

摆福红, 王晓敏, 王凯彬, 等. 15 个大果番茄自交系果实性状的配合力与遗传力分析[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(4): 1043-1051.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2023.04.014

15 个大果番茄自交系果实性状的配合力与遗传力分析

摆福红¹, 王晓敏^{1,2,3,4}, 王凯彬¹, 郭 猛^{1,2,3,4}, 程国新^{1,2,3,4}, 胡新华⁵, 付金军⁵,
高艳明^{1,2,3,4}, 李建设^{1,2,3,4}

(1. 宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏设施园艺<宁夏大学>技术创新中心, 宁夏 银川 750021; 3. 宁夏优势特色作物现代分子育种重点实验室, 宁夏 银川 750021; 4. 宁夏现代设施园艺工程技术研究中心, 宁夏 银川 750021; 5. 宁夏巨丰种苗有限责任公司, 宁夏 银川 750021)

摘要: 配合力与遗传力分析对于评价和筛选优良自交系材料与杂交组合选配具有重要意义。本研究以 15 个大果番茄自交系为材料, 按照 NC II 不完全双列杂交法, 配制成 36 个杂交组合, 对单果质量、果洼处木栓化大小、果实纵径、果实横径、果形指数、果实硬度、果肉厚和可溶性固形物含量共 8 个果实性状进行配合力与遗传力分析。结果表明, 8 个果实性状在组合间均有极显著差异; 果实性状的配合力方差分析中除果形指数外其他均呈极显著差异。母本 ZJ20431、ZJ20436、ZJ20437、ZJ20440 与父本 ZJ20035 的一般配合力相对效应值较高; 组合 ZJ20431×ZJ20035 与 ZJ20433×ZJ20037 的特殊配合力相对效应值较高。果形指数和果洼处木栓化大小在杂交后代中主要受基因型中的加性效应影响; 而果肉厚和可溶性固形物含量主要受到非加性效应的影响, 可通过优势杂交育种途径加以利用。除果形指数外的 7 个性状广义遗传力较大, 而狭义遗传力普遍较低, 适宜在晚期世代进行选择。本研究结果为宁夏地区大果番茄优良亲本选择与新品种的选育提供了理论参考。

关键词: 番茄; 果实性状; 配合力; 遗传力; 遗传效应

中图分类号: S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2023)04-1043-09

Combining ability and heritability analysis of fruit traits of 15 large fruit tomato inbred lines

BAI Fu-hong¹, WANG Xiao-min^{1,2,3,4}, WANG Kai-bin¹, GUO Meng^{1,2,3,4}, CHENG Guo-xin^{1,2,3,4},
HU Xin-hua⁵, FU Jin-jun⁵, GAO Yan-ming^{1,2,3,4}, LI Jian-she^{1,2,3,4}

(1. School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Ningxia Facility Horticulture <Ningxia University> Technology Innovation Center, Yinchuan 750021, China; 3. Key Laboratory of Modern Molecular Breeding for Dominant and Special Crops in Ningxia, Yinchuan 750021, China; 4. Ningxia Modern Facility Horticulture Engineering and Technology Research Center, Yinchuan 750021, China; 5. Ningxia Jufeng Seedlings Limited Liability Company, Yinchuan 750021, China)

收稿日期: 2022-09-05

基金项目: 宁夏回族自治区农业特色优势产业育种专项(NXNYZZ-0200104); 宁夏回族自治区重点研发计划(重大)重点项目(2019BBF02022); 宁夏大学 2020 年度国家级一流本科专业建设(园艺)项目

作者简介: 摆福红(1997-), 男, 宁夏固原人, 硕士研究生, 研究方向为蔬菜生物技术与遗传育种。(E-mail) 2932112030@qq.com

通讯作者: 王晓敏, (E-mail) wangxiaomin_1981@163.com

Abstract: Combining ability and heritability analysis is of great significance for the evaluation and screening of excellent inbred line materials and the selective breeding of hybrid combinations. In this study, 15 tomato inbred lines with large fruits were used as materials, 36 hybrid combinations were prepared according to NC II incomplete diallel hybrid method. Combining ability and heritability analysis of eight fruit traits were made, including single fruit mass, cork size of fruit stem depression, vertical diameter of fruit, transverse diameter of fruit, fruit shape index,

fruit hardness, flesh thickness, soluble solid content. The results showed that, there were extremely significant differences of eight fruit traits between different combinations. The variance analysis of combining ability of fruit traits showed that, the difference was extremely significant except for fruit shape index. The relative effect value of general combining ability (GCA) of female parent ZJ20431, ZJ20436, ZJ20437, ZJ20440 and male parent ZJ20035 was high. The relative effect value of the special combining ability of the combinations of ZJ20431×ZJ20035 and ZJ20433×ZJ20037 were high. The fruit shape index and cork size of fruit stem depression in filial generations were mainly affected by additive effect of genotype. The flesh thickness and soluble solid content were mainly affected by non additive effects and could be utilized through heterosis crossbreeding approaches. Except for the fruit shape index, the broad heritability of the seven traits was relatively high, while the narrow heritability was low in general. Therefore, the traits were suitable for selection in the late generations. This study can provide theoretical reference for the selection of excellent parents and breeding of new varieties of large fruit tomato in Ningxia area.

Key words: tomato; fruit trait; combining ability; heritability; genetic effects

番茄 (*Solanum lycopersicum* L.), 又名西红柿, 属自花授粉植物, 因其口感独特, 富含糖和番茄红素等多种营养物质而受到大众的喜爱^[1-2]。宁夏因其独特的气候环境, 已成为番茄等蔬菜种植的重要地区之一。然而宁夏地区番茄的本土品种单一、产量与品质下降等问题日益突出, 因此选育综合表现优良的番茄品种成为目前的主要任务。通过杂交手段将多个优良性状汇集于一体, 是培育番茄新品种、改善与提高番茄品质、提高抗性的重要途径。优良亲本的筛选是进行杂交育种工作的基础。配合力与遗传能力的高低是亲本选择的重要标准, 研究分析亲本在不同杂交组合中的表现情况, 有利于筛选出性状优良的亲本材料与组合, 是提高杂交育种工作效率的重要环节^[3]。

杂交育种是培育新品种、提高品质、产量和抗性的重要方法之一。杂交后代是否优良与杂交组合的优劣密切相关, 合适的亲本可有效提高育种工作的效率^[4]。前人在玉米^[5]、水稻^[6]、甘蔗^[7]、甜瓜^[8]、切花菊^[9]、樱桃番茄^[10]等多种作物上分别对杂交配合力与遗传力进行研究分析, 结果表明, 亲本与杂交后代的性状表现存在差异。因此有必要在 F_1 代时对组合与亲本进行评价鉴定, 筛选出表现优良的亲本与组合, 有效减少工作量与缩短育种周期。对大果番茄杂交组合的研究发现, 果肉厚、果形指数等性状的广义遗传力与狭义遗传力均较高, 这些性状主要受基因的加性效应影响, 遗传给后代的能力强^[11-12]。聂中欣^[13]和任媛^[14]对番茄优良自交系的配合力进行分析发现, 单株结果数、单果质量、果实硬度等性状以加性效应为主; 王晓敏等^[3]与田硕等^[15]研究发现, 番茄可溶性固形物含量的广义与狭义遗传力均较高, 遗传给后代的能力强。

本研究对 8 个果实性状与 36 个组合的配合力与遗传力进行估算分析, 拟筛选出综合表现优良的大果番茄亲本材料与杂交组合, 为宁夏地区大果番茄优良亲本的筛选与新品种的选育提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以前期初步筛选的 15 个大果番茄自交系为试验材料 (表 1), 其中 12 个母本代号分别为 ZJ20430、ZJ20431、ZJ20432、ZJ20433、ZJ20434、ZJ20435、ZJ20436、ZJ20437、ZJ20438、ZJ20439、ZJ20440 和 ZJ20441, 3 个父本代号分别为 ZJ20035、ZJ20036、ZJ20037。亲本中除 ZJ20037 为不转色果外, 其余亲本均为粉色果。

1.2 试验设计

本试验采用 NC II 不完全双列杂交法, 共配制 36 个组合, F_1 代杂交种于 2020 年 3 月播种, 后移栽于宁夏巨日现代农业科技有限公司露地试验区。起垄双行栽培, 株距、行距分别为 40 cm、60 cm, 按照随机区组进行 3 次重复, 生长期间的水肥管理正常进行。

1.3 果实性状的测定

8 个果实性状分别为单果质量、果洼处木栓化大小、果实纵径、果实横径、果形指数、果实硬度、果肉厚和可溶性固形物含量, 各性状的测定依据《番茄种质资源描述规范和数据标准》^[16] 进行。

1.4 数据处理与分析

数据处理与方差分析使用软件 SPSS 26.0 进行。一般配合力 (General combining ability, GCA) 与特殊配合力 (Special combining ability, SCA) 相对效应值及遗传效应的计算参照黄远樟等^[17]与易红华^[18]的方法。

表 1 供试亲本材料的基础性状

Table 1 Basic traits of the tested parent materials

代号	生长类型	亲本类型	代号	生长类型	亲本类型
ZJ20430	无限生长	母本	ZJ20438	无限生长	母本
ZJ20431	无限生长	母本	ZJ20439	无限生长	母本
ZJ20432	无限生长	母本	ZJ20440	无限生长	母本
ZJ20433	无限生长	母本	ZJ20441	无限生长	母本
ZJ20434	无限生长	母本	ZJ20035	无限生长	父本
ZJ20435	无限生长	母本	ZJ20036	无限生长	父本
ZJ20436	有限生长	母本	ZJ20037	有限生长	父本
ZJ20437	无限生长	母本			

2 结果与分析

2.1 番茄果实性状的方差分析

为了比较各性状在区组间与组合间的差异,对 8 个果实性状进行显著性检验,结果如表 2 所示。结果表明,8 个果实性状区组间均无显著差异,说明该试验条件控制良好,不同性状之间的差异是由遗传变异造成的;而各果实性状在组合间的差异均达到极显著水平,表明杂交组合对果实性状的变化有极大的影响。因此,可以进一步检验组合间配合力的差异。

表 2 8 个果实性状的方差分析

Table 2 Variance analysis of eight fruit traits

性状	区组间		组合间	
	均方	F	均方	F
单果质量	247.14	2.31	1 763.03	16.47 **
果洼处木栓化大小	0	0.23	0.16	8.69 **
果实纵径	0.11	0.98	1.48	12.73 **
果实横径	0	0.03	0.89	9.10 **
果形指数	0	0.99	0.02	4.84 **
果实硬度	0.02	0.19	2.43	20.87 **
果肉厚	0	0.86	0.03	6.80 **
可溶性固形物含量	0.10	1.17	0.89	10.25 **

F 表示样本间的差异,是效应项与误差项的比值。**表示各果实性状在组合间的差异达到极显著水平($P<0.01$)。

2.2 配合力的方差分析

对母本与父本的一般配合力以及杂交组合的特殊配合力进行方差分析,具体结果如表 3 所示。结果表明:母本的一般配合力与杂交组合的特殊配合力在

8 个果实性状间均有极显著差异,而父本的一般配合力除果形指数外其余均存在极显著差异。因此有必要进一步对亲本与组合的配合力效应进行分析。

表 3 8 个果实性状的配合力方差分析(F 值)

Table 3 Variance analysis of combining ability of eight fruit traits (F value)

变异来源	G(母本)	G(父本)	S(母×父)
单果质量	9.39 **	16.21 **	10.68 **
果洼处木栓化大小	4.86 **	22.36 **	6.30 **
果实纵径	5.69 **	45.45 **	13.27 **
果实横径	4.29 **	37.72 **	8.90 **
果形指数	4.15 **	1.76	5.46 **
果实硬度	4.84 **	165.94 **	15.70 **
果肉厚	8.20 **	8.97 **	5.90 **
可溶性固形物含量	9.87 **	41.39 **	7.60 **

**表示果实性状间差异极显著($P<0.01$),G 表示一般配合力,S 表示特殊配合力。

2.3 果实性状一般配合力相对效应值的分析

如表 4 所示,单果质量的一般配合力相对效应值变化范围是-6.04~12.37,表现最差的亲本是 ZJ20433,表现为正向效应的亲本有 9 个,从大到小依次为 ZJ20437、ZJ20438、ZJ20436、ZJ20035、ZJ20441、ZJ20431、ZJ20439、ZJ20440、ZJ20434。单果质量较高的亲本有利于提高单株产量。果洼处木栓化大小的一般配合力相对效应值为-12.78~8.11,表现最差的亲本是 ZJ20431,表现为正向效应的亲本有 7 个,从大到小依次为 ZJ20440、ZJ20439、ZJ20437、ZJ20035、ZJ20441、ZJ20435、ZJ20434。果实纵径的一般配合力相对效应值变化范围

是-5.09~5.50,表现最差的亲本是 ZJ20438,表现为正向效应的亲本有 8 个,从大到小依次是 ZJ20440、ZJ20035、ZJ20436、ZJ20437、ZJ20432、ZJ20441、ZJ20431、ZJ20435。果实横径的一般配合力相对效应值变化范围是-5.10~4.35,表现最差的亲本是 ZJ20433,相对效应值为正值的亲本有 6 个,从大到小依次为 ZJ20440、ZJ20035、ZJ20437、ZJ20439、ZJ20431、ZJ20438。果形指数的一般配合力相对效应值的变化范围是-5.02~5.11,表现最差的亲本是 ZJ20438,相对效应值为正值的亲本有 8 个,从大到小依次是 ZJ20432、ZJ20436、ZJ20441、ZJ20435、ZJ20440、ZJ20035、ZJ20433、ZJ20437。果实硬度一般配合力相对效应值的变化范围是-13.33~26.44,表现最差的亲本是 ZJ20433,6 个相对效应值为正的亲本从大到小依次为 ZJ20037、ZJ20439、ZJ20437、ZJ20430、

ZJ20431、ZJ20440,若要选育硬度高、耐贮运的番茄应选择相对效应值较高的亲本。果肉厚的一般配合力相对效应值的变化范围是-10.99~14.06,表现最差的亲本是 ZJ20433,相对效应值为正值的亲本有 7 个,从大到小依次为 ZJ20430、ZJ20431、ZJ20432、ZJ20436、ZJ20434、ZJ20035、ZJ20437。可溶性固形物含量一般配合力相对效应值的变化范围是-6.32~5.68,表现最差的亲本是 ZJ20441,相对效应值为正值的亲本有 7 个,从大到小依次为 ZJ20436、ZJ20432、ZJ20433、ZJ20035、ZJ20431、ZJ20037、ZJ20438。从 8 个果实性状的相对效应值可以看出,母本 ZJ20431、ZJ20436、ZJ20437、ZJ20440 与父本 ZJ20035 表现突出,这 5 个亲本均有 5 个及以上性状的相对效应值大于 0。

表 4 一般配合力的相对效应值

Table 4 Relative effect values of general combining ability

亲本	单果质量	果洼处木栓化大小	果实纵径	果实横径	果形指数	果实硬度	果肉厚	可溶性固形物含量
ZJ20430	-1.47	-3.98	-2.94	-1.70	-0.62	4.16	14.06	-3.22
ZJ20431	2.18	-12.78	0.64	1.48	-0.21	3.90	9.24	1.82
ZJ20432	-4.93	-1.42	2.87	-1.62	5.11	-9.67	9.22	5.25
ZJ20433	-6.04	-3.32	-4.84	-5.10	0.48	-13.33	-10.99	4.39
ZJ20434	0.31	2.11	-2.95	-0.63	-1.94	-0.69	5.43	-0.86
ZJ20435	-1.34	2.24	0.29	-1.75	2.40	-4.14	-7.39	-0.43
ZJ20436	7.19	-8.85	3.79	-0.97	4.94	-0.05	6.85	5.68
ZJ20437	12.37	7.57	3.72	3.70	0.02	8.62	0.75	-4.72
ZJ20438	9.08	-2.36	-5.09	0.05	-5.02	-0.03	-8.91	0.43
ZJ20439	1.72	7.69	-2.73	2.43	-4.60	13.52	-7.30	0
ZJ20440	1.63	8.11	5.50	4.35	1.55	0.95	-2.55	-2.36
ZJ20441	2.80	5.42	2.62	-1.00	3.95	-0.90	-6.28	-6.32
ZJ20035	3.97	7.16	5.43	4.00	1.11	-14.73	5.26	3.22
ZJ20036	-1.31	-5.13	-0.36	-0.32	0	-11.13	0	-4.10
ZJ20037	-2.67	-1.65	-4.82	-3.84	0	26.44	-3.51	1.29

2.4 果实性状的特殊配合力相对效应值的分析

对 36 个组合的特殊配合力相对效应值进行分析,结果如表 5 所示。单果质量的特殊配合力相对效应值最大的组合是 ZJ20431×ZJ20035,其值为 22.19,特殊配合力相对效应值较高的组合还有 ZJ20440×ZJ20037、ZJ20441×ZJ20037 和 ZJ20437×

ZJ20035,表现最差的组合是 ZJ20440×ZJ20035,其值为-18.33。果洼处木栓化大小的特殊配合力相对效应值最大的组合是 ZJ20441×ZJ20037,其值为 32.46,组合 ZJ20431×ZJ20035、ZJ20433×ZJ20036、ZJ20436×ZJ20035 次之,而表现最差的组合是 ZJ20433×ZJ20035,其值为-25.43。果实纵径的特殊

配合力相对效应值的正向效应组合数有 17 个,其中效应值最大的组合是 ZJ20431×ZJ20035,其值为 12.84,另外组合 ZJ20434×ZJ20036、ZJ20437×ZJ20035 和 ZJ20436×ZJ20035 的效应值也较高,而组合 ZJ20433×ZJ20035 表现最差,其值为-13.65。果实横径的特殊配合力相对效应值最大的组合是 ZJ20431×ZJ20035,其值为 10.84,相对效应值较高的组合还有 ZJ20441×ZJ20037、ZJ20430×ZJ20036 和 ZJ20433×ZJ20036,表现最差的组合是 ZJ20431×ZJ20037。其值为-12.72。果形指数的特殊配合力相对效应值最大的组合是 ZJ20434×ZJ20036,其值为 10.84,相对效应值较高的组合还有 ZJ20440×ZJ20036、ZJ20436×ZJ20035、ZJ20432×ZJ20036,而表现最差的组合是 ZJ20440×ZJ20035,其值为-9.07。果实硬度的特殊配合力相对效应值最大的组合是 ZJ20438×ZJ20036,其值为 42.79,相对效应值较高的组合还有 ZJ20440×ZJ20036、ZJ20436×ZJ20035、

ZJ20431×ZJ20037,而表现最差的组合是 ZJ20436×ZJ20036,其值为-44.93。果肉厚的特殊配合力相对效应值最大的组合是 ZJ20441×ZJ20035,其值为 18.11,相对效应值较高的组合还有 ZJ20431×ZJ20036、ZJ20436×ZJ20037、ZJ20434×ZJ20036,而表现最差的组合是 ZJ20434×ZJ20037,其值为-23.81。可溶性固形物含量的特殊配合力相对效应值最大的组合是 ZJ20438×ZJ20035,其值为 8.25,相对效应值较高的组合还有 ZJ20430×ZJ20036、ZJ20431×ZJ20037 和 ZJ20432×ZJ20035,而表现最差的组合是 ZJ20441×ZJ20035,其值为-8.47。综合 8 个果实性状,组合 ZJ20431×ZJ20035、ZJ20436×ZJ20035、ZJ20438×ZJ20035、ZJ20439×ZJ20035、ZJ20433×ZJ20036、ZJ20435×ZJ20036、ZJ20433×ZJ20037 和 ZJ20441×ZJ20037 表现较优良。其中,组合 ZJ20431×ZJ20035 与 ZJ20433×ZJ20037 表现突出。

表 5 特殊配合力的相对效应值

Table 5 Relative effect value of special combining ability

组合	单果质量	果洼处木栓化大小	果实纵径	果实横径	果形指数	果实硬度	果肉厚	可溶性固形物含量
ZJ20430×ZJ20035	10.56	7.99	3.40	-0.39	3.69	-16.38	1.73	-0.64
ZJ20431×ZJ20035	22.19	20.24	12.84	10.84	2.00	0.01	-7.21	0.75
ZJ20432×ZJ20035	-1.95	4.18	-5.65	1.12	-6.46	-8.87	6.64	6.00
ZJ20433×ZJ20035	-8.28	-25.43	-13.65	-7.94	-5.53	4.36	-9.43	0.75
ZJ20434×ZJ20035	-9.23	-4.57	-13.03	-4.99	-7.63	5.39	9.80	4.07
ZJ20435×ZJ20035	-9.52	-3.25	-4.92	-2.58	-2.03	0.38	-8.54	3.64
ZJ20436×ZJ20035	5.40	13.16	12.13	3.44	8.38	27.05	-5.45	-3.75
ZJ20437×ZJ20035	14.66	-9.80	12.27	5.08	6.93	-6.05	4.02	-6.22
ZJ20438×ZJ20035	6.12	13.12	8.57	1.70	7.35	-31.08	-17.97	8.25
ZJ20439×ZJ20035	4.57	6.61	2.64	3.83	-0.54	14.35	1.90	-4.18
ZJ20440×ZJ20035	-18.33	-5.38	-10.82	-1.03	-9.07	-1.15	3.81	-0.86
ZJ20441×ZJ20035	-16.20	-17.67	-5.45	-7.88	3.10	9.79	18.11	-8.47
ZJ20430×ZJ20036	-7.69	7.45	0.82	7.14	-6.05	-2.50	-14.06	7.64
ZJ20431×ZJ20036	-5.27	-2.19	-5.09	2.03	-6.94	-25.17	15.18	-8.01
ZJ20432×ZJ20036	1.98	8.53	7.14	-0.34	7.42	-8.35	-12.87	-2.44
ZJ20433×ZJ20036	8.00	14.99	8.84	6.25	2.57	-20.11	-3.18	0.99
ZJ20434×ZJ20036	10.49	-2.30	12.65	1.62	10.84	-10.54	12.26	-8.23
ZJ20435×ZJ20036	12.03	4.80	6.98	1.34	5.86	-11.67	6.41	-0.30
ZJ20436×ZJ20036	9.08	2.37	-8.24	0.94	-9.02	-44.93	-9.94	1.31
ZJ20437×ZJ20036	-13.46	-0.89	-11.59	-6.25	-5.31	21.19	9.57	2.71

续表 5 Continued 5

组合	单果质量	果洼处木栓化大小	果实纵径	果实横径	果形指数	果实硬度	果肉厚	可溶性固形物含量
ZJ20438×ZJ20036	-13.36	-10.60	-9.68	-7.44	-2.72	42.79	4.70	-1.47
ZJ20439×ZJ20036	2.63	0.74	-1.35	0.77	-2.06	17.00	-10.25	0.24
ZJ20440×ZJ20036	-3.77	-8.18	4.22	-4.40	8.41	30.75	-1.10	0.67
ZJ20441×ZJ20036	-0.67	-15.21	-6.03	-0.95	-5.25	9.43	-5.23	3.35
ZJ20430×ZJ20037	-2.87	-15.86	-4.53	-6.59	1.26	18.33	10.57	-7.40
ZJ20431×ZJ20037	-16.93	-18.46	-8.07	-12.72	3.83	24.60	-9.73	6.86
ZJ20432×ZJ20037	-0.03	-13.12	-1.80	-0.62	-2.07	16.67	4.47	-3.97
ZJ20433×ZJ20037	0.28	10.03	4.48	1.84	1.86	15.19	10.85	-2.14
ZJ20434×ZJ20037	-1.27	6.46	0.06	3.54	-4.32	4.60	-23.81	3.75
ZJ20435×ZJ20037	-2.51	-1.97	-2.38	1.40	-4.94	10.74	0.37	-3.75
ZJ20436×ZJ20037	-14.48	-15.95	-4.21	-4.22	-0.46	17.33	13.64	2.04
ZJ20437×ZJ20037	-1.20	10.28	-1.00	1.33	-2.73	-15.69	-15.35	3.11
ZJ20438×ZJ20037	7.24	-2.93	0.80	5.89	-5.74	-12.27	11.51	-7.18
ZJ20439×ZJ20037	-7.20	-7.76	-1.61	-4.44	1.49	-31.90	6.60	3.54
ZJ20440×ZJ20037	22.10	13.15	6.28	5.59	-0.45	-30.16	-4.47	-0.21
ZJ20441×ZJ20037	16.87	32.46	11.16	8.99	1.04	-19.78	-14.63	4.72

2.5 杂交组合各性状的配合力总效应分析

配合力总效应是直观反映杂交组合的表现情况与评价杂交组合的重要指标^[19]。结果如表 6 所示,如果以提高单果质量和产量为目标,选用组合 ZJ20437×ZJ20035 和 ZJ20431×ZJ20035 效果佳;如果

以改善和培育高圆形果实、减小果洼处木栓化大小为目标,以组合 ZJ20434×ZJ20036 效果较好;若以提高果实品质和改善风味为选育目标,以组合 ZJ20432×ZJ20037 和 ZJ20436×ZJ20037 效果佳。

表 6 果实性状配合力总效应相对值

Table 6 Relative value of the total effect of combining ability of fruit traits

组合	单果质量	果洼处木栓化大小	果实纵径	果实横径	果形指数	果实硬度	果肉厚	可溶性固形物含量
ZJ20430×ZJ20035	13.06	11.18	5.88	1.91	4.18	-26.94	21.05	-0.64
ZJ20431×ZJ20035	26.21	14.62	18.91	16.33	2.91	-10.82	7.30	5.79
ZJ20432×ZJ20035	-5.04	9.92	2.64	3.51	-0.24	-33.27	21.12	14.47
ZJ20433×ZJ20035	-12.48	-21.58	-13.05	-9.04	-3.94	-23.70	-15.16	8.36
ZJ20434×ZJ20035	-7.08	4.70	-10.55	-1.62	-8.46	-10.03	20.49	6.43
ZJ20435×ZJ20035	-9.02	6.15	0.81	-0.33	1.48	-18.49	-10.67	6.43
ZJ20436×ZJ20035	14.43	11.47	21.35	6.46	14.43	12.27	6.67	5.14
ZJ20437×ZJ20035	28.87	4.93	21.42	12.78	8.06	-12.16	10.04	-7.72
ZJ20438×ZJ20035	17.04	17.92	8.91	5.75	3.44	-45.84	-21.61	11.90
ZJ20439×ZJ20035	8.12	21.46	5.34	10.27	-4.03	13.14	-0.14	-0.97
ZJ20440×ZJ20035	-14.87	9.89	0.10	7.32	-6.41	-14.93	6.53	0
ZJ20441×ZJ20035	-11.57	-5.09	2.60	-4.88	8.16	-5.84	17.09	-11.58
ZJ20430×ZJ20036	-10.47	-1.66	-2.48	5.12	-6.67	-9.47	0	0.32

续表 6 Continued 6

组合	单果质量	果洼处木栓化大小	果实纵径	果实横径	果形指数	果实硬度	果肉厚	可溶性固形物含量
ZJ20431×ZJ20036	-6.53	-20.10	-4.80	3.19	-7.15	-32.39	24.42	-10.29
ZJ20432×ZJ20036	-6.40	1.98	9.65	-2.28	12.53	-29.15	-3.65	-1.29
ZJ20433×ZJ20036	-1.48	6.54	3.65	0.83	3.05	-44.57	-14.18	1.29
ZJ20434×ZJ20036	7.35	-5.33	9.34	0.67	8.89	-22.35	17.68	-13.18
ZJ20435×ZJ20036	7.25	1.91	6.92	-0.73	8.26	-26.94	-0.98	-4.82
ZJ20436×ZJ20036	12.82	-11.61	-4.80	-0.35	-4.08	-56.11	-3.09	2.89
ZJ20437×ZJ20036	-4.54	1.55	-8.22	-2.87	-5.30	18.68	10.32	-6.11
ZJ20438×ZJ20036	-7.72	-18.09	-15.13	-7.71	-7.75	31.64	-4.21	-5.15
ZJ20439×ZJ20036	0.91	3.30	-4.43	2.88	-6.67	19.39	-17.54	-3.86
ZJ20440×ZJ20036	-5.59	-5.20	9.36	-0.37	9.96	20.57	-3.65	-5.79
ZJ20441×ZJ20036	-1.33	-14.91	-3.76	-2.27	-1.30	-2.59	-11.51	-7.07
ZJ20430×ZJ20037	-7.01	-21.49	-12.29	-12.13	0.64	48.93	21.12	-9.33
ZJ20431×ZJ20037	-19.55	-32.89	-12.25	-15.07	3.62	54.94	-4.00	9.97
ZJ20432×ZJ20037	-9.77	-16.20	-3.75	-6.08	3.05	33.44	10.18	2.57
ZJ20433×ZJ20037	-10.56	5.06	-5.17	-7.10	2.34	28.30	-3.65	3.54
ZJ20434×ZJ20037	-5.76	6.91	-7.70	-0.93	-6.26	30.36	-21.90	4.18
ZJ20435×ZJ20037	-8.66	-1.39	-6.90	-4.20	-2.53	33.04	-10.53	-2.89
ZJ20436×ZJ20037	-12.09	-26.45	-5.23	-9.03	4.48	43.72	16.98	9.00
ZJ20437×ZJ20037	6.36	16.20	-2.09	1.20	-2.71	19.37	-18.11	-0.32
ZJ20438×ZJ20037	11.52	-6.94	-9.11	2.11	-10.76	14.15	-0.91	-5.47
ZJ20439×ZJ20037	-10.29	-1.72	-9.15	-5.84	-3.11	8.06	-4.21	4.82
ZJ20440×ZJ20037	18.92	19.60	6.96	6.10	1.10	-2.77	-10.53	-1.29
ZJ20441×ZJ20037	14.86	36.23	8.96	4.15	4.99	5.77	-24.42	-0.32

2.6 果实性状相关遗传参数的分析

对 36 个杂交组合的 8 个果实性状的相关遗传参数进行估算分析,结果见表 7。结果表明:单果质量的环境方差大,即该性状受温度、光照、水、土壤等环境因素影响较大,容易随环境的变化而改变,在选择育种时要考虑到环境因素的影响。果洼处木栓化大小和果形指数的一般配合力方差较高,分别是 60.71% 和 60.87%,而特殊配合力方差均小于 40.00%,表明这 2 个性状主要受到一般配合力的影响,其遗传给后代的能力强,可通过有性杂交育种等方法加以利用。果肉厚和可溶性固形物含量的特殊配合力方差比一般配合力方差大,分别为 83.57% 和 64.91%,表明特殊配合力在这 2 个性状的遗传中占主导地位,可通过优势杂交育种加以利用。单果质量、果实纵径、果实横径和果实硬度这些性状的一

般配合力方差与特殊配合力方差较接近,即上述指标主要受加性效应与非加性效应共同影响。遗传力分析结果显示,除果形指数外的 7 个性状的广义遗传力较大(均在 50.00% 以上),而狭义遗传力相对偏低,特别是果肉厚,狭义遗传力只有 8.95%,说明这些性状的显著效应显著,遗传给后代的能力较弱,所以这几个性状适合在连续自交后的晚期世代进行选择。

3 讨论

本研究中 8 个果实性状的组合基因型效应间均存在极显著差异,8 个性状配合力方差分析结果显示,果形指数仅在父本的一般配合力中无显著差异,而聂中欣^[13]与田硕等^[15]的研究结果却表明果形指数的一般配合力与特殊配合力均有极显著差异;本

研究中除果形指数外,果肉厚等 7 个果实性状的父本、母本的一般配合力和母本×父本的特殊配合力均有极显著差异,表明这些性状配合力均受加性效应与非加性效应影响^[20],但 Aisya 等^[21]却发现果肉

厚的特殊配合力无显著差异。可见同一性状在不同亲本及其配制的组合中配合力方差分析结果存在差异,这与亲本材料的特性以及环境有关。

表 7 果实性状的相关遗传参数

Table 7 Related genetic parameters of fruit traits

性状	环境方差	GCA 方差 (%)	SCA 方差 (%)	广义遗传力 (%)	狭义遗传力 (%)
单果质量	107.03	42.58	57.42	74.51	31.73
果洼处木栓化大小	0.02	60.71	39.29	65.86	39.98
果实纵径	0.12	55.43	44.57	67.79	37.58
果实横径	0.10	56.86	43.14	60.22	34.24
果形指数	0	60.87	39.13	33.82	20.59
果实硬度	0.12	53.69	46.31	86.41	46.40
果肉厚	0.01	16.44	83.57	54.48	8.95
可溶性固形物含量	0.09	35.10	64.91	67.17	23.57

GCA:一般配合力;SCA:特殊配合力。

配合力是进行品种创新研究的核心问题,是评价自交系在杂交组配中实际表现的重要指标^[22-25]。一般配合力主要受亲本的累加基因效应影响,可稳定遗传^[26];特殊配合力主要受非累加基因效应控制,受基因的显性效应、上位性效应以及基因与环境互作效应共同影响^[27]。本研究通过对 12 个母本、3 个父本以及配制的 36 个组合的 8 个果实性状进行一般配合力与特殊配合力相对效应值的估算与分析,筛选出表现较优的 4 个母本(分别为 ZJ20431、ZJ20436、ZJ20437、ZJ20440)与 1 个父本(ZJ20035);8 个特殊配合力较高的组合分别为 ZJ20431×ZJ20035、ZJ20436×ZJ20035、ZJ20438×ZJ20035、ZJ20439×ZJ20035、ZJ20433×ZJ20036、ZJ20435×ZJ20036、ZJ20433×ZJ20037 和 ZJ20441×ZJ20037。其中母本 ZJ20431 与父本 ZJ20035 的一般配合力及其配制组合 ZJ20431×ZJ20035 的特殊配合力均较高,而后面的部分组合不符合这一规律。由此可见,特殊配合力较高的组合未必全部来自一般配合力高的亲本,即杂交组合优势要经过多个世代来验证^[10,15,28]。

果实性状的遗传会受到多对基因及环境的影响,因此果实性状的连续变异是基因型及所处环境共同作用的结果^[29]。本研究对 8 个果实性状的遗传力进行分析,结果显示,除果形指数外的其余性状广义遗传力较大,狭义遗传力普遍偏低,适用于优势

杂交。而果形指数的广义遗传力与狭义遗传力分别为 33.82% 和 20.59%,王晓敏等^[3]的研究结果表明番茄果形指数广义遗传力与狭义遗传力分别为 29.80% 和 12.25%,与本研究结果相近,而田硕等^[15]的相应研究结果却分别为 84.59% 和 70.70%,与本研究结果相差较大。果形指数作为一个二级指标,是果实纵径与横径的比值,因此其遗传特性会受到纵径与横径 2 个性状的影响。有研究结果表明,大果番茄果实纵径受非加性效应控制,果实横径主要受加性效应控制^[11],而本研究结果显示,果实纵径与横径可能主要受加性效应影响,且广义遗传力与狭义遗传力均不高。与大果番茄不同的是,樱桃番茄果实纵径与横径均主要受加性效应影响^[10,30],可见番茄果实横径可能主要受加性效应影响。关于番茄果形遗传机制的研究结果显示,*SUN*、*OVATE* 和 *fs8.1* (QTL) 主要调节果实纵径,增加果实长度^[31-33]; *LC* 和 *FAS* 主要通过调节增加果实心室数促使横径增大^[34-36]。由此可见,调节番茄果实纵径与横径的基因不同,其遗传效应也不同,而关于番茄果实纵径的遗传机理目前尚无明确解释,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] TANG Q, ZHU F, CAO X, et al. *Cryptococcus laurentii* controls gray mold of cherry tomato fruit via modulation of ethylene-associated immune responses [J]. Food Chemistry, 2019 (278): 240-

- 247.
- [2] 张倩男. 基于表型性状及 SSR、SNP 标记的樱桃番茄种质资源遗传多样性分析[D]. 银川:宁夏大学, 2018.
- [3] 王晓敏,赵宇飞,袁东升,等. 三十三个番茄自交系数量性状的配合力和遗传力分析[J]. 浙江农业学报, 2019, 31(12): 2025-2035.
- [4] 王志强,刘声锋,王炬春,等. 8 个西瓜亲本材料主要农艺性状的配合力和遗传力分析[J]. 西北农业学报, 2018, 27(11): 1615-1621.
- [5] 罗黎明,蒋辅燕,高连彰,等. 20 个新选玉米自交系产量和穗部性状配合力及其相关性研究[J]. 西南农业学报, 2021, 34(10): 2084-2092.
- [6] 林鑫,吴林宣,王慧,等. 水稻两系不育系‘M20S’穗部性状配合力和遗传力分析[J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(1): 8-14.
- [7] 俞华先,经艳芬,安汝东,等. 部分甘蔗生产性亲本及杂交组合的遗传力和配合力分析[J]. 西南农业学报, 2019, 32(2): 246-252.
- [8] 沈佳,寿伟松,张跃建. 甜瓜果实主要品质性状的配合力及遗传力分析[J]. 浙江农业学报, 2017, 29(2): 244-250.
- [9] 杨信程,苏江硕,孙炜,等. 切花小菊主要分枝性状的配合力与遗传力分析[J]. 园艺学报, 2018, 45(10): 1952-1960.
- [10] 赵宇飞,王晓敏,袁东升,等. 18 个樱桃番茄自交系数量性状的配合力和遗传力分析[J]. 西北农业学报, 2019, 28(12): 2011-2018.
- [11] 于分弟. 番茄杂交一代杂种优势表现、遗传效应及性状相关性的研究[D]. 南宁:广西大学, 2012.
- [12] 田园,张喜春,谷建田. 番茄亲本完全双列杂交后糖组分的配合力及遗传力分析[J]. 中国农学通报, 2016, 32(16): 46-50.
- [13] 聂中欣. 番茄优良自交系杂种优势及配合力分析[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2021.
- [14] 任媛. 番茄优良自交系杂种优势及配合力分析[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2020.
- [15] 田硕,张喜春. 番茄果实主要品质性状的配合力及遗传力分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(13): 112-117.
- [16] 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.
- [17] 黄远樟,刘来福. 作物数量遗传学基础——六、配合力:不完全双列杂交[J]. 遗传, 1980, 2(2): 43-46.
- [18] 易红华. 10 个甜玉米自交系的配合力分析[D]. 重庆:西南大学, 2020.
- [19] 罗俊,周会,张木清,等. 能源甘蔗主要经济和光合性状的遗传分析[J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(3): 268-273.
- [20] 金兰,赵丽萍,王银磊,等. 番茄的配合力和杂种优势群的划分[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(3): 667-675.
- [21] AISYA S I, WAHYUNI S, SYUKUR M, et al. The estimation of combining ability and heterosis effect for yield and yield components in tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) at Lowland [J]. Journal of Crop Breeding and Genetics, 2016, 2(1): 23-29.
- [22] 贺囡囡,蒙云飞,韦桂旺,等. 8 个糯玉米自交系 11 个农艺性状的配合力分析及其评价[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(16): 76-80.
- [23] 进茜宁,李威,王平喜,等. 玉米自交系的配合力及相关性分析[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(6): 68-72.
- [24] 唐仕云,杨荣仲,杨祖丽,等. 不同环境下甘蔗亲本配合力及组合遗传值分析[J]. 南方农业学报, 2021, 52(2): 348-355.
- [25] 高华洋,陈新叶,姜龙,等. 10 份 Iodent 种质玉米自交系宜机收性状配合力分析[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(6): 66-71.
- [26] 鲍遵宇. 苦瓜三交杂种优势、配合力及遗传距离关系研究[D]. 南宁:广西大学, 2018.
- [27] 陈泽辉,刘文欣,雍洪军,等. 玉米育种的数量遗传学[M]. 北京:科学出版社, 2019: 304-305.
- [28] 贾秀苹,卯旭辉,岳云,等. 向日葵主要农艺与品质性状配合力及杂种优势分析[J]. 西北农业学报, 2017, 26(9): 1334-1343.
- [29] MURTADHA M A, ARIYO O J, ALGHAMDI S S. Analysis of combining ability over environments in diallel crosses of maize (*Zea mays*) [J]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2018, 17(1): 69-78.
- [30] 杨永政. 樱桃番茄主要数量性状的遗传研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2006.
- [31] BÜRSTENBINDER K, SAVCHENKO T, MILLER J, et al. Arabidopsis calmodulin-binding protein IQ67-domain 1 localizes to microtubules and interacts with kinesin light chain-related protein-1 [J]. The Journal of Biological Chemistry, 2013, 288(3): 1871-1882.
- [32] SUN L, RODRIGUEZ G R, CLEVENGER J P, et al. Candidate gene selection and detailed morphological evaluations of *fs8.1*, a quantitative trait locus controlling tomato fruit shape [J]. Journal of Experimental Botany, 2015, 66(20): 6471-6482.
- [33] WU S, CLEVENGER J P, SUN L, et al. The control of tomato fruit elongation orchestrated by *sun*, *ovate* and *fs8.1* in a wild relative of tomato [J]. Plant Science, 2015, 238: 95-104.
- [34] MUÑOZ S, RANCI N, BOTTON E, et al. Increase in tomato locule number is controlled by two single-nucleotide polymorphisms located near *WUSCHEL* [J]. Plant Physiology, 2011, 156(4): 2244-2254.
- [35] XU C, LIBERATORE K L, MACALISTER C A, et al. A cascade of arabinosyltransferases controls shoot meristem size in tomato [J]. Nature Genetics, 2015, 47(7): 784-792.
- [36] 张婷婷,薛婉钰,刘娜,等. 几种主要果菜类蔬菜果形遗传及其调控机制研究进展[J]. 园艺学报, 2022, 49(10): 2189-2204.

(责任编辑:陈海霞)