,5-三苯基氯化四氮唑(TTC)染色法测定根系活力^[22]。

1.3.3 氮素同化关键酶活性测定 在嫁接 15 d 后,每个处理随机选取 3 株幼苗根系进行氮素同化关键酶活性测定,3 次重复。采用索莱宝生物科技有限公司的试剂盒测定砧木根系硝酸还原酶(NR)(货号:BC0080)、亚硝酸还原酶(NiR)(货号:

BC1540)、谷氨酰胺合成酶(GS)(货号:BC0910)、谷氨酸合酶(GOGAT)(货号:BC0070)活性。

1.3.4 果实品质指标测定 盛果期每处理选取大小基本一致的果实 3 个,3 次重复,测定果实品质指标。采用游标卡尺测定果实长度、果实横径、果把长;果形指数=果实长度/果实横径;采用考马斯亮蓝比色法测定可溶性蛋白含量^[23];采用钼蓝比色法测定维生素 C 含量^[24];采用蒽酮比色法测定可溶性总糖含量^[23];采用 RM 345 高精度数显糖度仪测定可溶性固形物含量。

1.3.5 果实产量指标测定 结果初期,每处理选取 5 株挂牌标记,3 次重复。间隔 1~2 d,单株单瓜采收并记录。采用电子秤称量单瓜质量,记录采收日期,统计单株结瓜数、单株产量及折合产量。

1.4 数据分析

采用 Excel 2019 整理试验数据、作图和进行熵权 TOPSIS 法分析,采用 IBM SPSS 26.0 进行方差分析和主成分分析,选择邓肯氏法进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 不同砧木品种出苗情况及对嫁接苗成活率的影响

由表 2 可知,7 个砧木品种出苗率均在 90%以上,但不同品种砧木出苗率存在差异。Z2、Z3 出苗率最高,达到 100%,其次为 Z1、Z4,均为 99%,Z7 出苗率最低,仅为 93%。7 个砧木品种嫁接苗成活率均较高,Z2、Z3、Z6 达到 100%;其次为 Z1,为 99%;Z4、Z5、Z7 表现一致,为 98%。由此可见,不同砧木的出苗率、嫁接成活率存在差异,其中,Z2、Z3 砧木出苗率及嫁接成活率均达 100%,而 Z7 砧木的这两项指标均为最低。

表 2 不同砧木出苗情况及对黄瓜嫁接苗成活率的影响
Table 2 Emergence of different rootstock varieties and effects on the survival rate of grafted cucumber seedlings

编号 Code	出苗株数 Number of emerged seedling	砧木出苗率 Rootstock emergence rate/%	嫁接成活率 Survival rate of grafting/%
Z1	198	99	99
Z2	200	100	100
Z3	200	100	100
Z4	198	99	98
Z5	194	97	98
Z6	196	98	100
Z7	186	93	98

2.2 不同砧木品种对嫁接苗生长情况的影响

由表 3 可知,不同砧木对嫁接苗生长的影响不同。砧木下胚轴长度以 Z6 最长,与 Z1、Z5 无显著差异;Z7 下胚轴长度最短,与 Z2、Z3、Z4 无显著差异,但显著小于 Z1、Z5、Z6。砧木茎粗以 Z7 最大,与 Z1 差异不显著,但显著大于其他砧木品种;除 Z7 外,各砧木茎粗差异不显著。在接穗(含自根苗)高度方面,CK 最高,显著高于嫁接苗;嫁接苗中,以 Z7 为砧木的接穗高度最高,Z4 为砧木的接穗高度最低。与自根苗(CK)相比,所有嫁接苗的接穗茎粗均有所下降,降幅依次为 Z6 (17.35%)、Z4 (13.93%)、Z3(10.08%)、Z2(8.41%)、Z1(8.11%)、Z5 (5.13%)、Z7(0.80%)。与 CK 相比,砧木 Z1、Z2、Z7

地上部鲜质量和干质量有所增加,Z3、Z4、Z6 则有所降低。在地下部鲜质量方面,除 Z4、Z6 外,其他砧木嫁接苗均高于 CK。在地下部干质量方面,Z4、Z6 与 CK 持平,其他砧木嫁接苗均高于 CK,其中 Z1 增幅最大,达 78.26%。除 Z6 的根冠比与 CK 相同外,其他嫁接处理均提高幼苗的根冠比,其中 Z1、Z3 提高幅度较大,分别提高 56.90%、74.14%。在壮苗指数方面,按照由高到低排序为 Z7>Z1>Z3>Z2=Z5>Z4>Z6>CK。综上表明,砧木嫁接可以促进黄瓜幼苗根系生长发育,优化生物量分配,提升植株健壮度,其中 Z1、Z3 在地下部干质量、根冠比及壮苗指数等关键指标上表现突出,有利于培育根系发达、长势稳健的优质秧苗。

表 3 不同砧木嫁接对黄瓜植株生长的影响

Table 3 Effects of grafting with different rootstocks on the growth of cucumber plants

编号 Code	砧木下胚轴长度 Hypocotyl length of rootstock/cm	砧木茎粗 Stem diameter of rootstock/ mm	接穗高度 Scion height/ cm	接穗茎粗 Scion stem diameter/ mm	地上部 鲜质量 Shoot fresh mass/g	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	根冠比 Root-shoot ratio	壮苗指数 Seedling vigor index
Z1	2.722± 0.519 ab	5.723± 0.699 ab	2.511± 0.348 bcd	4.010± 0.395 abcd	4.193± 1.160 ab	0.444± 0.133 abc	0.883± 0.178 a	0.041± 0.016 a	0.091± 0.011 ab	0.055± 0.019 ab
Z2	2.480± 0.426 bc	5.350± 0.888 b	2.730± 0.430 bcd	3.997± 0.435 abcd	3.919± 0.817 ab	0.418± 0.045 bcd	0.807± 0.170 ab	0.032± 0.012 ab	0.076± 0.024 bc	0.046± 0.014 bc
Z3	2.444± 0.709 bc	5.488± 0.519 b	2.233± 0.381 cd	3.924± 0.477 bcd	3.656± 0.585 ab	0.368± 0.053 cd	0.902± 0.106 a	0.037± 0.005 a	0.101± 0.012 a	0.049± 0.011 bc
Z4	2.244± 0.553 bc	5.350± 0.450 b	2.144± 0.485 d	3.756± 0.440 cd	3.476± 0.614 ab	0.342± 0.049 d	0.598± 0.097 c	0.023± 0.005 b	0.069± 0.016 cd	0.045± 0.009 bc
Z5	3.020± 0.464 a	5.565± 0.293 b	3.340± 0.622 bc	4.140± 0.384 abc	3.534± 1.163 ab	0.469± 0.108 ab	0.944± 0.221 a	0.041± 0.013 a	0.087± 0.018 ab	0.046± 0.011 bc
Z6	3.111± 0.571 a	5.196± 0.377 b	2.656± 1.060 bcd	3.607± 0.436 d	3.229± 0.794 b	0.392± 0.094 bcd	0.663± 0.240 bc	0.023± 0.008 b	0.058± 0.016 d	0.038± 0.010 c
Z7	2.140± 0.299 c	6.222± 0.479 a	3.530± 0.447 b	4.329± 0.289 ab	4.363± 1.020 a	0.513± 0.060 a	0.820± 0.192 ab	0.036± 0.012 a	0.070± 0.019 cd	0.061± 0.016 a
CK			12.960± 2.761 a	4.364± 0.314 a	3.779± 1.028 ab	0.402± 0.114 bcd	0.772± 0.271 abc	0.023± 0.008 b	0.058± 0.011 d	0.015± 0.004 d

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

2.3 不同砧木品种对嫁接苗根系形态指标及活力的影响

由表 4 可知,与 CK 相比,不同砧木嫁接均增加植株的根系长度、投影面积、表面积、根尖数及提高根系活力。对于根长,Z1 最长,显著大于其他砧木及自根苗,较 CK 增大了 100.96%;Z3、Z7 次之。投影面积和表面积均表现出 Z1 最大,Z3 次之,且 Z1 与 Z3 无显著差异。除 Z5 的根直径大于 CK 外,其他砧木均显著小于 CK 和 Z5。各嫁接苗的根体积与 CK 均无显著差异。各嫁接苗的根尖数均高于

CK,Z1 根尖数最多,较 CK 显著增加 131.56%,仅与 Z7 无显著差异,显著高于其他砧木。根系活力分析显示,各嫁接苗均显著高于 CK,Z3 最高,是 CK 的 4.79 倍。综合来看,Z1 在根长、表面积、投影面积、根尖数等形态指标上表现优异,Z3 则在根系活力上表现最佳。

2.4 不同砧木品种对幼苗叶片的影响

由表 5 可知,CK 的叶面积最大,与 Z7 无显著差异,但二者均显著大于其他砧木;而 Z1~Z6 之间无显著差异。砧木 Z4 的 SPAD 值最低,与 CK 及

表 4 不同砧木品种对嫁接苗根系形态及活力的影响

Table 4 Effects of different rootstock varieties on root morphology and vigor of grafted seedlings							
编号 Code	根长 Root length/cm	投影面积 Projected area/cm ²	表面积 Surface area/cm ²	直径 Diameter/mm	体积 Volume/cm ³	根尖数 Number of root tips	根系活力 Root activity/ (mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)
Z1	669.015±157.177 a	21.262±4.967 a	66.796±15.603 a	0.287±0.026 c	0.753±0.196 ab	1 611.670±424.425 a	2.539±0.003 c
Z2	481.562±77.938 bc	16.994±2.396 bc	53.389±7.528 bc	0.320±0.024 b	0.682±0.132 ab	1 048.220±193.310 cde	2.777±0.001 b
Z3	528.504±82.315 b	17.850±3.159 ab	56.077±9.926 ab	0.309±0.018 bc	0.844±0.185 a	1 314.560±300.724 bc	3.303±0.002 a
Z4	380.060±53.862 cd	13.367±2.036 cd	41.993±6.396 cd	0.321±0.021 b	0.543±0.100 b	778.220±173.580 ef	3.164±0.208 a
Z5	423.637±118.088 bcd	15.947±4.274 bcd	50.098±13.426 bcd	0.355±0.052 a	0.904±0.286 a	970.780±310.958 def	1.936±0.005 d
Z6	421.054±123.620 bcd	13.439±5.433 cd	42.220±17.069 cd	0.291±0.033 bc	0.678±0.298 ab	1 110.440±152.143 cd	1.301±0.125 e
Z7	529.448±129.255 b	15.375±3.091 bcd	48.301±9.711 bcd	0.276±0.037 c	0.795±0.207 a	1 491.780±413.577 ab	2.466±0.002 c
CK	332.909±93.319 d	12.577±4.101 d	39.512±12.884 d	0.353±0.036 a	0.772±0.329 ab	696.000±197.398 f	0.690±0.001 f

表 5 不同砧木品种对嫁接苗幼苗叶片的影响
Table 5 Effects of different rootstock varieties on leaves of grafted seedlings

编号 Code	接穗叶面积 Scion leaf area/cm ²	SPAD 值 SPAD value
Z1	16.919±5.446 b	44.747±4.563 a
Z2	15.261±7.333 b	45.537±4.870 a
Z3	12.760±4.874 b	44.687±6.010 a
Z4	10.258±5.807 b	39.350±4.682 b
Z5	18.121±14.301 b	45.393±7.361 a
Z6	17.526±10.808 b	49.890±3.416 a
Z7	27.935±6.028 a	47.637±6.488 a
CK	34.495±13.811 a	48.290±4.206 a

其他砧木均呈显著差异。

2.5 不同砧木品种对根系氮素同化关键酶活性的影响

如表 6 所示,嫁接苗根系的硝酸还原酶(NR)、谷氨酰胺合成酶(GS)、谷氨酸合酶(GOGAT)活性均高于 CK。砧木 Z7 的 NR 活性最高,显著高于其他砧木及 CK,Z2 次之,Z5 和 CK 较低。亚硝酸还原酶活性(NiR)以 CK 最高,显著高于各嫁接苗。

GS 活性排序为 Z3>Z7>Z5>Z6>Z4>Z2>Z1>CK。Z1~Z7 砧木 GOGAT 活性分别较 CK 显著提高 203.05%、237.65%、206.23%、213.92%、203.03%、299.44%、338.79%,Z7 活性最高。NR 和 GS 是氮素同化过程中的关键限速酶,其活性在不同砧木品种间存在差异,其中 Z7 的 NR 活性最高,Z3 的 GS 活性最高,二者分别在氮素同化的不同环节发挥关键作用。

2.6 不同砧木品种对黄瓜品质的影响

果实性状表现如表 7 所示。所有试材的黄瓜果皮均为深绿色;自根苗(CK)及砧木 Z6 嫁接的果实表面带有少量蜡粉,Z7 嫁接的果实蜡粉较多,而其他砧木有脱除蜡粉的作用。在瓜把形状方面,除砧木 Z3 嫁接的果实兼有瓶颈形、溜肩形外,其他砧木均表现为瓶颈形。在刺密度方面,砧木 Z6 嫁接的果实刺密度减小,其余果实均为密刺型。所有试材果实瘤数量及大小均居中,果肉颜色均为绿色。

砧木嫁接对黄瓜果实外观品质数量性状的影响如表 8 所示。在瓜把长度方面,Z5 最长,Z4 和 CK 次之,三者无显著差异,但 Z5 显著大于其他砧

表 6 不同砧木品种对根系氮素同化关键酶活性的影响

Table 6 Effects of different rootstock varieties on key enzymes activity of root nitrogen assimilation				
编号 Code	NR 活性 NR activity/(U·g ⁻¹)	NiR 活性 NiR activity/(μmol·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	GS 活性 GS activity/(U·g ⁻¹)	GOGAT 活性 GOGAT activity/(nmol·g ⁻¹ ·min ⁻¹)
Z1	50.638±1.671 d	3 133.818±82.701 d	10.216±0.474 e	2 076.632±91.673 c
Z2	71.376±4.853 b	8 074.037±501.199 c	10.448±0.571 e	2 313.699±164.631 c
Z3	54.577±3.997 cd	8 800.304±855.436 bc	19.792±0.725 a	2 098.426±128.956 c
Z4	42.928±1.436 e	3 717.589±237.484 d	14.961±0.441 d	2 151.107±78.324 c
Z5	35.288±3.046 f	9 754.705±693.063 b	16.726±0.835 c	2 076.464±142.129 c
Z6	57.239±1.013 c	9 385.425±199.124 b	15.493±0.686 d	2 737.116±213.713 b
Z7	80.842±3.896 a	8 756.292±269.282 bc	18.797±0.376 b	3 006.743±138.199 a
CK	31.074±2.083 f	12 301.871±1 060.765 a	7.662±0.212 f	685.241±30.328 d

表 7 不同砧木品种嫁接对黄瓜果实外观性状的影响

Table 7 Effects of different rootstock varieties on the fruit appearance character of grafted cucumber							
编号 Code	果皮颜色 Peel color	蜡粉 Wax bloom	瓜把形状 Fruit stalk shape	刺密度 Spine density	瘤数量 Tubercle number	瘤大小 Tubercle size	果肉颜色 Flesh color
Z1	深绿	无	瓶颈形	密	中	中	绿色
	Dark green	Absent	Bottle-necked	Dense	Medium	Medium	Green
Z2	深绿	无	瓶颈形	密	中	中	绿色
	Dark green	Absent	Bottle-necked	Dense	Medium	Medium	Green
Z3	深绿	无	瓶颈形/溜肩形	密	中	中	绿色
	Dark green	Absent	Bottle-necked/Sloped shoulder	Dense	Medium	Medium	Green
Z4	深绿	无	瓶颈形	密	中	中	绿色
	Dark green	Absent	Bottle-necked	Dense	Medium	Medium	Green
Z5	深绿	无	瓶颈形	密	中	中	绿色
	Dark green	Absent	Bottle-necked	Dense	Medium	Medium	Green
Z6	深绿	弱	瓶颈形	中	中	中	绿色
	Dark green	Slight	Bottle-necked	Medium	Medium	Medium	Green
Z7	深绿	强	瓶颈形	密	中	中	绿色
	Dark green	Heavy	Bottle-necked	Dense	Medium	Medium	Green
CK	深绿	弱	瓶颈形	密	中	中	绿色
	Dark green	Slight	Bottle-necked	Dense	Medium	Medium	Green

表 8 不同砧木品种嫁接对黄瓜果实外观品质数量性状的影响

Table 8 Effects of different rootstock varieties on quantitative traits of fruit appearance quality of grafted cucumber				
编号 Code	瓜把长度 Fruit stalk length/cm	果实长度 Fruit length/cm	果实横径 Fruit transverse diameter/cm	果形指数 Fruit shape index
Z1	3.967±0.681 b	33.067±1.050 a	3.086±0.242 a	10.773±1.097 a
Z2	3.700±0.400 b	32.733±0.451 a	3.204±0.114 a	10.227±0.444 a
Z3	3.900±0.557 b	34.600±0.721 a	3.044±0.083 a	11.373±0.426 a
Z4	4.367±0.153 ab	32.900±1.652 a	3.107±0.029 a	10.589±0.566 a
Z5	5.300±0.557 a	33.467±0.289 a	3.114±0.089 a	10.754±0.384 a
Z6	3.767±0.874 b	33.100±1.039 a	3.128±0.083 a	10.593±0.607 a
Z7	4.067±0.666 b	32.933±1.644 a	3.005±0.272 a	11.032±1.301 a
CK	4.367±0.737 ab	32.900±1.836 a	3.172±0.046 a	10.377±0.688 a

木,Z2 最短。CK 与所有砧木嫁接的黄瓜果实长度、横径和果形指数均无显著差异。

嫁接对黄瓜果实内在品质的影响如表 9 所示。在可溶性蛋白含量方面,除 Z3 外,其他嫁接苗均高于 CK,其中 Z5 最高,显著高于 CK 和其他砧木。维生素 C 含量以 Z5 最高,显著高于 CK 和其

他嫁接苗,CK 次之,且 CK 与 Z1、Z3 无显著差异,Z4 显著低于 CK 和其他砧木嫁接苗。可溶性总糖含量表现为 CK 最高,显著高于嫁接苗;嫁接苗中,Z2、Z4、Z5 含量较高,Z3 和 Z1 含量较低。Z3 的可溶性固形物含量最高,Z2 最低,两者差异显著,Z3 与其他砧木及 CK 相比无显著差异。

表 9 不同砧木嫁接对黄瓜果实营养品质的影响

Table 9 Effects of different rootstock varieties on the fruit nutritional quality of grafted cucumber				
编码编号 Code	w(可溶性蛋白) Soluble protein content/(mg·g ⁻¹)	w(维生素 C) Vitamin C content/(mg·100 g ⁻¹)	w(可溶性总糖) Total soluble sugar content/(mg·g ⁻¹)	w(可溶性固形物) Soluble solids content/%
Z1	1.747±0.012 d	10.641±0.272 bc	14.980±0.409 e	3.367±0.451 a
Z2	2.172±0.025 b	10.297±0.340 cde	18.564±0.602 b	2.800±0.173 b
Z3	1.429±0.045 f	10.491±0.345 bcd	15.392±0.341 de	3.667±0.058 a
Z4	2.159±0.020 b	8.852±0.238 f	18.008±0.915 bc	3.400±0.265 a
Z5	2.292±0.012 a	11.632±0.478 a	17.667±0.168 bc	3.200±0.265 ab
Z6	1.511±0.031 e	9.889±0.378 de	16.045±0.823 d	3.300±0.100 a
Z7	1.849±0.045 c	9.714±0.325 e	17.372±0.515 c	3.533±0.153 a
CK	1.500±0.016 e	10.986±0.453 b	21.132±0.270 a	3.200±0.361 ab

2.7 不同砧木品种对黄瓜产量的影响

由图 1 和表 10 可知,CK 始收期最早,为 4 月 21 日,Z2、Z3 为 4 月 22 日,Z1、Z7 为 4 月 23 日,Z4、Z5 为 4 月 25 日,Z6 最迟,为 4 月 26 日。CK 采收期最短,为 51 d;嫁接处理中,Z3 采收期最长,为 65 d,Z1 和 Z7 均为 64 d,Z6 采收期最短,为 61 d。

由表 10 可知,砧木 Z1 在单瓜质量、单株结瓜数、单株产量及折合 667 m² 产量等 4 项指标上均表现最优。砧木 Z7 在后 3 项产量相关指标上均为嫁接组中最低。在单瓜质量方面,Z1 显著高于 Z3、Z5、Z6 和 Z7,但与 Z2、Z4 及 CK 差异不显著。在单

株结瓜数方面,所有嫁接苗均显著高于 CK,Z1 最高,与 Z2、Z3、Z5 无显著差异,但显著高于 Z4、Z6、Z7。在单株产量方面,CK 最低,显著低于砧木嫁接苗;Z1 的单株产量最高,较 CK 显著提高 46.94%,与 Z2、Z3 无显著差异,但显著高于其他嫁接处理。折合 667 m² 产量规律与单株产量一致。综合可知,供试的 7 个黄瓜砧木品种(Z1~Z7)在单株结瓜数、单株产量及折合 667 m² 产量上均显著优于 CK,表明嫁接砧木对黄瓜产量具有显著的提升作用。在所有供试砧木品种中,砧木 Z1 的综合表现最佳,砧木 Z2、Z3 表现次之,砧木 Z7 最差。

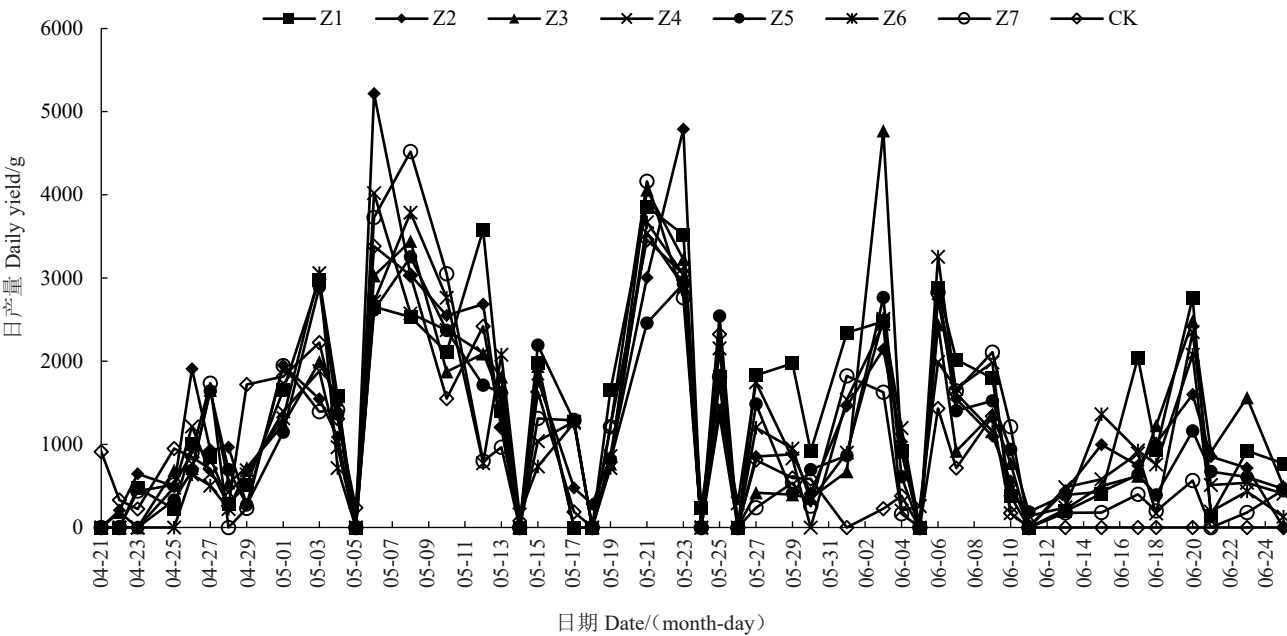


图 1 不同砧木对黄瓜果实采收期及产量的影响
Fig.1 Effects of different rootstocks on harvest period and yield of cucumber fruits

表 10 不同砧木嫁接的黄瓜产量

Table 10 Yield of grafted cucumber with different rootstocks					
编号 Code	采收期 Harvest period/d	单瓜质量 Single fruit mass/g	单株结瓜数 Fruit number per plant	单株产量 Yield per plant/g	产量 Yield /(kg·667 m ²)
Z1	64	238.363±10.761 a	16.9±2.8 a	4 039.130±726.879 a	11 967.952±2 153.741 a
Z2	63	228.039±13.942 ab	16.5±2.5 ab	3 754.870±614.106 ab	11 125.670±1 819.595 ab
Z3	65	225.221±8.072 b	16.1±2.4 abc	3 616.000±538.102 abc	10 714.208±1 594.396 abc
Z4	62	229.678±10.449 ab	14.6±1.9 bc	3 358.270±508.959 bc	9 950.544±1 508.044 bc
Z5	62	226.488±14.736 b	15.1±2.4 abc	3 419.800±656.922 bc	10 132.867±1 946.458 bc
Z6	61	227.346±12.625 b	14.8±3.4 bc	3 385.600±922.428 bc	10 031.533±2 733.154 bc
Z7	64	226.126±14.586 b	14.4±1.5 c	3 249.800±345.008 c	9 629.157±1 022.260 c
CK	51	235.291±17.979 ab	11.7±1.8 d	2 748.870±396.297 d	8 144.892±1 174.229 d

2.8 主成分分析

本研究选取影响嫁接植株生长势、氮代谢、果实产量及品质的主要指标进行主成分分析和熵权 TOPSIS 分析。出苗率是评价砧木质量的关键前期

指标,Z7 砧木出苗率低于 95%,出苗不整齐,会增加后续人工分级等工作量,且果实蜡粉重,商品性差,因此将 Z7 砧木剔除,仅对其余 6 个砧木进行综合评价。由表 11 可知,4 个主成分的累计方差贡献率

表 11 主成分分析载荷矩阵
Table 11 Load matrix of principal component analysis

指标 Index	主成分 1 Principal component 1	主成分 2 Principal component 2	主成分 3 Principal component 3	主成分 4 Principal component 4
根系表面积 Root surface area	0.969	-0.223	0.045	0.098
壮苗指数 Seedling vigor index	0.923	-0.080	-0.357	0.099
根尖数 Number of root tips	0.876	-0.081	0.407	-0.156
单株结瓜数 Fruit number per plant	0.861	-0.423	0.090	-0.079
根冠比 Root-shoot ratio	0.837	0.351	-0.126	0.298
谷氨酰胺合成酶活性 Glutamine synthetase activity	-0.193	0.947	0.140	0.106
果形指数 Fruit shape index	0.501	0.855	0.128	-0.026
可溶性固形物含量 Soluble solids content	0.303	0.855	-0.011	-0.290
SPAD 值 SPAD value	-0.071	-0.167	0.978	0.102
根系活力 Root activity	0.409	0.197	-0.705	-0.321
可溶性蛋白含量 Soluble protein content	-0.323	-0.408	-0.627	0.575
维生素 C 含量 Vitamin C content	0.427	0.007	0.380	0.812
单瓜质量 Single fruit mass	0.556	-0.474	-0.197	-0.173
硝酸还原酶活性 Nitrate reductase activity	0.070	-0.526	0.351	-0.523
特征值 Eigenvalue	5.153	3.459	2.508	1.642
贡献率 Contribution rate/%	36.806	24.706	17.916	11.729
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	36.806	61.512	79.428	91.157

达 91.157%。其中,主成分 1 的主要因子为根系表面积、壮苗指数、根尖数、单株结瓜数及根冠比,方差贡献率为 36.806%;主成分 2 的主要因子为谷氨酰胺合成酶活性、果形指数及可溶性固形物含量,方差贡献率为 24.706%;主成分 3 的主要因子为 SPAD 值、根系活力及可溶性蛋白含量等指标,方差贡献率为 17.916%;主成分 4 的主要因子为果实维生素 C 含量等指标,方差贡献率为 11.729%。

根据因子得分系数矩阵,结合各指标标准化数据,可计算得出各主成分的因子得分,计算公式为:

$$F_1=0.427X_1 + 0.407X_2 + 0.386X_3 + 0.379X_4 + 0.369X_5- 0.085X_6 + 0.221X_7 + 0.133X_8- 0.031X_9 + 0.180X_{10}-0.142X_{11}+0.188X_{12}+0.245X_{13}+0.031X_{14};$$

$$F_2=- 0.120X_1- 0.043X_2- 0.044X_3- 0.227X_4 + 0.189X_5 + 0.509X_6 + 0.460X_7 + 0.460X_8- 0.090X_9 + 0.106X_{10}-0.219X_{11}+0.004X_{12}-0.255X_{13}-0.283X_{14};$$

$$F_3=0.028X_1-0.225X_2+0.257X_3+0.057X_4-0.080X_5+ 0.088X_6 + 0.081X_7 - 0.007X_8 + 0.618X_9 - 0.445X_{10}- 0.396X_{11}+0.240X_{12}-0.124X_{13}+0.222X_{14};$$

$$F_4=0.076X_1+0.077X_2-0.122X_3-0.062X_4+0.233X_5+ 0.083X_6- 0.020X_7- 0.226X_8 + 0.080X_9- 0.251X_{10} + 0.449X_{11}+0.634X_{12}-0.135X_{13}-0.408X_{14}。$$

其中, $X_1\sim X_{14}$ 分别表示根系表面积、壮苗指数、根尖数、单株结瓜数、根冠比、GS 活性、果形指数、

可溶性固形物含量、SPAD 值、根系活力、可溶性蛋白含量、维生素 C 含量、单瓜质量、NR 活性等指标。以各主成分贡献率为权重,构建砧木性状综合评价得分函数,公式如下:

$$F=0.404F_1+0.271F_2+0.197F_3+0.129F_4。$$

根据综合评价得分函数,可得出不同砧木嫁接后黄瓜生长状况综合得分, F 值越大,说明该砧木表现越优异。各砧木得分及排序情况见表 12,表现为 $Z3>Z1>Z5>Z4>Z2>Z6$ 。

表 12 不同砧木的综合得分及排名
Table 12 Comprehensive score and ranking of different rootstocks

编号 Code	F_1	F_2	F_3	F_4	F	排名 Rank
Z1	3.463	-1.281	0.313	-0.206	1.086	2
Z2	-0.349	-2.731	-0.040	-0.085	-0.900	5
Z3	1.910	2.713	-0.158	-0.601	1.398	1
Z4	-1.942	0.627	0.416	-0.859	-0.643	4
Z5	-0.681	0.660	-2.573	2.538	-0.275	3
Z6	-2.401	0.013	-0.039	-0.787	-1.075	6

2.9 熵权 TOPSIS 分析

笔者选取与嫁接植株生长势、氮代谢酶活性、果实产量及品质相关的指标,采用熵权 TOPSIS 法计算不同砧木品种的综合得分。信息熵值可反映指标数据的离散程度。熵值越低,数据离散程度越

大,对综合评价结果的贡献度(权重)越高。由表 13 可知,各指标的权重介于 0~0.124 之间,单瓜质量的权重最高,其次为根系表面积(0.111)、单株结瓜数(0.100)、GS 活性(0.096),表明产量相关性状(单瓜质量、单株结瓜数)对综合评价的贡献较大;根系形态指标(根尖数、根系表面积)整体权重较高,说明

根系发育状况是评价砧木优劣的重要依据;GS 活性权重较高,可作为砧木评价的重要指标;果形指数为适度型指标,对评价结果的影响程度最低。整体来看,产量性状、根系形态及氮代谢相关指标可作为黄瓜嫁接砧木筛选的核心评价指标。

相对接近度 C 的大小反映评价对象与正理想

表 13 不同砧木品种信息熵、信息效用值和权重
Table 13 Information entropy, information utility value and weight of different rootstock varieties

指标 Index	信息熵值 Information entropy	信息效用值 Information utility value	权重 Weight
根冠比 Root-shoot ratio	0.846	0.154	0.065
壮苗指数 Seedling vigor index	0.866	0.134	0.057
SPAD 值 SPAD value	0.877	0.123	0.052
根系活力 Root activity	0.863	0.137	0.058
根尖数 Number of root tips	0.824	0.176	0.075
根系表面积 Root surface area	0.737	0.263	0.111
硝酸还原酶活性 Nitrate reductase activity	0.838	0.162	0.069
谷氨酰胺合成酶活性 Glutamine synthetase activity	0.774	0.226	0.096
果形指数 Fruit shape index	1.000	0.000	0.000
单瓜质量 Single fruit mass	0.707	0.293	0.124
单株结瓜数 Fruit number per plant	0.764	0.236	0.100
可溶性固形物含量 Soluble solids content	0.880	0.120	0.051
可溶性蛋白含量 Soluble protein content	0.796	0.204	0.086
维生素 C 含量 Vitamin C content	0.869	0.131	0.056

解的贴近程度, C 值越大表明品种综合表现越优。综合评估结果如表 14 所示,砧木 Z1 的相对接近度 C 值最大(0.651),综合排名第 1,表现最优;Z3 的 C 值为 0.517,位列第 2;Z6 的 C 值最小(0.299),综合表现最差。各砧木品种的综合表现优劣排序为 Z1>Z3>Z2>Z5>Z4>Z6。

表 14 不同砧木品种的贴近度与综合评价
Table 14 Closeness degree and comprehensive evaluation of different rootstock varieties

编号 Code	$D+$	$D-$	C	排序 Rank
Z1	0.126	0.235	0.651	1
Z2	0.177	0.160	0.475	3
Z3	0.173	0.185	0.517	2
Z4	0.223	0.121	0.352	5
Z5	0.194	0.146	0.429	4
Z6	0.234	0.100	0.299	6

3 讨论与结论

3.1 嫁接对黄瓜植株幼苗生长的影响

砧木嫁接能显著提高嫁接苗的壮苗指数、根系

活力,提升根系形态指标,本研究与前人的研究结果一致^[18,25-26]。陶美奇等^[27]研究表明,嫁接植株的株高高于自根苗,接穗茎粗普遍大于对照。本研究中,嫁接苗的接穗茎粗、接穗高度小于自根苗,这可能与嫁接初期接口愈合及维管束重建影响对养分的吸收有关。不同砧木对接穗生长与根系发育有差异化影响。砧木 Z7 表现出较强的地上部生长优势,其接穗株高最高、茎粗最大,壮苗指数高,显示 Z7 在维持地上部生长势方面具有独特优势,这可能与其较高的 NR 活性和氮素初效同化能力相关;而 Z1 砧木在根系发育方面表现突出,根系总长、根尖数、表面积等指标均居首位,地下部干质量增幅达 78.26%,根冠比提高 56.90%,表明 Z1 能通过优化根系构型增强资源捕获能力,这种强健的根系系统为其后续高产奠定了基础。

3.2 嫁接对黄瓜产量和品质的影响

嫁接可显著提升果实产量,并有效延长采收期,本研究结果与前人的研究结论一致^[19,28-30]。黄瓜中维生素 C、可溶性糖、可溶性固形物、可溶性蛋白含量等指标,是影响黄瓜品质和价值的重要因素^[31-32]。付深造等^[33]研究发现,嫁接后果实蛋白质含

量显著提升,可溶性固形物、维生素C、可溶性糖含量无显著变化。朱育强等^[34]研究发现,嫁接后黄瓜中游离氨基酸、维生素C、可溶性总糖、可溶性固形物含量等4个营养成分指标均降低,而可溶性蛋白含量嫁接后升高;王全智^[35]研究表明,嫁接对可溶性蛋白和可溶性糖含量均无显著影响,但能降低维生素C含量。田守胜等^[18]研究发现,砧木嫁接后黄瓜果实中可溶性糖、可溶性蛋白及维生素C含量提升,能有效改善果实品质。卢英昊^[36]采用10种南瓜砧木嫁接黄瓜,结果表明,9种砧木嫁接后果实维生素C含量下降,7种砧木可溶性糖含量下降,8种砧木可溶性蛋白含量下降。李秉衡等^[4]研究表明,与自根苗相比,不同砧木嫁接黄瓜的维生素C、可溶性糖及可溶性蛋白含量均显著提高。郑豪等^[29]研究发现,嫁接黄瓜的维生素C含量明显下降。本研究结果表明,除Z3处理外,各嫁接处理果实的可溶性蛋白含量均有所上升;可溶性固形物含量仅Z2处理有所下降,其余砧木处理均呈上升或保持不变趋势;维生素C含量除Z5处理外均有所降低,而可溶性总糖含量在所有嫁接处理中均呈下降趋势。

3.3 嫁接对黄瓜氮素同化的影响

氮代谢关键酶活性是评价砧木氮素利用效率的重要指标,高效的氮素同化是合成蛋白质和叶绿素的基础。付新星^[37]以葫芦为砧木嫁接西瓜,发现嫁接提高了幼苗叶片NR和GS活性。孙世君等^[38]研究发现,采用南瓜砧木嫁接黄瓜后,嫁接苗根系的NR、GS、GOGAT活性均高于自根苗,且黑籽南瓜砧木的提升效果优于白籽南瓜。本研究中,所有嫁接苗的NR、GS、GOGAT活性均高于CK,说明嫁接能普遍提升根系氮素同化能力。Z3的GS活性最高,根系活力为CK的4.79倍,表明Z3在氮素吸收与同化方面具有协同优势。结合Z3在壮苗指数、根冠比及采收期等方面的良好表现,可认为Z3是一种兼具营养吸收高效性与生长持久性的优良砧木。值得注意的是,亚硝酸还原酶(NiR)活性以CK最高,嫁接后普遍下降,需进一步研究。

3.4 不同砧木的综合评价

以单一性状评价品种优劣,存在着一定的局限性和片面性。因此,研究人员就砧木筛选综合评价的方法展开了研究。马钥珺等^[9]通过测定生理、同化物、品质等20个指标,利用主成分分析法,提取7个主成分,筛选到适宜的基质配比及砧穗组合。郭佩金等^[14]采用TOPSIS法,对不同砧木嫁接的黄瓜幼苗生长、根系形态、光合荧光特性、抗氧化能力和

渗透调节能力进行综合评价,筛选出耐盐性优良的南瓜砧木。本研究中,未出现单一砧木在所有指标上均占绝对优势的处理,因此采用主成分分析法和熵权TOPSIS法将多个性状进行综合评价,更能客观反映不同砧木在黄瓜嫁接生产中的应用价值。主成分分析综合得分排序为Z3>Z1>Z5>Z4>Z2>Z6,熵权TOPSIS评价法综合得分排序为Z1>Z3>Z2>Z5>Z4>Z6,两种评价方法得出的综合排序存在一定差异,这可能与两种方法的权重确定机制、数据预处理方式及对指标信息的提取侧重差异有关。但Z1、Z3均排在第2名,是黄瓜嫁接的优质砧木。未来研究可进一步结合基因组学、转录组学和代谢组学,深入解析砧木调控砧穗互作的分子机制,为砧木定向改良提供理论依据。

综上所述,结合嫁接黄瓜植株农艺性状、氮素同化、果实产量和品质指标,通过主成分分析法和熵权TOPSIS法对南瓜砧木品种进行综合评价,发现Z1(BZ-1)、Z3(博强906)的综合得分均为前2名,表明这2个砧木品种在嫁接黄瓜的农艺性状、产量与营养品质等指标方面综合表现优良,适宜作为黄瓜嫁接的优质砧木。

参考文献

- [1] 王越,吕赢,蔺晓萱,等. 139份黄瓜种质资源主要果实性状的主成分和聚类分析[J]. 长江蔬菜, 2023(22): 45-50.
- [2] 杨华,杨宗辉,刘一涵,等. 黄瓜品质性状遗传育种研究进展[J]. 中国蔬菜, 2023(8): 23-37.
- [3] 唐艳领,马凯,米国全,等. 葡萄秸秆复合有机肥对设施黄瓜产量、品质及土壤特性的影响[J]. 中国瓜菜, 2025, 38(5): 108-115.
- [4] 李秉衡,袁野,童辉,等. 不同砧木嫁接黄瓜亲和性分析及对生长和果实品质的影响[J]. 福建农业学报, 2025, 40(10): 1040-1047.
- [5] 马钥珺,谭占明,程云霞,等. 不同基质配比及砧穗组合对黄瓜生长发育的影响[J]. 新疆农业科学, 2024, 61(11): 2635-2647.
- [6] Kumar S, Bharti N, Saravaiya S. Vegetable grafting: A surgical approach to combat biotic and abiotic stresses: A review[J]. Agricultural Reviews, 2018, 39(1): 1-11.
- [7] 姜闯,张青,方伟,等. 3种嫁接方法对黄瓜嫁接苗前期生长的影响[J]. 园艺与种苗, 2011(6): 4-6.
- [8] 吴翠云,阿依买木,程奇,等. 不同嫁接方法对黄瓜成活率及幼苗生长的影响[J]. 塔里木农垦大学学报, 2003, 15(3): 1-3.
- [9] 陈振德,王佩圣,周英. 不同砧木对黄瓜产量、品质及枯萎病抗性的影响[J]. 中国蔬菜, 2010(10): 51-54.
- [10] 冯春梅,莫云彬,陈海平. 不同砧木嫁接对黄瓜抗病性及主要经济性状的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(6): 283-284.
- [11] 郑秀,成金桃,王忠全,等. 不同南瓜砧木嫁接对黄瓜植株生长、产量和果实品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2019, 32(11): 22-26.
- [12] 程云霞,谭占明,熊仁次,等. 南疆不同砧木组合对黄瓜生长发

- 育及品质的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2022, 42(3): 80-89.
- [13] 谭占明, 轩正英, 张娟, 等. 不同砧木嫁接对黄瓜产量和品质的影响[J]. 分子植物育种, 2021, 19(2): 679-686.
- [14] 郭佩金, 陈小玲, 王智钰, 等. 基于 TOPSIS 法对嫁接提高黄瓜耐 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫的综合评价[J]. 东北农业大学学报, 2023, 54(1): 33-44.
- [15] 苗丽, 段颖, 王长林, 等. 中国南瓜对嫁接黄瓜产量与风味影响的综合评价[J]. 核农学报, 2019, 33(10): 1949-1958.
- [16] 杨和连, 张煜广, 郭卫丽, 等. 南瓜砧木嫁接对黄瓜幼苗生长及镉积累特性的影响[J]. 中国蔬菜, 2022(6): 79-83.
- [17] 张蒙, 周经明, 马玮, 等. 砧用中国南瓜种子萌发期耐盐性鉴定评价[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(1): 26-34.
- [18] 田守胜, 王德欢, 葛米红, 等. 不同砧木对黄瓜嫁接苗生长及果实产质量的影响[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(2): 108-111.
- [19] 谢晓东. 砧木和接穗对黄瓜生长发育和光合特性的影响[D]. 新疆阿拉尔: 塔里木大学, 2022.
- [20] 罗旭婷, 刘伟, 张群, 等. 湖南 23 个桃品种果实品质分析及综合评价[J]. 食品科学, 2025, 46(20): 36-46.
- [21] 张佳丽, 路希, 李建明. 灌溉量与有机营养液配方耦合对设施番茄产量、品质及水分利用效率的影响[J]. 应用生态学报, 2025, 36(5): 1431-1439.
- [22] 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.
- [23] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [24] 王鸿飞, 邵兴锋. 果蔬贮藏与加工实验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [25] 孙艳, 冯贵颖, 黄炜. 两种黄瓜接穗在同一砧木上对生长状况影响的研究[J]. 西北植物学报, 2002, 22(1): 163-167.
- [26] 孙艳, 黄炜, 田霄鸿, 等. 黄瓜嫁接苗生长状况、光合特性及养分吸收特性的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(2): 181-185.
- [27] 陶美奇, 周刚, 姚超宇, 等. 砧木种类对嫁接黄瓜生长、品质和产量的影响[J]. 长江蔬菜, 2018(2): 54-59.
- [28] 苏世闻, 陈先知, 周友和, 等. 不同南瓜砧木品种对嫁接黄瓜长势及产量的影响[J]. 蔬菜, 2018(2): 12-15.
- [29] 郑豪, 孟俊成, 于立芝. 烟台地黄瓜嫁接苗和自根苗生长状况比较[J]. 农学学报, 2024, 14(10): 47-52.
- [30] 梁祖珍, 潘玲华, 赵兵, 等. 3 种砧木春季嫁接对黄瓜生长、品质与抗枯萎病的影响[J]. 南方园艺, 2014, 25(1): 7-8.
- [31] 刘晓英, 徐文栋, 焦学磊, 等. 不同配比红蓝 LED 光对黄瓜果实产量和品质的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2016, 25(2): 80-84.
- [32] 唐艳领, 宋策, 荆艳彩, 等. CPPU 对三种典型黄瓜类型果实生长及品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2025, 38(10): 75-82.
- [33] 付深造, 任君, 王鑫, 等. 南瓜砧木嫁接对黄瓜品种 DUS 测试基本性状和果实品质指标的影响[J]. 园艺学报, 2023, 50(12): 2665-2679.
- [34] 朱育强, 丁金婷, 张鹏, 等. 水果黄瓜不同嫁接组合对生长和品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2024, 65(5): 1025-1030.
- [35] 王全智. 嫁接对黄瓜生长、品质和生理特性的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [36] 卢英昊. 不同南瓜砧木对嫁接黄瓜生长发育、果实品质及抗病性的影响[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2024.
- [37] 付新星. 嫁接对西瓜苗期硝酸盐吸收和利用的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [38] 孙世君, 付崇毅, 崔世茂, 等. 根区温度对黄瓜嫁接苗碳氮代谢及相关酶活性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(8): 71-80.