

基于主成分和隶属函数分析的露地大果番茄杂交组合综合评价

摆福红¹, 王晓敏^{1,2}, 胡新华³, 王凯彬¹, 郭猛^{1,2},
程国新^{1,2}, 付金军³, 高艳明^{1,2}, 李建设^{1,2}

(1. 宁夏大学葡萄酒与园艺学院 银川 750021; 2. 宁夏现代设施园艺工程技术研究中心·宁夏优势特色作物现代分子育种重点实验室 银川 750021; 3. 宁夏巨丰种苗有限责任公司 银川 750021)

摘要: 为了提高番茄杂交组合育种选育效率和筛选出适宜宁夏地区露地栽培的综合性状优良的大果番茄杂交组合, 以 62 个露地大果番茄杂交组合为材料, 以 2 个当地主栽品种丰收 128(CK1)和美粉 869(CK2)为对照, 采用变异分析法和主成分分析法对 28 个表型性状数据进行分析, 并对 62 个杂交组合和对照品种进行综合评价。结果表明, 11 个植物学性状中叶片长的变异系数最小, 为 7.73%, 萼片形状的变异系数最大, 为 46.74%; 17 个果实性状中果形指数的变异系数最小, 为 6.31%, 裂果性的变异系数最大, 为 43.38%; 利用主成分分析法提取到的前 10 个主成分累积方差贡献率为 73.31%, 包含了杂交组合表型性状的大部分遗传信息。基于主成分分析与隶属函数法相结合的策略对 62 个番茄杂交组合进行综合评价, 筛选出综合评价值比 2 个对照品种高的 4 个番茄杂交组合为 AF07、AF46、AF44 和 AF55。研究结果为宁夏地区越夏露地大果番茄品种选育奠定了理论基础。

关键词: 番茄; 杂交组合; 变异分析; 主成分分析; 综合评价

中图分类号: S641.2 文献标志码: A 文章编号: 1673-2871(2024)12-088-08

Comprehensive evaluation of open field large fruit tomato hybrid combinations based on principal component and membership function analysis

BAI Fuhong¹, WANG Xiaomin^{1,2}, HU Xinhua³, WANG Kaibin¹, GUO Meng^{1,2}, CHENG Guoxin^{1,2}, FU Jinjun³, GAO Yanming^{1,2}, LI Jianshe^{1,2}

(1. School of Enology and Horticulture, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China; 2. Ningxia Modern Facility Horticulture Engineering Technology Research Center/Ningxia Key Laboratory of Modern Molecular Breeding of Dominant and Characteristic Crops, Yinchuan 750021, Ningxia, China; 3. Ningxia Jufeng Seedlings Limited Liability Company, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of tomato hybrid combination breeding and screen for large fruit tomato hybrid combinations with excellent comprehensive traits suitable for open field cultivation in Ningxia region. 62 hybrid combinations of open field large fruit tomatoes were used as materials, with two main varieties Fengshou 128(CK1) and Meifen 869(CK2) as controls. The data of 28 phenotypic traits were processed and analyzed using variation analysis and principal component analysis. A comprehensive evaluation was conducted on 62 hybrid combinations and control varieties. The results showed that among the 11 botanical traits, the variation coefficient of the leaf length was the smallest, at 7.73%, and the variation coefficient of sepal shape was the largest, at 46.74%. Among the 17 fruit traits, the variation coefficient of fruit shape index is the smallest, at 6.31%, and the variation coefficient of fruit cracking is the largest, at 43.38%. The cumulative variance contribution rate of the top 10 principal components extracted using principal component analysis is 73.31%, which includes most of the genetic information of the phenotypic traits in hybrid combinations. Based on the combination of principal component analysis and membership function method, a comprehensive evaluation was conducted on 62 tomato hybrid combinations. Four tomato hybrid combinations with higher comprehensive evaluation values than the two control varieties were selected as AF07, AF46, AF44 and AF55, with comprehensive evaluation

收稿日期: 2024-04-01; 修回日期: 2024-07-06

基金项目: 宁夏回族自治区农业特色优势产业育种专项(NXNYZ20200104); 宁夏大学园艺国家一流专业建设项目(2020); 宁夏科技领军人才培养项目(2023GKLRX12)

作者简介: 摆福红, 男, 本科, 研究方向为蔬菜生物技术与遗传育种。E-mail: 2932112030@qq.com

通信作者: 王晓敏, 女, 教授, 研究方向为蔬菜生物技术与遗传育种。E-mail: wangxiaomin_1981@163.com

values of 0.76, 0.74, 0.69, and 0.68, respectively. This study provides a theoretical basis for the breeding of large fruit tomato varieties in the summer open field of Ningxia region.

Key words: Tomato; Hybrid combination; Variation analysis; Principal component analysis; Comprehensive evaluation

番茄(*Solanum lycopersicum*)又名西红柿、洋柿子等,是茄科番茄属一年生或多年生草本植物^[1]。番茄因具有色泽鲜艳、味道独特且富含维生素、番茄红素及矿物质等多种营养物质的特点而深受人们喜爱^[2-3]。宁夏地区气候冷凉,采用黄河水灌溉,具有污染少、番茄品质佳等优势,使番茄成为宁夏地区农民增收致富与特色蔬菜产业发展的重要组成部分。但随着番茄栽培面积的扩大以及为了适应更新迭代的种业市场,如何培育综合性状优良的大果番茄新品种成为当下番茄育种工作中急待解决的问题之一。

对配置的番茄杂交组合进行综合评价是番茄新品种选育工作的重要组成部分,同时为研究作物遗传变异、新品种培育、亲本与F₁代的表型特征异同等方面提供依据,也是进行品种改良以及杂种优势利用的重要基础^[4]。贾琪等^[5]对25个粉果番茄杂交组合进行比较评价,筛选出4个单产高、品质佳的杂交组合。刘奇^[6]选用抗性优良的番茄自交系材料作为轮回亲本与含有抗性基因的自交系材料配置成多个杂交组合,综合评价筛选出了适宜春季与秋季栽培的2个番茄杂交组合。利用主成分分析与隶属函数法对参试材料的多个重要性状进行综合评价,可将多个性状转化成几个综合变量,有利于更加全面科学地对考察指标进行评价^[7]。王晓敏等^[8]基于30个表型性状对配置的番茄杂交组合进行分析评价,从500多个大果番茄杂交组合中筛选出了综合表现优良的多个杂交组合。周艳超等^[9]基于对14个品质性状的调查分析,从29个番茄杂交组合中综合筛选出品质优良的数个杂交组合。袁东升^[10]通过对多个植物学性状与品质性状进行调查分析,基于主成分分析与隶属函数法从278个番茄杂交组合中筛选出多个综合性状优良的杂交组合,大大提高了杂交育种工作效率。方瑶瑶^[11]从连续2年分别配置的150个樱桃番茄杂交组合中筛选出多个抗青枯病且品质良好的杂交组合。目前对番茄杂交组合的研究主要集中在高产、品质优良、抗病性等方面^[5-6,10-13],但关于宁夏地区露地大果番茄杂交组合的研究较少且进展较慢^[9-10]。

鉴于此,笔者以62个参试大果番茄杂交组合和2个对照品种为试验材料,对28个表型性状进行变异分析和主成分分析,通过综合评价以期筛选

出综合性状表现优良的大果番茄杂交组合,为宁夏地区露地大果番茄杂交组合的选育及后期生产试验奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

以前期筛选的优质自交系为父母本,从配置的270个大果番茄杂交组合中初步筛选出的62个表现较优良的杂交组合为试验材料进行具体的性状调查,编号依次为AF01~AF62,以当地主栽优良品种丰收128(CK1)与美粉869(CK2)作为对照。由宁夏大学葡萄酒与园艺学院蔬菜课题组和宁夏巨丰种苗有限责任公司共同完成杂交组合配置工作。

1.2 方法

供试番茄于2020年3月21日播种在穴盘中育苗,种子点播后及时进行水分和温度管理,确保出苗;5月2日定植于宁夏贺兰县五星村宁夏巨丰现代农业科技有限公司园区。采用单垄双行栽培,株距35 cm,行距60 cm,小区面积6 m²,采用随机区组设计,3次重复,生长期间按照常规方法田间管理。

1.3 性状调查

在参试番茄杂交组合的第二穗果和第三穗果成熟期进行具体表型性状的调查与测定,28个表型性状的具体调查方法和相关质量性状赋值标准详见《番茄种质资源描述规范和数据标准》^[14],结合粉果大番茄杂交组合生长的实际情况略作修改,具体详见表1。对番茄杂交组合进行随机调查,每个性状3次重复。

11个植物学性状,分别是花序类型、株高、叶片长、叶片宽、叶片数、节间距、茎粗、萼片形状、生长势、熟性和综合抗病性。主要测量仪器是钢卷尺与MNT-150T游标卡尺。

17个果实性状,分别是成熟果色、果面棱沟、果实光泽度、果面沙点、绿肩、果顶大小、果个整齐度、裂果性、畸形果、单果质量、果梗洼木栓化大小、纵径、横径、果形指数、硬度、果肉厚和可溶性固形物含量,主要测量仪器有TD-45糖度计和GT-4硬度计。

1.4 数据处理

使用Excel 2010与SPSS 26.0软件对参试大果番茄杂交组合28个表型性状进行变异分析与主成

表1 质量性状的调查标准与赋值方法
Table 1 Survey standards and valuation methods for quality traits

性状 Trait	调查标准与赋值方法 Investigation standards and valuation methods
花序类型 Inflorescence type	1=单花,2=单式花序,3=双歧花序,4=多歧花序。 1=Single flower, 2= Monotypic inflorescence, 3= Bifid inflorescence, 4= Multiple inflorescences.
叶片数 Number of leaves	1=多,2=中,3=少。 1=Many, 2= Medium, 3=Few.
萼片形状 Sepal shape	1=平展,2=微翘,3=微卷,4=卷曲。 1= Smooth, 2= Slightly warped, 3= Microcircular, 4= Curly.
生长势 Growth potential	1=弱,2=中,3=强。 1= Weak, 2= Medium, 3= Strong.
熟性 Maturity	1=极早熟,2=早熟,3=中熟,4=晚熟。 1= Very early ripening, 2= Precocious, 3= Medium, 4= Late-maturing.
综合抗病性 Comprehensive resistance	1=高,2=中,3=低。 1=High, 2= Medium, 3=Low.
成熟果色 Mature fruit color	1=浅粉,2=粉,3=亮粉。 1= Light pink, 2= Pink, 3= Bright pink.
果面棱沟 Fruit surface ridge groove	1=无,2=轻,3=中,4=重。 1=None, 2=Slight, 3= Medium, 4= Serious.
果实光泽度 Fruit glossiness	1=亮,2=较亮,3=中,4=暗。 1=Bright, 2=Micro-light, 3= Medium, 4= Darkness.
果面沙点 Fruit surface sand point	1=少,2=中,3=多。 1= Few, 2= Medium, 3= Many.
绿肩 Fruit surface green shoulder	1=无,2=有。 1=None, 2=Have.
果顶大小 Fruit top size	1=小,2=中,3=大。 1=Small, 2=Medium, 3=Large.
果个整齐度 Fruit uniformity	1=均匀,2=中,3=不均匀。 1= Uniform, 2= Medium, 3= Nonuniform.
裂果性 Fruit cracking	1=无,2=不易裂,3=中,4=易裂。 1=None, 2= Not easily cracked, 3= Medium, 4=Easy to crack.
畸形果 Malformed fruit	1=无,2=有。 1=None, 2=Have.

分分析,参照刘珮君等^[15]的方法对62个大果番茄杂交组合进行综合评价。

2 结果与分析

2.1 番茄杂交组合表型性状变异分析

2.1.1 番茄杂交组合植物学性状的变异分析 参试大果番茄杂交组合11个植物学性状的变异分析结果如表2所示。11个植物学性状变异系数的变化范围较大,在7.73%~46.74%之间。其中,叶片长的变异系数最小,平均值为39.81 cm;萼片形状的变异系数最大,平均值是2.03,以微翘为主。花序类型的变异系数为32.51%,平均值是2.52,主要为双歧花序;株高的变异系数为11.75%,平均值是205.98 cm,表明植株生长情况良好;叶片宽的变异系数是12.54%,平均值是38.62 cm;叶片数的变异系数为31.39%,平均值是1.81。节间距与茎粗的变

异系数相差不大,分别为12.13%、13.01%。生长势的变异系数为38.78%,平均值为2.06,以中为主。熟性的平均值是2.82,表明杂交组合的果实熟性以中熟为主。综合抗病性的变异系数为38.10%,平均值为2.00,表明杂交组合综合抗病性一般。由此可知,杂交组合在11个植物学性状之间存在丰富的变异,变异丰富的表型性状在后续的品种选育过程中更具有选择优势与潜能,对后期改善品种特性具有重要意义。

2.1.2 番茄杂交组合果实性状的变异分析 参试大果番茄杂交组合17个果实性状的变异分析结果如表3所示。17个果实性状的变异系数变化范围较大,在6.31%~43.38%之间。其中,果形指数的变异系数最小,平均值为0.89,果实形状以扁圆形为主;裂果性的变异系数最大,平均值为2.15,以不易裂为主。

表2 62个番茄杂交组合植物学性状的变异分析

Table 2 Analysis of variation in botanical traits of 62 tomato hybrid combinations

性状 Trait	最大值 Max	最小值 Min	标准差 Standard deviation	平均值 Average value	变异系数 Coefficient of variation/%
花序类型 Inflorescence type	4.00	1.00	0.82	2.52	32.51
株高 Plant height/cm	262.00	156.60	24.20	205.98	11.75
叶片长 Leaf length/cm	48.04	32.32	3.08	39.81	7.73
叶片宽 Leaf width/cm	52.26	23.28	4.84	38.62	12.54
叶片数 Number of leaves	3.00	1.00	0.56	1.81	31.19
节间距 Internodal distance/cm	30.38	17.14	2.69	22.15	12.13
茎粗 Stem thick/cm	1.91	1.07	0.20	1.53	13.01
萼片形状 Sepal shape	4.00	1.00	0.95	2.03	46.74
生长势 Growth potential	3.00	1.00	0.80	2.06	38.78
熟性 Maturity	4.00	1.00	0.94	2.82	33.38
综合抗病性 Comprehensive resistance	3.00	1.00	0.76	2.00	38.10

由表3可知,成熟果色的变异系数为35.25%,平均值为1.87,以粉色为主。果面棱沟的平均值为2.32,以轻为主,这是影响果实外观的重要指标之一。果实光泽度的平均值为2.05,主要表现为较亮。果面沙点的变异系数较大,为41.10%,平均值是1.42,以少为主,果面沙点是影响果实光泽度的重要因素。绿肩的变异系数和平均值分别为31.67%和1.16,表明参试番茄杂交组合的果实绝大多数无绿肩。果顶大小的变异系数较高,为39.57%,平均值为1.81,表明参试番茄杂交组合的果实果顶以中为主。果个整齐度的平均值为2.02,

以较均匀为主。畸形果的变异系数为35.12%,平均值为1.39,以无畸形果为主。果梗洼木栓化大小的变异系数为14.01%,平均值为1.28 cm。果实纵径的变异系数与平均值分别为8.09%和5.74 cm,果实横径的变异系数与平均值分别为7.25%和6.46 cm。单果质量的变异系数为17.16%,单果质量最大为242.94 g,最小为113.20 g。单果质量的标准差是所有性状中最大的,标准差是反映性状变化幅度的重要指标,因此单果质量的变异幅度大,更具有选择潜力。

通过对参试番茄杂交组合的果实品质性状进

表3 62个番茄杂交组合果实性状的变异分析

Table 3 Variation analysis of fruit traits of 62 tomato hybrid combinations

性状 Trait	最大值 Max	最小值 Min	标准差 Standard deviation	平均值 Average value	变异系数 Coefficient of variation/%
成熟果色 Mature fruit color	3.00	1.00	0.66	1.87	35.25
果面棱沟 Fruit surface ridge groove	4.00	1.00	0.59	2.32	25.38
果实光泽度 Fruit glossiness	4.00	1.00	0.71	2.05	34.44
果面沙点 Fruit surface sand point	3.00	1.00	0.58	1.42	41.10
绿肩 Fruit surface green shoulder	2.00	1.00	0.37	1.16	31.67
果顶大小 Fruit top size	3.00	1.00	0.71	1.81	39.57
果个整齐度 Fruit uniformity	3.00	1.00	0.55	2.02	27.45
裂果性 Fruit cracking	4.00	1.00	0.93	2.15	43.38
畸形果 Malformed fruit	2.00	1.00	0.49	1.39	35.12
单果质量 Single fruit mass/g	242.94	113.20	27.78	161.83	17.16
果梗洼木栓化大小 Fruit stem depression cork size/cm	1.65	0.81	0.18	1.28	14.01
果实纵径 Vertical diameter of fruit/cm	6.85	4.79	0.46	5.74	8.09
果实横径 Fruit diameter/cm	7.64	5.31	0.47	6.46	7.25
果形指数 Fruit shape index	1.03	0.79	0.06	0.89	6.31
果实硬度 Fruit hardness/(kg·cm ⁻²)	3.92	1.09	0.62	2.49	24.94
果肉厚 Fruit flesh thickness/cm	0.71	0.35	0.08	0.56	15.11
w(可溶性固形物) Soluble solids content/%	7.66	5.40	0.46	6.22	7.44

行分析,由表3可知,果实硬度的变异系数为24.94%,平均值为 $2.49 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$,果实硬度对果实商品质量和延长贮运期方面有重要意义。果肉厚的变异系数为15.11%,平均值为 0.56 cm ,果肉厚是影响番茄加工的重要因素。可溶性固形物含量的变异系数为7.44%,平均值是6.22%,糖度含量较高,对番茄的风味口感有利。番茄杂交组合的果实性状各自具有特点,有进一步研究和培育优良品种的价值。

2.2 番茄杂交组合表型性状的主成分分析

为了能够简单清晰地反映出各表型性状在杂交组合中的作用,对参试大果番茄杂交组合28个

表型性状进行主成分分析,结果如表4所示,提取的前10个主成分特征值均在1.00以上,累积贡献率达到73.31%,基本包含了大部分信息。

第1主成分特征值为4.37,方差贡献率为15.62%,主要反映单果质量、果实横径、果实纵径、果梗洼木栓化大小和果顶大小等性状,特征向量均高于0.63,依次为0.82、0.81、0.77、0.74、0.64,主要与产量和果实外观形状密切相关。其中果肉厚、果实硬度和叶片多少的特征向量为负,分别是-0.24、-0.23和-0.22。第2主成分的特征值为3.04,方差贡献率为10.85%,主要反映果实光泽度、花序类型和果面沙点等表型性状,特征向量分别为

表4 大果番茄杂交组合主成分分析

Table 3 Principal component analysis of large fruit tomato hybrid combinations

性状 Trait	主成分 Principal component									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
花序类型 Inflorescence type	-0.15	0.54	-0.17	0.19	-0.37	-0.28	0.10	-0.13	0.16	-0.21
株高 Plant height	0.06	-0.24	0.22	0.60	-0.13	0.14	-0.05	0.14	0.19	0.31
叶片长 Leaf length	0.42	-0.41	0.23	0.24	0.31	0.12	0.19	-0.43	0.07	-0.07
叶片宽 Leaf width	0.18	-0.58	0.37	-0.02	0.45	-0.03	-0.05	-0.19	-0.09	-0.10
叶片数 Number of leaves	-0.22	0.46	-0.15	-0.51	0.21	0.14	0.15	0.32	-0.12	0.07
节间距 Internodal distance/cm	-0.05	0.31	-0.40	0.36	-0.01	0.42	0.25	0.06	0.43	0.04
茎粗 Stem thick	0.18	0.05	-0.19	-0.06	-0.03	0.25	0.59	-0.11	-0.24	-0.10
萼片形状 Sepal shape	0.06	0.33	-0.43	0.11	0.08	-0.16	-0.03	-0.36	0.21	-0.10
生长势 Growth potential	0.10	-0.48	0.05	0.51	0.06	-0.14	0.08	0.11	-0.13	0.07
熟性 Maturity	0.40	0.23	0.56	-0.13	-0.04	-0.34	-0.16	0.22	0.07	0.13
综合抗病性 Comprehensive resistance	0.40	0.26	0.33	-0.38	-0.13	0.11	0.36	0.01	-0.04	0.04
成熟果色 Mature fruit color	-0.15	-0.58	-0.41	-0.15	-0.23	-0.12	0.00	0.08	0.39	0.08
果面棱沟 Fruit surface ridge groove	0.49	0.28	0.07	0.11	0.13	-0.37	0.17	-0.27	0.15	0.19
果实光泽度 Fruit glossiness	0.01	0.57	0.49	0.27	0.36	0.02	0.03	0.07	0.03	0.08
果面沙点 Fruit surface sand point	-0.20	0.50	0.42	0.43	0.25	0.07	-0.06	0.23	0.20	-0.07
绿肩 Fruit surface green shoulder	-0.13	0.22	-0.41	0.36	0.51	0.15	0.14	-0.05	-0.20	-0.13
果顶大小 Fruit top size	0.64	0.27	-0.10	-0.11	0.03	-0.08	-0.05	-0.28	-0.21	0.20
果个整齐度 Fruit uniformity	0.34	0.39	-0.02	0.07	-0.25	-0.26	-0.28	-0.34	0.11	-0.10
裂果性 Fruit cracking	0.54	0.11	0.25	-0.19	-0.11	0.09	-0.02	0.15	0.06	-0.38
畸形果 Malformed fruit	0.13	-0.24	0.38	0.08	-0.29	-0.02	0.36	0.18	0.21	-0.55
单果质量 Single fruit mass	0.82	0.06	-0.22	-0.06	0.15	0.07	0.12	0.17	0.00	0.07
果梗洼木栓化大小 Fruit stem depression cork size	0.74	-0.10	-0.26	-0.18	-0.07	0.16	-0.21	0.16	0.16	0.13
果实纵径 Vertical diameter of fruit	0.77	-0.02	-0.17	0.35	-0.26	0.05	0.03	0.24	-0.18	0.06
果实横径 Fruit diameter	0.81	-0.09	-0.28	0.02	0.27	0.00	-0.04	0.27	0.17	-0.05
果形指数 Fruit shape index	0.07	0.09	0.08	0.43	-0.66	0.07	0.11	-0.03	-0.43	0.14
果实硬度 Fruit hardness	-0.23	-0.04	0.33	-0.25	-0.10	0.10	0.45	-0.12	0.29	0.49
果肉厚 Fruit flesh thickness	-0.24	0.06	-0.26	0.16	0.16	-0.58	0.16	0.46	-0.13	0.07
可溶性固形物含量 Soluble solids content	-0.02	0.21	0.11	0.03	-0.12	0.70	-0.43	-0.02	-0.02	0.00
特征值 Characteristic value	4.37	3.04	2.48	2.18	1.86	1.67	1.38	1.37	1.12	1.06
方差贡献率 Variance contribution rate/%	15.62	10.85	8.85	7.79	6.65	5.95	4.93	4.89	4.00	3.78
累积方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%	15.62	26.47	35.32	43.11	49.76	55.71	60.64	65.53	69.53	73.31

0.57、0.54 与 0.50, 载荷负向较高的有叶片宽、成熟果色与生长势等, 特征向量分别为-0.58、-0.58 与-0.48, 主要与植株生长状态和果实表皮光泽有关。第 3 主成分的特征值与方差贡献率分别为 2.48 和 8.85%, 主要反映熟性, 与番茄成熟时间有关。第 4 主成分的特征值为 2.18, 方差贡献率为 7.79%, 主要反映的是株高与生长势, 特征向量分别为 0.60 和 0.51, 主要与植株的生长情况相关。第 5 主成分的特征值为 1.86, 方差贡献率为 6.65%, 主要反映绿肩与果形指数, 特征向量分别为 0.51 与-0.66。第 6 主成分的特征值为 1.67, 方差贡献率为 5.95%, 主要反映可溶性固形物含量与节间距等性状, 特征向量分别为 0.70 和 0.42, 载荷负向较高的是果肉厚, 特征向量为-0.58, 主要与果实品质相关。第 7 主成分的特征值和方差贡献率分别为 1.38、4.93%, 主要反映茎粗。第 8、第 9 和第 10 主成分的特征值分别为 1.37、1.12 和 1.06, 方差贡献率依次为 4.89%、4.00% 和 3.78%。根据特征值、贡献率以及特征向量的大小从主成分中筛选出单果质量、果实横径、果实纵径、果梗洼木栓化大小、果顶大小、可溶性固形物含量、株高、果实光泽度、花序类型、绿肩、果面沙点、果肉厚、果实硬度、叶片多少、生长势、熟性、叶片宽、成熟果色与果形指数等性状是番茄表型性状差异的主要因素, 对今后番茄创新育种与综合评价具有一定的参考价值。

2.3 番茄杂交组合综合评价

利用隶属函数对 10 个主成分得分进行处理得到 u 值, 依据提取到的前 10 个主成分的方差贡献率与累积方差贡献率的比值, 计算出各个主成分的权重, 10 个主成分的权重系数分别为 0.213、0.148、0.121、0.106、0.091、0.081、0.067、0.067、0.055 和 0.052。根据综合评价的计算公式求出各杂交组合的综合评价值 (D 值), D 值越大代表杂交组合综合表现越好。对 62 个参试番茄杂交组合与 2 个对照主栽品种进行综合评价, 综合评价值与排序结果如表 5 所示。排名前 4 的属于综合表现优良的番茄杂交组合, 其中编号为 AF07 的番茄杂交组合 D 值 (0.76) 最高, 两个对照品种 CK1 与 CK2 的排名分别为第 9 和第 5。

3 讨论与结论

番茄杂交组合表型性状的统计分析是番茄育种研究的基础方法。笔者基于 62 个番茄杂交组合

的 28 个表型性状, 通过变异分析, 表明番茄杂交组合的 28 个表型性状变异类型丰富, 变异系数范围在 6.31%~46.74%, 丰富的变异可以在杂交选育过程中进行改善与有效利用, 是良种选育的重要遗传基础^[16]。总体的变异范围与前人相比较小^[10], 其可能存在的原因除了试验材料外, 还与环境条件、管理方法等因素有关。11 个植物学性状中萼片形状的变异系数最大, 为 46.74%; 果实性状中裂果性的变异系数最大, 为 43.38%。变异系数越大表明该性状受到温度、营养、光照等环境条件的影响越大, 可以利用整枝、起垄覆膜等调整栽培技术改善这些性状。植物学性状中叶片长的变异系数最小, 为 7.73%; 果实性状中果形指数的变异系数最小, 为 6.31%。其中, 果实纵径的变异系数为 8.09%, 果实横径的变异系数为 7.25%, 结果相差不大, 这与前人的研究结果接近^[17]。

番茄杂交育种是改善与选育新品种的重要途径, 但杂交育种工作量大, 提高育种效率成为番茄杂交育种工作中急待解决的问题^[8]。笔者基于主成分分析与隶属函数分析相结合的策略对供试番茄杂交组合进行综合评价, 在保留综合评价所需关键指标的同时, 有效地提高了育种效率, 避免了主观因素的影响, 确保了结果的科学与准确, 该方法在鲜食蚕豆^[18]、番茄^[19]、大白菜^[20]、谷子^[21]、玉米^[22]、板栗^[23]等作物的综合评价中被广泛应用。利用主成分分析从 64 个参试材料的 28 个表型性状中提取到 10 个主成分, 累积方差贡献率为 73.31%, 这个结果与袁东升等^[24]、芮文婧等^[25]、赵云霞等^[26]和饶庆琳等^[27]提取主成分的累积贡献率较接近, 累积贡献率较低的原因可能是测量性状之间的相关性不显著或者参与综合评价的指标不具有代表性。因此要关注前人的测定性状, 选择更有代表性且侧重点的指标。通过主成分分析可知, 单果质量、果实横径、果实纵径、果梗洼木栓化大小、可溶性固形物含量、果顶大小、株高等性状的特征向量较高, 可作为露地大果番茄杂交组合综合评价的重要指标。

综上所述, 62 个番茄杂交组合的 28 个表型性状变异类型丰富, 变异系数范围在 6.31%~46.74%。基于主成分分析与隶属函数分析对 62 个参试番茄杂交组合进行综合评价, 最终筛选出了 4 个综合性状优良且同时优于 2 个对照品种的杂交组合, 分别为 AF07、AF46、AF44 和 AF55, 在单果质量、果形指数、果实硬度、果肉厚和可溶性固形物含量等方面具有各自优势。

表5 番茄杂交组合综合评价及排序

Table 5 Comprehensive evaluation and ranking of tomato hybrid combinations

材料编号 Material number	主成分 Principal component										D 值 D value	排序 Rank
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10		
AF07	1.81	4.76	0.29	3.24	-2.52	0.64	2.04	1.61	1.58	0.55	0.764	1
AF46	3.09	-0.85	2.70	2.43	0.12	1.29	0.45	0.84	0.56	-0.45	0.737	2
AF44	1.96	1.32	3.02	1.19	0.00	-0.36	1.42	-2.27	1.67	-0.56	0.688	3
AF55	3.33	0.60	2.18	-0.77	1.81	-1.37	0.36	0.95	-0.25	-0.36	0.682	4
CK2	3.51	-1.13	0.87	1.49	1.14	0.03	-0.65	-0.18	0.24	0.19	0.669	5
AF53	3.43	1.54	0.72	-0.33	-0.63	2.32	-0.39	-2.91	0.58	0.93	0.662	6
AF58	3.01	0.57	-0.81	-1.29	0.25	-0.31	0.91	1.66	1.13	1.66	0.656	7
AF02	2.78	1.87	-0.06	-0.69	0.02	-0.78	0.45	0.53	0.28	1.02	0.648	8
CK1	3.03	-1.84	0.21	0.51	0.56	1.75	0.43	-0.91	-0.51	0.61	0.635	9
AF20	3.19	1.04	-3.05	-0.43	1.46	1.41	0.42	1.59	-1.57	0.56	0.633	10
AF08	1.38	0.39	0.23	1.53	-0.42	-0.98	-0.68	2.72	-1.22	1.56	0.626	11
AF23	2.88	0.48	-3.55	-0.27	2.85	-0.53	1.33	0.54	0.34	0.05	0.618	12
AF34	-2.99	0.04	0.99	2.90	1.50	1.64	2.15	0.77	-0.36	-0.05	0.617	13
AF19	0.60	0.06	1.79	-0.33	1.74	0.23	0.89	0.98	-0.14	-2.33	0.613	14
AF54	3.42	0.49	0.38	-2.68	0.13	0.58	0.73	-1.26	0.72	-0.72	0.605	15
AF51	2.79	0.65	0.36	-2.38	0.18	-0.83	0.06	-0.79	0.62	1.05	0.594	16
AF03	-1.12	2.33	1.63	1.96	0.16	-0.57	-3.10	1.95	-0.12	-0.49	0.589	17
AF39	-0.19	-0.30	2.15	-0.38	0.05	-0.04	-0.90	0.06	2.22	0.24	0.587	18
AF43	2.10	-1.73	0.30	0.44	-0.90	0.82	-1.22	-0.38	-0.61	1.75	0.578	19
AF29	-0.75	2.06	-0.06	1.66	2.37	-0.48	-1.68	-0.01	-0.91	-0.53	0.577	20
AF49	0.79	-2.46	2.02	1.76	-1.22	-0.76	1.29	-0.94	-0.80	0.79	0.576	21
AF10	0.16	-2.28	0.51	1.35	0.39	0.37	-0.23	0.96	1.19	-0.59	0.574	22
AF01	1.19	-1.14	1.70	-0.40	-0.25	-0.54	1.00	2.15	-2.88	-0.66	0.573	23
AF21	-1.32	2.54	-1.18	2.01	1.60	-0.09	0.67	-1.33	-0.97	-0.12	0.568	24
AF56	0.91	-0.26	-0.81	-1.04	0.82	-0.36	-0.53	1.78	0.04	0.96	0.566	25
AF52	1.17	-2.23	0.41	-0.30	0.18	0.66	0.31	-0.63	1.95	-0.76	0.565	26
AF35	-3.25	-0.15	0.25	1.32	1.31	1.75	0.56	0.55	-0.70	1.42	0.557	27
AF59	-0.17	-0.93	-0.26	-0.20	0.52	0.02	-0.06	0.41	0.31	1.57	0.554	28
AF22	-0.21	1.68	-0.65	-0.62	2.25	1.04	-0.71	-0.43	-1.24	-1.05	0.552	29
AF41	-2.24	2.77	2.26	-0.69	-0.76	-0.49	-0.73	0.17	0.80	-0.36	0.543	30
AF47	0.55	0.00	0.84	-1.90	-0.96	1.72	0.11	-0.33	0.79	-1.60	0.541	31
AF60	0.01	0.55	-0.19	-1.35	0.07	-1.08	0.27	0.87	0.48	0.42	0.540	32
AF14	0.32	-0.93	-2.32	2.33	0.13	-0.23	-0.93	-1.03	0.55	1.23	0.533	33
AF09	0.20	3.35	-2.24	0.44	-3.40	2.09	-1.76	1.39	1.38	-2.34	0.530	34
AF32	-3.61	2.25	1.03	0.08	-0.98	-1.54	2.10	0.05	0.25	1.90	0.529	35
AF04	-3.30	0.45	2.60	0.69	1.47	0.85	-2.12	-0.86	0.55	-0.57	0.526	36
AF06	0.98	0.85	1.26	0.56	-1.48	-1.28	-2.21	-1.29	-0.68	-0.38	0.523	37
AF31	-4.16	0.36	0.42	-1.27	0.90	1.21	1.56	1.04	0.82	0.95	0.519	38
AF48	0.42	-1.80	1.20	0.14	-1.32	2.87	-2.05	-0.94	-2.32	0.48	0.518	39
AF42	1.11	-1.88	-0.18	-1.19	-1.26	0.10	-0.03	1.01	0.77	-0.93	0.516	40
AF26	0.06	1.48	-1.98	0.67	0.24	1.62	0.42	-1.15	-1.78	-2.58	0.515	41
AF62	0.47	1.42	-0.91	-3.09	1.15	-0.27	0.39	-0.58	-0.50	-0.37	0.513	42
AF50	-0.66	-0.73	2.08	-1.48	-0.45	-1.10	1.18	-0.26	-0.57	-0.71	0.510	43
AF57	0.81	0.70	-0.97	-1.30	0.45	-1.47	-0.63	-0.29	-0.59	0.01	0.507	44
AF15	0.61	3.13	-1.84	-0.18	-1.98	-0.85	0.22	-2.57	-0.84	0.75	0.505	45
AF24	-2.06	0.61	-2.17	2.54	2.74	-2.35	0.85	-1.25	0.45	-1.23	0.504	46
AF40	-1.62	0.39	1.29	-0.91	1.49	-2.05	-1.80	-0.38	1.45	-0.11	0.502	47
AF33	-5.15	1.57	2.33	-1.79	0.39	2.26	1.42	-0.34	-1.67	0.94	0.500	48
AF28	0.53	-0.68	-0.73	1.16	-0.35	-1.44	-1.16	-1.50	-1.71	1.18	0.495	49
AF25	-0.32	-2.74	0.12	1.42	-2.78	0.15	0.76	0.42	-0.84	-0.18	0.490	50
AF18	-1.77	-0.73	-3.37	2.60	-0.32	0.26	-0.25	-0.59	1.89	0.46	0.489	51
AF16	0.83	-0.47	-0.40	-1.42	-1.00	-0.56	0.15	0.95	-1.36	-1.54	0.487	52

表5 (续)
Table 5 (Continued)

材料编号 Material number	主成分 Principal component										D 值 D value	排序 Rank
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10		
AF61	-0.20	-0.86	-0.92	-1.28	-1.31	0.66	-0.23	0.05	-0.69	0.68	0.479	53
AF13	-0.69	-5.12	0.18	1.11	0.63	-1.14	0.41	0.27	0.26	-0.40	0.476	54
AF05	-2.06	0.58	0.34	-2.36	0.66	-0.80	-2.62	1.68	0.08	0.38	0.463	55
AF45	-0.26	-2.40	-0.27	-0.47	1.20	-1.34	0.73	-2.11	-0.12	-1.24	0.461	56
AF11	-0.72	-3.43	-0.69	0.44	-0.52	-0.40	-0.83	0.87	0.87	-0.83	0.460	57
AF38	-2.71	-0.09	0.67	-0.93	-2.00	-0.07	1.37	-0.03	-0.11	-0.88	0.452	58
AF37	-2.99	-0.32	-0.72	-0.95	-0.24	0.26	-0.22	-0.50	0.42	1.03	0.447	59
AF17	-1.69	-1.73	-3.60	-0.66	0.31	2.64	-0.98	0.49	0.90	-0.17	0.444	60
AF36	-2.34	-1.90	-1.09	-1.83	-0.61	1.55	0.13	-0.90	0.69	0.89	0.431	61
AF27	-1.09	-0.42	-2.38	0.11	-2.69	-1.85	1.92	0.78	-0.53	-1.69	0.418	62
AF12	-1.15	-0.09	-0.52	0.74	-2.58	-3.17	-0.76	-0.78	-1.01	0.13	0.413	63
AF30	-2.64	-1.29	-1.40	-1.64	-0.32	-1.32	-0.01	-0.37	0.75	0.45	0.397	64

参考文献

- [1] TIEMAN D, ZHU G T, RESENDE M F R, et al. A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor[J]. Science, 2017, 355(6323):391-394.
- [2] SANGWANANGKUL P, BAE Y S, LEE J S, et al. Short-term pretreatment with high CO₂ alters organic acids and improves cherry tomato quality during storage[J]. Horticulture Environment and Biotechnology, 2017, 58(2): 127-135.
- [3] 陈军. 不同种类的樱桃番茄营养成分分析及其耐弱光效应研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
- [4] 胡标林, 万勇, 李霞, 等. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 作物学报, 2012, 38(5): 829-839.
- [5] 贾琪, 梁燕. 25 个粉果番茄杂交组合比较试验[J]. 西北农业学报, 2020, 29(1): 83-92.
- [6] 刘奇. 大果番茄杂交组合选育和种质创新[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- [7] 赵娜. 普通粉果番茄和樱桃番茄品种的综合评价[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [8] 王晓敏, 刘珮君, 郑福顺, 等. 宁夏露地夏茬大果番茄杂交组合的综合评价[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2022, 44(1): 160-170.
- [9] 周艳超, 薛坤, 葛海燕, 等. 基于主成分与聚类分析的樱桃番茄品质综合评价[J]. 浙江农业学报, 2021, 33(12): 2320-2329.
- [10] 袁东升. 266 份番茄种质资源遗传多样性分析及番茄杂交组合的评价[D]. 银川: 宁夏大学, 2019.
- [11] 方瑶瑶. 抗青枯病樱桃番茄种质鉴定和杂交组合筛选[D]. 武汉: 华中农业大学, 2023.
- [12] 李国花, 王晓敏, 胡新华, 等. 基于 Dtopsis 法综合评价宁夏日光温室 50 个粉果番茄杂交组合[J]. 华北农学报, 2022, 37(增刊 1): 35-43.
- [13] 欧青青. 利用分子标记和农艺性状综合评价筛选优良樱桃番茄组合[D]. 南宁: 广西大学, 2020.
- [14] 李锡香, 杜永臣. 番茄种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [15] 刘珮君, 王晓敏, 李国花, 等. 166 份番茄种质资源的综合评价[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2020, 42(4): 792-803.
- [16] 莫迟. 不同红松杂交组合种实性状变异研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2017.
- [17] 张紫薇. 番茄的遗传多样性与杂种优势预测及强优势组合选育[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018.
- [18] 王琳琳, 钟洋敏, 缪叶旻子, 等. 基于主成分和聚类分析的鲜食蚕豆农艺与品质性状综合评价[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(3): 788-797.
- [19] 高艳娜, 牛华琳, 李莹, 等. 基于主成分分析和聚类分析对不同番茄品种的综合评价[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(12): 106-113.
- [20] 肖艳, 张倩倩, 原让花, 等. 基于主成分分析和聚类分析的大白菜耐抽薹种质资源评价[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(5): 37-43.
- [21] 李龙, 宋慧, 张扬, 等. 不同生态区谷子品种在华北地区农艺性状及适应性评价[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(14): 90-94.
- [22] 王俊花, 邵林生, 闫建宾, 等. 基于主成分分析的糯玉米杂交组合农艺性状综合评价[J]. 山西农业科学, 2022, 50(7): 938-944.
- [23] 魏源, 吕梦炆, 马亚特, 等. 基于 3 种分析方法的板栗果实营养成分综合评价[J]. 河南农业科学, 2023, 52(6): 111-119.
- [24] 袁东升, 王晓敏, 赵宇飞, 等. 100 份番茄种质资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 西北农业学报, 2019, 28(4): 594-601.
- [25] 芮文婧, 王晓敏, 张倩男, 等. 番茄 353 份种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 园艺学报, 2018, 45(3): 561-570.
- [26] 赵云霞, 颜秀娟, 王学梅, 等. 246 份番茄种质资源表型性状的遗传多样性[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(17): 134-140.
- [27] 饶庆琳, 吕建伟, 胡廷会, 等. 花生种质资源表型鉴定及多样性分析[J]. 种子, 2020, 39(10): 53-57.