

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.2025.0381

基于主成分分析法和隶属函数分析法 评价不同番茄果实品质

郜晨鹏¹, 杨燕宁², 程博¹, 李菲¹, 刁明¹, 崔金霞¹

(1. 石河子大学农学院·特色果蔬栽培生理与种质资源利用兵团重点实验室·新疆石河子 832003;
2. 新疆农垦科学院昆玉综合研究所 新疆昆玉 848116)

摘要: 为评估 6 个番茄品种的果实品质, 以筛选出适合在新疆和田地区日光温室种植的优质番茄品种, 应用主成分分析法和隶属函数分析法对 6 个番茄品种的 18 个果实品质指标进行评价分析。首先对数据进行标准化处理, 然后通过主成分分析法对数据进行降维处理和相关性分析, 并对果实品质相关数据进行方差分析; 接着应用隶属函数分析法计算各个指标的隶属函数值, 并综合运用主成分分析法得出综合评价公式; 最后根据综合评价公式计算各个品种品质的综合得分并进行排名。通过试验测定, 发现不同品种之间在维生素 C 含量、可滴定酸含量、可溶性糖含量、可溶性固形物含量、番茄红素含量、单果质量、果实硬度、固酸比、糖酸比等指标上存在显著差异。综合考虑各项指标后, 得出了每个番茄品种的综合得分, 从而确定了各品种果实品质的优劣顺序为: 2T1068、TSH、普罗旺斯、2T719、童年味道、DRC564。在本次研究中, 2T1068 和 TSH 两个品种被确定为品质最佳的品种。本试验结果为番茄种植者提供了指导, 种植者可以更好地选择种植品种, 提高番茄品质, 满足消费者需求。

关键词: 番茄; 果实品质; 主成分分析法; 隶属函数分析法; 综合评价

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)03-113-07

Evaluation of different tomato fruit quality based on principal component analysis and membership function analysis

GAO Chenpeng¹, YANG Yanning², CHENG Bo¹, LI Fei¹, DIAO Ming¹, CUI Jinxia¹

(1. College of Agriculture, Shihezi University/Key Laboratory of Special Fruit and Vegetable Cultivation Physiology and Germplasm Resources Utilization of Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi 832003, Xinjiang, China; 2. Kunyu Comprehensive Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Sciences, Kunyu 848116, Xinjiang, China)

Abstract: To select high-quality tomato varieties suitable for cultivation in solar greenhouse in the Andi region of Xinjiang from six tomato varieties, this study conducted a comprehensive evaluation of 18 fruit quality indicators of the tested varieties using principal component analysis (PCA) and membership function analysis. First, the raw data was standardized, and principal component analysis was employed for dimensionality reduction and correlation analysis. Simultaneously, variance analysis was performed on the fruit quality-related data to compare differences among varieties. Subsequently, the membership function values for each indicator were calculated using membership function analysis, and a comprehensive evaluation model was constructed based on the results of the principal component analysis. The comprehensive scores of each variety were then calculated and ranked according to the model. The experimental results showed that significant differences among varieties in terms of vitamin C content, titratable acidity content, soluble sugar content, soluble solids content, lycopene content, fruit mass, hardness, acid-sugar ratio. After integrating all the indicators, the comprehensive scores of the varieties were ranked as follows: 2T1068, TSH, Provence, 2T719, Tongnianweidao, DRC564. Among them, the varieties 2T1068 and TSH exhibited the best overall performance and were identified as high-quality varieties suitable for local cultivation. These research results provide a scientific basis for tomato growers in variety selection, helping to improve fruit quality and better meet consumer demands.

Key words: Tomato; Fruit quality; Principal component analysis; Membership function analysis; Comprehensive evaluation

收稿日期: 2025-05-23; 修回日期: 2025-10-16

基金项目: 新疆戈壁沙漠日光温室茄果类蔬菜绿色轻简化生产关键技术集成应用(NYHXGG, 2023AA302); 新疆戈壁沙漠设施蔬菜嫁接育苗关键技术研究与应用(2024BX02)

作者简介: 郜晨鹏, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为设施园艺。E-mail: 18509937432@163.com

通信作者: 杨燕宁, 女, 助理研究员, 从事园艺作物栽培与推广工作。E-mail: yangyn17@163.com

番茄(*Solanum lycopersicum* L.)是世界上种植面积最广的园艺作物之一,用其加工成的各类产品被广泛消费。番茄在生长过程中产生大量初级和次级代谢物,这些代谢物通过改造能成为新的高价值的化合物^[1];同时番茄含有丰富的胡萝卜素、番茄红素和维生素,风味独特,营养价值高。番茄富含的多种营养成分对健康有多种益处,可以预防癌症,降低心血管疾病和肠道疾病的风险,增进皮肤健康^[2]。中国是世界上番茄种植面积最大的国家,番茄也是我国设施种植面积最大的作物之一^[3-4]。联合国粮农组织数据(FAOSTAT)显示,2023年我国的番茄种植面积达到了116.04万hm²,产量达到7021.46万t。我国虽然是世界上最大的番茄生产国,但番茄产业的国际竞争力不足,首先需要发展和提高的是育种工作和生产规模^[5]。新疆因其独特的地理条件和丰富的光照资源成为我国番茄主要产地,也是设施番茄种植较大的地区。新疆地区拥有广阔的戈壁资源,昼夜温差大,番茄果实品质好,广受欢迎。利用优质番茄资源进行设施番茄生产是促进番茄产业发展的途径之一,同时设施农业的发展也是乡村振兴战略的重要内容;利用设施改造自然资源,发展设施农业,最关键环节便是选育设施相关品种,种植高品质番茄对该地区和相关产业发展具有重要意义。

主成分分析法和隶属函数分析法被广泛应用于多指标的综合评价体系,是多元分析方法中两种常用的方法。主成分分析法是通过数据降维的方式将原有的多种指标转化为一组新的综合指标,以少量的综合指标反映原有整体信息^[6-7]。隶属函数分析法则通过将各指标转化为对应的隶属函数值,根据不同的权重得出最终的总得分,再进行评价^[8]。综合运用这两种方法对整体进行评价,由得分反映最终结果。近些年来,许多相关研究都使用了这2种方法进行评价分析。蔡润等^[9]使用主成分分析法和隶属函数分析法筛选出3个较好的番茄品种;李洪磊等^[10]先使用主成分分析法提取番茄6个主成分,再使用隶属函数法评价综合性状差异;张文博等^[11]综合2种方法使用相对发芽率、相对发芽势、相对芽长、相对根长和种子活力指数对番茄种子萌发的耐盐碱能力进行了评价;廖扭等^[12]使用这2种方法评价花期灌水对番茄耐盐性的影响。除了应用于番茄之外,主成分分析法和隶属函数分析法还应用到其他果蔬类种质资源的评价工作中,比如绿豆品种的芽用特性评价^[13],澳洲坚果种质资

源的抗旱性评价^[14],地方韭菜品种的耐热性评价^[8],板栗果实营养品质综合评价等^[15]。本研究对南疆地区引进的6个番茄种质资源的果实相关品质进行测定,并使用主成分分析法和隶属函数分析法2种多元分析方法进行综合评价,以期筛选出适宜在新疆地区日光温室栽培的优质番茄品种。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验共选用6份番茄供试材料,其中包括商品品种和育种品系。商品品种为童年味道(山东安信种苗股份有限公司)和普罗旺斯(天津德奥特种业有限公司);育种品系包括DRC564(天津德奥特种业有限公司)、TSH(石河子绿野苗木有限公司)以及2T719和2T1068(成都农林科学院)。

1.2 试验设计

试验于2023年在和田市和田县和田产业园同一日光温室大棚内进行,8月23日定植,使用水肥一体化装置进行施肥灌溉,一垄两行,垄距为90cm,株行距均为40cm。种植茬口为越冬茬,随机试验,1垄为1个小区,每个小区种植68株,每个品种3次重复,采用随机区组排列,于12月8日采摘第5穗果进行各品质指标测定。

1.3 测定项目及方法

采用蒽酮法测定可溶性糖含量^[16];采用酸碱滴定法测定可滴定酸含量^[17];采用苏州科铭公司的试剂盒测定维生素C含量;采用日本爱拓(ATAGO)公司生产的糖度计(PAL-1型)测定果实含糖量,果实含糖量(糖度)主要反映果汁中可溶性固形物的总体水平,而可溶性糖含量为其主要组成部分;采用石油醚浸提法测定番茄红素含量^[18];使用固溶物浓度计LBG32测定可溶性固形物含量;使用北京精科仪器有限公司的果实硬度计(GY-4型)测定果实硬度;采用百分位数电子天平称量单果质量;果实和果肉色差使用日本柯尼卡美能达公司生产的色差计(CR-400型)测定。

1.4 数据统计与处理

因为各指标单位不一致,首先需要对数据进行无量纲化处理,对所有数据进行标准化处理,利用SPSS 27.0进行主成分分析,对数据进行降维处理和相关性分析,并对果实品质相关数据进行方差分析比较,根据所得结果计算各主成分权重;使用Excel 2010进行数据统计,计算出各个指标的隶属函数值,最后根据主成分分析法对各番茄种质总体得

分进行排名^[10]。

2 结果与分析

2.1 不同品种果实品质分析

由表 1 可知,各品种番茄在营养指标方面差异显著。其中,DRC564 的维生素 C 含量(w ,后同)最高,达到了 $219.38 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,显著高于其他品种,表现出较强的抗氧化能力;2T1068 的维生素 C 含量最低,只有 $123.44 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$;各番茄种质可滴定酸含量范围在 0.36%~0.64%,童年味道可滴定酸含量最低,

为 0.36%,显著低于其他品种;TSH 在可溶性糖含量(5.08%)、可溶性固形物含量(10.33%)和番茄红素含量($395.53 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)方面均为最高值,在风味和营养价值方面优势明显。从含糖量来看,普罗旺斯和 TSH 表现最佳,分别达到了 9.00%和 8.83%,显著高于其他品种;在单果质量方面,DRC564 和 TSH 均为小果型番茄,二者之间无显著差异,其余为大果型番茄,相互之间差异显著;在果实硬度方面,2T1068 最高,为 17.56 N,而 TSH 最低,为 8.41 N,这可能对贮藏运输造成影响。在固酸比方面,品种

表 1 不同品种番茄果实品质分析

Table 1 Analysis of fruit quality of different tomato varieties

品种 Variety	w (维生素 C) Vitamin C content/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	w (可滴定酸) Titratable acid content/%	w (可溶性糖) Soluble sugar content/ %	w (可溶性固形物) Soluble solids content/%	w (番茄红素) Lycopene content/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$
2T719	134.77±1.76 d	0.48±0.01 bc	4.14±1.84 bc	6.67±0.33 cd	189.06±4.58 d
童年味道 Tongnianweidao	172.00±5.62 c	0.36±0.01 d	3.05±1.23 d	7.33±0.33 bc	200.21±3.25 d
DRC564	219.38±4.10 a	0.64±0.01 a	4.62±2.14 ab	8.00±0.00 b	237.25±2.88 c
TSH	196.62±1.76 b	0.54±0.01 b	5.08±2.20 a	10.33±0.33 a	395.53±8.50 a
2T1068	123.44±3.56 d	0.43±0.02 c	3.84±1.03 c	6.00±0.00 d	286.56±8.00 b
普罗旺斯 Provence	161.13±7.30 c	0.63±0.02 a	5.07±0.80 a	8.33±0.33 b	374.32±3.45 a
品种 Variety	w (糖) Sugar content/%	单果质量 Single fruit mass/g	果实硬度 Fruit hardness/N	固酸比 Solid-acid ratio	糖酸比 Sugar-acid ratio
2T719	5.43±0.19 c	210.58±1.45 a	11.57±0.51 b	13.93±0.61 b	8.66±0.51 ab
童年味道 Tongnianweidao	6.37±0.35 bc	104.77±0.50 d	9.99±0.08 bc	20.36±0.67 a	8.48±0.36 ab
DRC564	6.90±0.20 b	20.13±0.44 e	10.12±0.34 bc	12.53±0.17 b	7.24±0.35 b
TSH	8.83±0.03 a	17.56±0.57 e	8.41±0.25 c	19.19±1.09 a	9.43±0.62 a
2T1068	5.47±0.09 c	193.10±1.03 b	17.56±0.84 a	13.98±0.63 b	8.93±0.18 ab
普罗旺斯 Provence	9.00±0.35 a	171.99±0.56 c	10.26±0.34 bc	13.37±0.94 b	8.12±0.17 ab

注:同列数据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.

TSH 和童年味道相对较高,其余 4 个品种之间的固酸比并无显著差异;且 TSH 在糖酸比方面表现最突出,达到了 9.43,但从总体情况看来,除 DRC564 之外,各个品种之间的糖酸比并无显著差异。

综合以上指标,TSH 的固酸比、糖酸比和番茄红素含量表现出色,维生素 C 含量也相对较高,说明其口感较好,抗氧化物质含量较高,容易被市场广泛接受。同时,该品种适应性强、栽培稳定性好,具有良好的推广前景。综合考虑以上因素,TSH 品种在口感和营养价值方面都表现出色。选择 TSH 品种可能会为种植者带来更好的经济效益,同时可提高消费者对口味的满意度。

2.2 不同果实色差分析

L^* 值表示颜色的亮度,值越高越接近于白色。由表 2 可知,DRC564 的果皮 L^* 值最低且显著低于

其他品种,说明其果皮色泽最暗。各番茄果肉 L^* 波动较大,2T1068 最大,为 43.68; a^* 代表绿色到红色的程度,除了 DRC564 和 2T1068 之外的番茄品种果皮 a^* 均无显著差异,2T1068 的果皮 a^* 和果肉 a^* 均为最高,且果皮 a^* 显著高于其他品种,表明其果皮和果肉最红。 b^* 代表蓝色到黄色的程度,正值代表黄,负值代表蓝。DRC564 的果皮具有最高的 b^* 值,说明它的果皮偏黄,2T1068 的果肉 b^* 值最大,高于其他品种,说明其果肉颜色偏黄。总体色差(ΔE 值)是表示两种颜色之间的差异程度的量度, ΔE 值相差越大,表示颜色之间的差异越大。2T719、童年味道、TSH、普罗旺斯之间果皮颜色无显著差异,但 2T1068 和 DRC564 之间果皮颜色差异显著;童年味道、DRC564、TSH、普罗旺斯之间果肉颜色无显著差异,2T1068 和 2T719 的果肉颜色

表2 不同品种番茄果实色差分析

Table 2 Fruit color difference analysis of different tomato varieties

品种 Variety	果皮 Skin				果肉 Flesh			
	L*	a*	b*	ΔE	L*	a*	b*	ΔE
2T719	38.57±0.50 ab	23.25±0.97 b	15.99±0.23 b	47.66±1.00 b	33.70±0.71 b	22.73±0.25 ab	33.70±0.71 d	43.84±0.17 c
童年味道 Tongnianweidao	39.33±0.76 ab	23.59±1.00 b	14.92±0.31 b	48.48±0.38 b	42.29±1.75 a	23.33±0.82 a	42.29±1.75 a	50.89±1.98 ab
DRC564	33.38±0.37 c	14.52±0.65 c	23.92±0.76 a	40.11±0.12 c	42.95±1.06 a	16.85±0.88 c	42.95±1.06 a	48.38±0.78 bc
TSH	36.83±1.09 b	22.96±0.65 b	16.70±0.46 a	49.48±0.75 b	35.39±1.43 b	19.85±0.41 bc	35.39±1.43 cd	48.42±1.19 bc
2T1068	40.60±0.35 a	30.53±0.27 a	17.95±0.71 b	54.21±0.43 a	43.68±1.34 a	23.56±0.87 a	43.68±1.34 a	56.56±1.20 a
普罗旺斯 Provence	40.18±0.84ab	23.14±0.61 b	14.25±0.31 b	49.06±0.61 b	38.13±1.96 ab	19.10±0.76 c	38.13±1.96 bcd	47.41±1.51 bc

差异显著。总的来看,2T1068 在果实颜色上具有显著表现,可能更受消费者青睐。

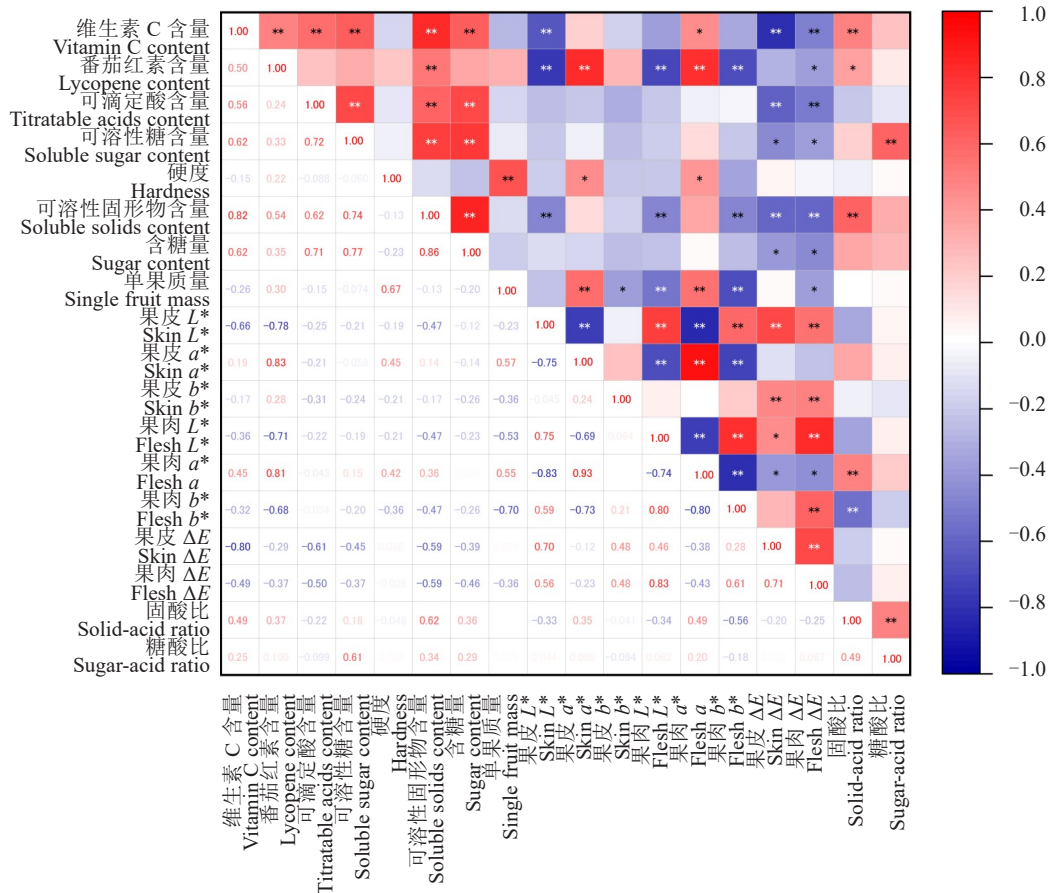
2.3 相关性分析

通过对 18 个指标进行相关性分析,由图 1 可知,维生素 C 含量与番茄红素含量、可滴定酸含量、可溶性糖含量、可溶性固形物含量、含糖量、固酸比呈极显著正相关,与果肉 a*呈显著正相关;与果皮 L*、果皮 ΔE、果肉 ΔE 呈极显著负相关。理解番茄果

实品质的复杂性需要考虑多个指标之间的交叉影响,这些指标受到环境和遗传因素的共同作用。单一指标评估可能无法全面反映果实品质,因此需要综合考虑多个指标来进行准确评价。通过采用多元化的评价方法,能够更好地理解番茄果实的性状和品质特征。

2.4 综合评价

由表 3 可知,这 4 个主成分的特征值分别为



注:*表示 P≤0.05 的显著水平,**表示 P≤0.01 的极显著水平。

Note: * indicates significant at P≤0.05, and ** indicates extremely significant at P≤0.01.

图1 不同品种番茄果实品质性状的相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis of fruit quality traits of different tomato varieties

表3 番茄果实品质评价的主成分分析
Table 3 Principal component analysis for tomato fruit quality evaluation

指标 Indicator	成分矩阵(特征向量) Component matrix (Eigenvector)			
	F_1	F_2	F_3	F_4
维生素C含量 Vitamin C content	-0.907	-0.041	0.397	-0.084
可滴定酸含量 Titratable acids content	-0.811	-0.004	-0.453	0.369
可溶性糖含量 Soluble sugar content	-0.682	0.428	-0.442	0.370
含糖量 Sugar content	-0.628	0.651	-0.124	0.114
可溶性固形物含量 Soluble solids content	-0.732	0.657	0.151	-0.087
单果质量 Single fruit mass	0.775	-0.111	-0.620	0.026
番茄红素含量 Lycopene content	-0.305	0.793	-0.103	0.489
果实硬度 Fruit hardness	0.738	-0.275	-0.018	0.589
固酸比 Solid-acid ratio	0.130	0.513	0.643	-0.532
糖酸比 Sugar-acid ratio	0.493	0.776	0.169	-0.081
果皮 L^* Skin L^*	0.839	0.333	-0.270	0.031
果皮 a^* Skin a^*	0.887	0.395	-0.003	0.239
果皮 b^* Skin b^*	-0.201	0.707	0.431	0.315
果皮 ΔE Skin ΔE	0.797	0.554	-0.002	0.241
果肉 L^* Flesh L^*	0.146	-0.533	0.547	0.467
果肉 a^* Flesh a^*	0.947	0.080	0.132	-0.262
果肉 b^* Flesh b^*	-0.521	-0.599	0.303	0.395
果肉 ΔE Flesh ΔE	0.499	-0.031	0.581	0.614
特征值 Eigenvalue	7.980	4.346	2.439	2.212
贡献率 Contribution rate/%	36.684	25.778	16.083	15.767
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	36.684	62.462	78.545	94.312

7.980、4.346、2.439、2.212, 方差贡献率分别为36.684%、25.778%、16.083%、15.767%, 累计贡献率达到94.312%, 达到提取条件。主成分分析结果表明, 第1主成分主要反映果实的营养与外观品质, 权重较大的指标包括维生素C含量、可滴定酸含量、可溶性糖含量、可溶性固形物含量、单果质量、果实硬度及果皮、果肉色差值等; 第2主成分主要与番茄红素含量、糖酸比及果皮果肉色泽相关; 第3主成分以单果质量、固酸比和果肉亮度为主; 第4主成分则主要受可滴定酸含量和果肉亮度影响。各主成分能较好地综合反映番茄果实品质的主要变异信息。

将维生素C含量、可滴定酸含量、可溶性糖含量、含糖量、可溶性固形物含量、单果质量、番茄红素含量、果实硬度、固酸比、糖酸比、果皮 L^* 、果皮

a^* 、果皮 b^* 、果皮 ΔE 、果肉 L^* 、果肉 a^* 、果肉 b^* 、果肉 ΔE 分别记为 $X_1 \sim X_{18}$, 用上述表中主成分分析得出的结果分别除以各对应特征值的算术平方根^[4], 求得各主成分的表达式。

$$F_1 = -0.321X_1 - 0.287X_2 - 0.241X_3 - 0.222X_4 - 0.259X_5 + 0.274X_6 - 0.108X_7 + 0.261X_8 + 0.046X_9 + 0.175X_{10} + 0.297X_{11} + 0.313X_{12} - 0.071X_{13} + 0.282X_{14} + 0.052X_{15} + 0.335X_{16} - 0.184X_{17} + 0.177X_{18};$$

$$F_2 = -0.200X_1 - 0.002X_2 + 0.205X_3 + 0.312X_4 + 0.315X_5 - 0.053X_6 + 0.380X_7 - 0.132X_8 + 0.246X_9 + 0.372X_{10} + 0.160X_{11} + 0.189X_{12} + 0.339X_{13} + 0.266X_{14} - 0.256X_{15} + 0.038X_{16} - 0.287X_{17} - 0.015X_{18};$$

$$F_3 = 0.254X_1 - 0.290X_2 - 0.283X_3 - 0.079X_4 + 0.097X_5 - 0.397X_6 - 0.066X_7 - 0.012X_8 + 0.412X_9 + 0.108X_{10} - 0.173X_{11} - 0.002X_{12} + 0.276X_{13} - 0.001X_{14} + 0.350X_{15} + 0.085X_{16} + 0.194X_{17} + 0.372X_{18};$$

$$F_4 = -0.056X_1 + 0.248X_2 + 0.249X_3 + 0.077X_4 - 0.058X_5 + 0.017X_6 + 0.329X_7 + 0.396X_8 - 0.358X_9 - 0.054X_{10} + 0.021X_{11} + 0.161X_{12} + 0.212X_{13} + 0.162X_{14} + 0.314X_{15} - 0.176X_{16} + 0.266X_{17} + 0.413X_{18}。$$

然后计算得出最终的主成分模型为:

$$F = -0.096X_1 - 0.120X_2 - 0.044X_3 - 0.002X_4 - 0.008X_5 + 0.027X_6 + 0.106X_7 + 0.130X_8 + 0.096X_9 + 0.179X_{10} + 0.133X_{11} + 0.200X_{12} + 0.147X_{13} + 0.209X_{14} + 0.062X_{15} + 0.126X_{16} - 0.073X_{17} + 0.197X_{18}。$$

以上表达式中, 各指标前系数越大, 说明其在最终的评价结果中影响越大, 权重越高。由表达式可以看出, 这18项指标对最终结果的影响从小到大依次为: 含糖量、可溶性固形物含量、单果质量、可溶性糖含量、果肉 L^* 、果肉 b^* 、固酸比、维生素C含量、番茄红素含量、可滴定酸含量、果肉 a^* 、果实硬度、果皮 L^* 、果皮 b^* 、糖酸比、果肉 ΔE 、果皮 a^* 、果皮 ΔE 。

对所有数据进行隶属函数分析(表4), 并将隶属函数值代入到以上的主成分模型中, 得出每个品种的最终综合得分, 按照分值大小对其进行排名, 筛选得出最适引种品种。由表5可得, 排名由高到低依次为: 2T1068、TSH、普罗旺斯、2T719、童年味道、DRC564。品质最好的品种为2T1068, 其次为TSH, 这2个品种都可以作为推广品种。

3 讨论与结论

近年来, 番茄果实品质越来越成为影响市场竞

表4 番茄各指标的隶属函数值

Table 4 Membership function value of each index of tomato

品种 Variety	维生素 C Vitamin C content	可滴定酸 含量 Titratable acid content	可溶性糖含量 Soluble sugar content	含糖量 Sugar content	可溶性固 形物含量 Soluble solids content	单果质量 Single fruit mass	番茄红 素含量 Lycopene content	果实硬度 Fruit hardness	固酸比 Solid-acid ratio
2T719	0.118	0.425	0.536	0.000	0.154	1.000	0.000	0.345	0.179
童年味道 Tongnianweidao	0.506	0.000	0.000	0.262	0.308	0.452	0.054	0.173	1.000
DRC564	1.000	1.000	0.777	0.411	0.462	0.013	0.233	0.187	0.000
TSH	0.763	0.646	1.000	0.953	1.000	0.000	1.000	0.000	0.851
2T1068	0.000	0.255	0.391	0.009	0.000	0.909	0.472	1.000	0.185
普罗旺斯 Provence	0.393	0.953	0.999	1.000	0.538	0.800	0.897	0.203	0.107

品种 Variety	糖酸比 Sugar-acid ratio	果皮 L^* Skin L^*	果皮 a^* Skin a^*	果皮 b^* Skin b^*	果皮 ΔE Skin ΔE	果肉 L^* Flesh L^*	果肉 a^* Flesh a^*	果肉 b^* Flesh b^*	果肉 ΔE Flesh ΔE
2T719	0.648	0.719	0.545	0.000	0.535	0.000	1.000	0.000	0.206
童年味道 Tongnianweidao	0.566	0.824	0.566	0.011	0.000	0.861	0.742	0.638	0.000
DRC564	0.000	0.000	0.000	0.153	0.599	0.927	0.861	0.126	0.004
TSH	1.000	0.479	0.527	1.000	0.972	0.170	0.748	0.477	0.685
2T1068	0.772	1.000	1.000	0.414	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000
普罗旺斯 Provence	0.402	0.942	0.538	0.039	0.725	0.444	0.818	0.845	0.800

表5 各番茄品种的综合评价

Table 5 Comprehensive evaluation of tomato varieties

品种 Variety	F_1	F_2	F_3	F_4	F	排名 Rank
2T1068	1.341	0.612	0.425	2.044	1.103	1
TSH	-0.234	2.376	0.798	1.146	0.886	2
普罗旺斯 Provence	0.181	1.247	-0.246	1.619	0.640	3
2T719	1.064	0.738	-0.452	0.376	0.601	4
童年味道 Tongnianweidao	0.605	0.467	0.773	0.098	0.511	5
DRC564	-0.507	0.446	0.198	0.844	0.100	6

争力与消费者偏好的核心因素。果实品质的评价通常涉及多个方面,包括可溶性糖、可滴定酸、维生素 C、番茄红素和可溶性固形物含量等营养成分,以及单果质量^[19-20]。此外,果实的外观形态与色泽等感官属性也同样不可忽视^[21]。

本试验共设置 18 个果实相关品质指标,其中包括 10 个营养质量参数和 8 个色差指标。各品种在这些指标上表现出明显差异,数据复杂度较高,因此急需借助合适的综合评价方法,以实现科学比较。目前,常见的数据综合分析方法有 DTOPSIS 法^[22]、主成分分析法(PCA)、隶属函数法^[10]、层次分析法(AHP)^[23]、聚类分析^[24]和灰色关联度分析^[25]等。

考虑到果实品质相关指标之间存在一定的线性相关性,且各自对综合评分的影响程度不一,单

一方法难以全面评估果实品质。付宝春等^[26]在玉簪抗旱性研究中证明,结合隶属函数法的主成分分析法比单一评价方法更为准确,本研究采用主成分分析法提取主成分并赋予各指标客观权重,结合隶属函数法对指标值进行归一化处理,最终获得每个品种的综合得分,建立系统化的综合评价模型^[27-28],王一峰等^[29]在核桃抗寒性综合指数构建中亦采用类似分析策略。在本研究中,通过对 18 个指标进行相关性分析,发现维生素 C 含量与可溶性固形物含量呈极显著正相关,这与贺朋飞等^[30]的研究结果一致。主成分分析提取出 4 个综合成分,累计贡献率达到 94.312%,并由此建立综合评分模型。第 2 主成分中包含可溶性糖含量、番茄红素含量、糖酸比、固酸比等,与李翔等^[31]的糖酸比、可溶性固形物含量和番茄红素含量在不同的主成分中并不一致,可能与本研究中将果实色泽加入主成分分析中有关。随后通过隶属函数法将每个番茄品种在各指标下的表现进行归一化处理,计算出每个品种的综合评价得分,得出排名靠前的 2 个品种为 2T1068 和 TSH。

综上所述,通过使用主成分分析法结合隶属函数法对 6 个番茄品种进行综合评价,2T1068 和 TSH 两个品种被确定为品质最佳的品种,其品质表现出色,具有较高的评价得分,在品质表现上具有一定优势。这一发现为种植高品质番茄提供了重

要参考依据,有助于提高新疆地区日光温室番茄的品质和产量。

参考文献

- [1] LI Y, WANG H, ZHANG Y, et al. Can the world's favorite fruit, tomato, provide an effective biosynthetic chassis for high-value metabolites? [J]. *Plant Cell Reports*, 2018, 37(10): 1443-1450.
- [2] COLLINS E J, BOWYER C, TSOUZA A, et al. Tomatoes: An extensive review of the associated health impacts of tomatoes and factors that can affect their cultivation [J]. *Biology*, 2022, 11(2): 239.
- [3] 程国亭, 娄茜棋, 栗现芳, 等. 番茄果实风味物质组成及其影响因素研究进展 [J]. *中国蔬菜*, 2022(7): 23-33.
- [4] 程国亭, 王延峰, 姜文婷, 等. 设施番茄土壤障碍综合防控研究进展 [J]. *中国蔬菜*, 2023(2): 16-24.
- [5] 孙永珍, 贺靖, 魏芳, 等. “十三五”我国番茄产业发展及其国际竞争力评价 [J]. *中国瓜菜*, 2023, 36(1): 112-116.
- [6] 李俊芳, 马永昆, 张荣, 等. 不同果桑品种成熟桑椹的游离氨基酸主成分分析和综合评价 [J]. *食品科学*, 2016, 37(14): 132-137.
- [7] 孙刘平, 钱吴永. 基于主成分分析法的综合评价方法的改进 [J]. *数学的实践与认识*, 2009, 39(18): 15-20.
- [8] 王萌, 赵曾菁, 赵虎, 等. 基于隶属函数和聚类分析法的广西韭菜地方种质资源耐热性评价 [J]. *西南农业学报*, 2023, 36(3): 541-549.
- [9] 蔡润, 孙正梁, 胡京昂, 等. 不同口感型番茄品种的品质鉴定及多元统计分析 [J]. *中国蔬菜*, 2023(11): 87-97.
- [10] 李洪磊, 王晓敏, 郑福顺, 等. 基于主成分和隶属函数分析的不同果色番茄品种引种初步评价 [J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2021, 43(2): 402-411.
- [11] 张文博, 刘芸希, 李国铭, 等. 9份番茄材料种子萌发期耐盐碱性评价 [J]. *种子*, 2023, 42(5): 26-32.
- [12] 廖扭, 刁明, 崔洪鑫, 等. 花期盐水滴灌对10份番茄种质的主要性状影响及耐盐性评价 [J]. *新疆农业科学*, 2022, 59(10): 2486-2494.
- [13] 吕重阳, 张晓燕, 黄璐, 等. 不同绿豆品种的芽用特性评价及其专用品种筛选 [J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(4): 152-163.
- [14] 马静, 贺熙勇, 陶亮, 等. 基于叶片解剖结构的澳洲坚果种质资源抗旱性评价 [J]. *热带作物学报*, 2023, 44(7): 1392-1399.
- [15] 魏源, 吕梦炀, 马亚特, 等. 基于3种分析方法的板栗果实营养品质综合评价 [J]. *河南农业科学*, 2023, 52(6): 111-119.
- [16] 李合生. *植物生理生化实验原理及技术* [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [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] 吕鑫, 侯丽霞, 张晓明, 等. 番茄果实成熟过程中番茄红素含量的变化 [J]. *中国蔬菜*, 2009(6): 21-24.
- [19] 刘明池, 陈殿奎. 亏缺灌溉对樱桃番茄产量和品质的影响 [J]. *中国蔬菜*, 2002(6): 4-6.
- [20] 陈强, 刘世琦, 张自坤, 等. 不同LED光源对番茄果实转色期品质的影响 [J]. *农业工程学报*, 2009, 25(5): 156-161.
- [21] 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.
- [22] 叶玉龙. 18份国外番茄种质资源主要性状研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2007.
- [23] 陈贤, 池涛, 杨德. AHP法在番茄果实商品性状评价上的应用分析 [J]. *西南农业学报*, 2008, 21(2): 432-435.
- [24] 王丹丹, 齐连芬, 张庆银, 等. 日光温室不同施肥量对番茄果实品质的影响 [J]. *河北农业大学学报*, 2019, 42(3): 71-75.
- [25] 弓成林, 郭爱民, 汪小伟, 等. 灰色关联度和层次分析法在葡萄品质评价上的应用 [J]. *西南农业学报*, 2002, 15(1): 79-82.
- [26] 付宝春, 薄伟. 玉簪抗旱性隶属函数及主成分分析 [J]. *草地学报*, 2014, 22(6): 1324-1330.
- [27] 石永红, 万里强, 刘建宁, 等. 多年生黑麦草抗旱性主成分及隶属函数分析 [J]. *草地学报*, 2010, 18(5): 669-672.
- [28] 李守强, 田世龙, 李梅, 等. 主成分分析和隶属函数法综合评价15种(系)马铃薯的营养品质 [J]. *食品工业科技*, 2020, 41(6): 272-276.
- [29] 王一峰, 赵淑玲, 王瀚, 等. 不同核桃种质展叶期抗寒性的综合评价 [J]. *经济林研究*, 2019, 37(1): 50-60.
- [30] 贺朋飞, 陈丽芳, 李成悦, 等. 43个番茄品种的品质分析与评价 [J/OL]. *分子植物育种*, 1-24 [2025-04-10]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20240408.1746.007>.
- [31] 李翔, 鲁素君, 唐纪华, 等. 基于主成分分析和感官鉴定对不同樱桃番茄品种的综合评价 [J]. *中国瓜菜*, 2025, 38(1): 72-80.