

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.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.03.023

番茄的配合力和杂种优势群的划分

金 兰^{1,2}, 赵丽萍², 王银磊², 徐丽萍³, 周 蓉², 宋刘霞², 崔 霞⁴, 李 仁⁴,
赵统敏², 余文贵^{1,2}

(1. 南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095; 2. 江苏省农业科学院蔬菜研究所, 江苏 南京 210014; 3. 西宁市蔬菜研究所, 青海 西宁 810003; 4. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081)

摘要: 本研究筛选出 14 个番茄亲本, 采用 Griffing 完全双列杂交设计组配 105 个杂交组合, 对 13 个性状进行统计, 分析配合力及杂种优势, 划分优势群确定杂种优势。结果表明, F_1 的杂种优势在大部分的性状中均存在, F_1 除果实硬度和纵径外的 11 个性状值均显著大于亲本。亲本 11 和亲本 8 的单株产量、单果质量等性状的一般配合力最大, 亲本 1×亲本 11、亲本 4×亲本 11 和亲本 1×亲本 4 的产量性状均具有较高的一般配合力和特殊配合力。配合力与杂种优势相关性分析结果表明, 大部分性状杂种优势与特殊配合力显著相关, 单株产量的一般配合力与杂种优势显著相关。一般配合力聚类分析和 F_1 的性状表现聚类分析 2 种方法划分优势类群, 结果证明一般配合力聚类分析方法是有效的, 它将 14 个亲本划分为 5 个优势群, 并确定了优势群 1(HG1)×优势群 2(HG2), 优势群 1(HG1)×优势群 5(HG5) 和优势群 2(HG2)×优势群 5(HG5) 这 3 个杂优模式。本研究揭示了一般配合力分析法可以作为番茄杂交育种优势群划分的一种重要方法, 并为番茄杂交育种中亲本的选择提供指导。

关键词: 番茄; 配合力; 杂种优势; 杂种优势群; 杂优模式

中图分类号: S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)03-0667-09

Combining ability and division of heterotic group in tomato

JIN Lan^{1,2}, ZHAO Li-ping², WANG Yin-lei², XU Li-ping³, ZHOU Rong², SONG Liu-xia², CUI Xia⁴,
LI Ren⁴, ZHAO Tong-min², YU Wen-gui^{1,2}

(1. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Institute of Vegetables Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3. Xining Vegetable Research Institute, Xining 810003, China; 4. The Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: In this study, 14 representative parents of tomato were screened out and 105 cross combinations were designed by Griffing complete diallel cross method. Based on 13 traits, the heterosis, general combining ability (GCA) and special combining ability (SCA) were estimated, and heterotic groups and heterotic patterns were identified. The results indicated that heterosis of F_1 existed in most traits, and the average values of 11 traits except for hardness and longitudinal diameter of F_1 were significantly higher than those of parents. The GCA of traits such as yield per plant and individual fruit

weight of parent 11 and parent 8 was highest. The yield traits of parent 1 × parent 11, parent 4 × parent 11 and parent 1 × parent 4 showed the higher GCA and SCA. The results of correlation analysis showed that the heterosis of most traits was significantly correlated with the SCA, and the GCA of yield per plant was significantly correlated with the heterosis. Two methods of GCA cluster analysis and F_1 performance cluster analysis were used to classify heterotic

收稿日期: 2018-10-18

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0101703); 青海省科技计划项目(2017-HZ-808); 江苏省现代农业产业技术体系建设项目[JATS(2018)264]

作者简介: 金 兰(1994-), 女, 安徽安庆人, 硕士研究生, 从事蔬菜遗传育种研究。(E-mail) 1597545675@qq.com

通讯作者: 余文贵, (E-mail) wenguiyu@jass.ac.cn; 赵统敏, (E-mail) tmzhaomail@163.com

groups. Five heterotic groups and three heterotic patterns were identified based on GCA cluster analysis method. In conclusion, GCA cluster analysis method can be used as an important way for the division of heterotic groups and provide guidance for the selection of parents in tomato cross breeding.

Key words: tomato; combining ability; heterosis; heterotic group; heterotic pattern

番茄是茄科番茄属的草本植物,含有丰富的营养物质(如维生素 A、维生素 C 和番茄红素等),种植面积广,但生产水平仍然不能满足市场需求。提高产量和品质是番茄育种的主要育种目标,而杂交育种对番茄产量和品质的提高具有重要意义。亲本的选择和组配是杂交育种的重要组成部分,分析亲本的配合力并根据配合力来选择亲本和评价杂交组合,是常用的亲本选配方法。研究表明,亲本配合力的高低对杂种优势强弱有影响,高产强优势组合的选育不仅跟亲本的一般配合力水平有关,而且与两亲本之间的特殊配合力有关^[1-3]。杂种优势利用的理论基础是杂种优势群和杂种优势模式,杂种优势群的划分和杂种优势模式的确定被很多研究结果证明对玉米、水稻等作物的育种具有明显提高育种效率,加速育种进程等作用^[4-5],也是杂种优势利用的一种途径。在作物中,杂种优势群的划分在育种中最早得到研究和验证的作物是玉米,美国是最早研究玉米杂种优势群的国家,也是最早形成杂种优势群和杂种优势模式的国家,而有关番茄杂种优势群的划分和杂种优势群的确定的研究很少。

划分优势群的方法有很多,如系谱分析法、数量遗传学方法、生化标记分析法、分子标记法以及多种方法综合利用。国内育种家通常分析种质农艺性状的配合力,根据配合力进行聚类分析,并结合系谱来源、杂种优势来划分杂种优势群和确定杂种优势模式^[6-7]。配合力分析法是从遗传学角度对亲本进行分析,将亲本进行双列杂交,选取相应杂种一代的相关性状,计算其一般配合力和特殊配合力,然后根据配合力值进行聚类,划分杂种优势群。Wang 等^[8]基于分子标记、产量优势和配合力分析将 17 个水稻亲本材料划分为 4 个优势群并确定为 3 个杂种优势模式。虽然每种分析方法都具有局限性,但都为之后杂种优势群的划分提供了很好的参考。

本研究基于前期的 324 份栽培番茄的遗传多样性分析,筛选 14 个番茄代表,通过 Griffing 完全双列杂交 $[p(p+1)/2]$ 组配,并计算配合力和杂种优势,评价 14 个栽培番茄的杂种优势和配合力,确定番茄

的杂种优势群和杂优模式,为以后番茄的杂种优势群划分提供指导。

1 材料和方法

1.1 材料

本试验选用 14 个性状不同的栽培番茄材料: 228、CLN2498D、AVTO1174、9V5F224、H24、BJF3、LH18-330、SY-Cheng、B072、LH18-250、LH18-294、LA2010、31 号大红、VFN 作为亲本,亲本性状见表 1。2017 年秋季在江苏省农业科学院六合试验基地播种亲本材料,花期进行人工去雄授粉,按照 Griffing 完全双列杂交 $[p(p+1)/2]$,配制 105 个杂交组合。

1.2 方法

2018 年 1 月 5 日,将 105 个杂交组合和 14 个亲本材料播种于江苏省农业科学院六合试验基地,于 2018 年 3 月 9 号将番茄苗定植于大棚中,设计为随机区组,2 次重复,每个重复 10 株,每个小区 2 行,常规管理。在番茄生长期,依据《番茄种质资源描述规范和数据标准》^[9]统计熟性性状(始花期、坐果期和始收期),产量性状(单果质量、单株产量、第一穗坐果数、纵横径)和果实品质(果实硬度、果肉厚度、可溶性固形物和酸含量)。

1.3 数据处理

数据处理采用 SPSS v16.0 和 Microsoft Office Excel 软件。

2 结果与分析

2.1 亲本和 F_1 的性状

14 个亲本与 105 个杂种一代的主要农艺性状表现如表 2 所示。13 个性状中除了硬度和纵径, F_1 的表现值都大于亲本。其中, F_1 的单株产量,单果质量,果肉厚度和可溶性固形物含量明显大于亲本; F_1 的熟性值(始花期,坐果期和始收期)和首花节位与亲本差异不明显。结果表明番茄亲本杂交能有效改良单株产量,单果质量,果肉厚度和可溶性固形物含量,其中硬度的降低可能与可溶性固形物含量的提高有关。

表 1 供试亲本性状
Table 1 Traits of test parents

亲本序号	品种名称	性状			
		果实形状	果实类型	果实颜色	生长型
亲本 1	228	扁圆形	中	红色	无限生长
亲本 2	CLN2498D	长圆形	中	红色	无限生长
亲本 3	AVT01174	卵圆形	小	橙色	无限生长
亲本 4	9V5T-224	扁圆形	大	粉红色	无限生长
亲本 5	H24	扁圆形	中	橙色	有限生长
亲本 6	BJF3	卵圆形	中	红色	无限生长
亲本 7	LH18-330	扁圆形	大	红色	无限生长
亲本 8	SY-Cheng	高圆形	中	橙色	有限生长
亲本 9	B072	扁圆形	大	红色	有限生长
亲本 10	LH18-250	扁圆形	中	黄色	有限生长
亲本 11	LH18-294	扁圆形	大	粉红色	无限生长
亲本 12	LA2010	扁圆形	中	红色	有限生长
亲本 13	31 号大红	高圆形	大	红色	无限生长
亲本 14	VFN	圆形	大	红色	无限生长

表 2 14 个亲本和 105 个杂种一代的 13 个性状表现
Table 2 Characters performance of 14 parents and 105 hybrids

特征	亲本			F ₁		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
单株产量(g)	264.58	1 410.33	873.80	300.48	2 448.75	1 244.08
单果质量(g)	41.52	153.41	74.01	21.25	157.38	84.70
第一穗坐果数(个)	0.20	3.50	2.20	0	8.25	2.83
果肉厚度(mm)	4.12	8.66	6.85	4.55	9.88	7.23
首花节位(个)	4.50	8.75	6.44	4.40	9.25	6.59
始花期(d)	73.00	95.00	83.75	72.00	102.00	85.02
坐果期(d)	93.00	106.00	100.39	93.00	117.00	100.93
始收期(d)	136.00	152.00	144.00	124.50	160.00	144.15
可溶性固形物含量(%)	3.12	4.71	3.87	3.10	6.02	3.96
酸含量(%)	0.54	1.07	0.71	0.44	1.09	0.75
硬度(N)	4.72	10.99	6.79	3.00	10.19	6.54
纵径(mm)	35.72	70.63	53.84	39.21	87.68	53.02
横径(mm)	40.22	80.10	53.80	34.37	74.08	55.96

2.2 F₁主要性状杂种优势

从表 3 可以看出,番茄的 13 个性状的超亲优势普遍存在,无优势的占比很少。除始收期、硬度和纵径外的 10 个农艺性状的正向超中优势比例大于负

向超中优势;番茄的单株产量和第一穗坐果数的正向超高优势的占比大于负向超高优势。不同性状的杂种优势程度不同,对各性状的平均超中优势值进行排序,得到:单果质量>单株产量>第一穗坐果数>

果肉厚度>横径>首花节位>酸含量>可溶性固形物含量>始花期>坐果期>始收期>纵径>硬度;超高优势的强弱顺序为:单株产量>第一穗坐果数>酸含量>单果质量>始花期>果肉厚度>可溶性固形物含量>横径>首花节位>始收期>坐果期>硬度>纵径。单株产量超中优势值和超高优势值靠前,说明单株产量的杂种优势明显,并且获得正向杂种优势比较容易;纵径和硬度的超中优势和超亲优势都靠后,说明纵径和硬度的负向杂种优势明显。番茄 F_1 的 13 个性状的超中优势中,10 个性状为正向超中优势,

占总体性状的 76.92%,2 个性状为负向超高亲优势,占比 15.38%,这表明 10 个性状要获得具有正向超中优势的 F_1 比较容易,而获得正向超高亲优势需要特殊亲本的选配。从标准差可以看出,13 个性状杂种优势的变异幅度较大,其中第一穗坐果数超中优势和超高优势标准差最大,表明杂交组合第一穗坐果数杂种优势上表现出最大差异;坐果期和始收期的超中优势和超高优势标准差靠后,表明杂交组合在坐果期和始收期的杂种优势上变异小。

表 3 F_1 的主要性状的超中优势和超高优势

Table 3 Heterosis of main characters of hybrids

特征	超中优势						超高优势					
	正向优势	无优势	负向优势	平均值	变幅	标准差	正向优势	无优势	负向优势	平均值	变幅	标准差
单株产量	76	0	29	0.50	-0.55~2.51	0.65	66	0	38	0.22	-0.66~1.71	0.48
单果质量	79	0	26	0.16	-0.56~2.12	0.35	50	0	55	0	-0.65~2.12	0.34
第一穗坐果数	69	1	35	0.47	-1.00~4.81	0.94	52	3	50	0.11	-1.00~3.38	0.64
果肉厚度	69	0	36	0.06	-0.33~0.39	0.14	44	0	61	-0.02	-0.34~0.35	0.13
首花节位	65	1	39	0.03	-0.3~0.39	0.15	34	2	69	-0.05	-0.33~0.39	0.15
始花期	57	1	47	0.01	-0.15~0.23	0.08	44	2	59	-0.02	-0.23~0.21	0.08
坐果期	53	5	47	0.01	-0.08~0.26	0.05	31	8	66	-0.01	-0.11~0.26	0.04
始收期	47	3	55	0	-0.10~0.15	0.04	31	10	64	-0.01	-0.12~0.15	0.05
可溶性固形物含量	62	0	43	0.02	-0.24~0.34	0.10	41	2	62	-0.03	-0.28~0.28	0.10
酸含量	64	0	41	0.08	-0.37~1.02	0.23	51	0	54	-0.41	-0.41~1.02	0.25
硬度	45	0	60	-0.02	-0.47~0.51	0.20	30	0	75	-0.10	-0.59~0.48	0.22
纵径	46	0	59	-0.01	-0.28~0.24	0.10	15	0	90	-0.09	-0.32~0.24	0.11
横径	66	0	39	0.05	-0.28~0.50	0.13	39	0	66	-0.03	-0.41~0.50	0.14

2.3 番茄主要性状的方差分析

从表 4 可知,亲本性状中,只有第一穗坐果数 F 值没有显著性,其他性状都达到了显著水平,说明调查的 13 个性状中除了第一穗坐果数外均在亲本间存在差异。从杂交组合来看,只有酸含量的 F 值没有显著性,说明除了酸含量以外其他 12 个性状中杂交组合间存在着真实的遗传差异,可以按照 Griffing 2 固定模型和随机模型进行配合力分析。

从表 5 可以看出,杂交组合间的可溶性固形物含量的特殊配合力没有显著性差异,其他性状的一般配合力和特殊配合力均为显著或极显著差异,说明除了可溶性固形物含量的特殊配合力外,其他性状的特殊配合力都存在真实差异,需要进一步做配合力效应分析。

2.4 性状的一般配合力分析和特殊配合力分析

从表 6 可以看出,亲本 11 和亲本 8 的单株产量、单果质量、始花期、坐果期、始收期和横径的一般配合力值均最大,说明亲本 11 用于番茄提高产量,延迟生殖生长和增大横径的效果最好;亲本 13 的果肉厚度和纵径的一般配合力大,说明亲本 13 用来提高番茄果肉和纵径的效果最好;亲本 3 的硬度和可溶性固形物含量的一般配合力值最大,说明亲本 3 对提高番茄的硬度和可溶性固形物含量的效果最好。亲本 1 的坐果期和始收期的一般配合力为最小,说明亲本 1 对选配早熟品种效果最好。同时可以看出,不同性状,亲本一般配合力效应的差异显著性不同,其中亲本 1 一般配合力效应的差异显著性最好,亲本 9 一般配合力效应的差异显著性最差。

表 4 13 个性状的方差分析
Table 4 Variance analysis of 13 traits

性状	亲本				杂交组合			
	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
单株产量	13	238 075.217	4.297	0.007 **	104	458 325.813	8.826	0 **
单果质量	13	1 801.714	11.796	0 **	104	1 634.811	16.658	0 **
第一穗坐果数	13	2.506	1.941	0.122	104	3.694	4.584	0 **
果肉厚度	13	2.412	5.468	0.002 **	104	1.717	6.653	0 **
首花节位	13	2.821	5.765	0.002 **	104	1.553	3.291	0 **
始花期	13	80.418	7.607	0 **	104	77.490	8.159	0 **
坐果期	13	36.516	6.440	0.001 **	104	35.039	4.707	0 **
始收期	13	48.091	4.938	0.004 **	104	49.212	2.719	0 **
可溶性固形物含量	13	0.616	8.930	0 **	104	0.710	4.120	0 **
酸含量	13	0.067	4.056	0.008 **	104	59.855	1.002	0.496
硬度	13	5.553	12.000	0 **	104	6.766	8.783	0 **
纵径	13	277.124	8.890	0 **	104	156.320	9.960	0 **
横径	13	190.028	11.948	0 **	104	195.039	6.600	0 **

df 为自由度, *MS* 为均方, *F* 为 *F* 统计量, *P* 为概率。* 表示在 0.05 水平上有显著差异, ** 表示在 0.01 水平上有显著差异。

表 5 12 个性状的配合力方差分析
Table 5 Variance analysis of combining ability of 12 agronomic traits

性状	一般配合力			特殊配合力		
	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>
单株产量	13	682 715.65	26.29 **	91	159 588.88	6.15 **
单果质量	13	4 903.68	99.93 **	91	255.03	5.20 **
第一穗坐果数	13	4.93	12.24 **	91	1.35	3.36 **
果肉厚度	13	4.52	35.00 **	91	0.35	2.70 **
首花节位	13	2.81	11.91 **	91	0.48	2.03 **
始花期	13	134.56	28.34 **	91	25.45	5.36 **
坐果期	13	30.50	8.19 **	91	15.74	4.23 **
始收期	13	73.10	8.08 **	91	17.70	1.96 **
可溶性固形物含量	13	1.11	12.88 **	91	0.11	1.24
硬度	13	6.15	15.97 **	91	0.90	2.35 **
纵径	13	286.12	36.46 **	91	17.76	2.26 **
横径	13	315.82	21.37 **	91	21.87	1.48 *

df 为自由度, *MS* 为均方, *F* 为 *F* 统计量。* 表示在 0.05 水平上有显著差异, ** 表示在 0.01 水平上有显著差异。

从表 7 可以看出,单株产量的特殊配合力中,组合亲本 7×亲本 8 最好,并且亲本 8 的特殊配合力较高,所以此组合为较好的番茄材料。在选育番茄品种时,以选择一般配合力较高的前提下选择高特殊配合力为准则,提高番茄单株产量的较好组合还有:亲本 1×亲本 11,亲本 4×亲本 11,亲本 1×亲本 4,亲本 1×亲本 13,亲本 1×亲本 14,亲本 4×亲本 8,亲本 4×亲本

13,亲本 4×亲本 14。单果质量的一般配合力和特殊配合力均较高的组合为:亲本 1×亲本 4,亲本 1×亲本 11,亲本 4×亲本 7,亲本 4×亲本 11,亲本 6×亲本 7,亲本 6×亲本 8 和亲本 11×亲本 13。果肉厚度的配合力中,亲本 13 和亲本 14 最大,并且亲本 13 的一般配合力最大,亲本 14 其次,所以亲本 13 和亲本 14 是提高番茄果肉厚度最好的选育亲本。

表 6 一般配合力效应及其差异显著性检验

Table 6 General combining ability effect and significant difference test for 14 parents

亲本	单株产量	单果质量	第一穗坐果数	果肉厚度	首花节位	始花期	坐果期	始收期	可溶性固形物含量	硬度	纵径	横径
亲本 1	172.76 **	6.32 **	0.38 *	0.20 *	0.30 *	-1.33 *	-2.34 **	-3.30 **	-0.17 *	-0.35 *	-3.35 **	3.16 **
亲本 2	-33.02	-9.17 **	0.69 **	0.01	0.72 **	2.51 **	0.16	0.45	0.00	0.67 **	2.80 **	-3.50 **
亲本 3	-387.99 **	-31.72 **	0.21	-0.76 **	0.31 **	0.82	0.34	-2.58 **	0.54 **	1.40 **	-3.62 **	-8.94 **
亲本 4	167.50 **	5.98 **	0.49 **	0.05	0.17	0.79	-0.91	0.51	-0.24 **	-0.33 *	-0.23	1.05
亲本 5	-428.96 **	-19.72 **	-1.10 **	-1.01 **	-0.16	0.79	1.41 **	0.23	-0.19 **	-0.68 **	-5.49 **	-3.80 **
亲本 6	-9.01	3.73 *	-0.33 *	0.33 **	0.46 **	2.04 **	0.31	1.14	-0.21 **	0.73 **	2.51 **	-0.31
亲本 7	-25.79	17.34 **	-0.55 **	-0.02	-0.11	0.38	0.06	0.45	0.12	-0.30 *	-0.30	3.71 **
亲本 8	186.41 **	16.30 **	-0.63 **	0.17 *	0.31 **	0.88	2.06 **	3.36 **	0.06	-0.02	3.41 **	4.08 **
亲本 9	-2.71	-1.31	0.13	-0.29 **	-0.32 **	-0.05	-0.47	0.45	0.20 **	-0.02	0.75	1.11
亲本 10	-61.37	-9.46 **	0.32 *	-0.06	-0.74 **	1.29 *	-0.09	-0.99	0.48 **	-0.49 **	-5.65 **	0.56
亲本 11	337.51 **	36.01 **	-0.18	0.58 **	0.00	5.35 **	2.78 **	3.86 **	-0.20 **	0.11	3.18 **	8.76 **
亲本 12	-32.27	-19.49 **	0.92 **	-0.57 **	0.00	-4.77 **	-1.22 *	-3.02 **	0.06	-0.99 **	-3.87 **	-5.47 **
亲本 13	65.96	8.42 **	-0.30	1.00 **	-0.22	-3.05 **	-1.41 **	0.95	-0.27 **	0.18	9.72 **	0.02
亲本 14	51.01	-3.23	-0.04	0.37 **	-0.71 **	-5.65 **	-0.75	-1.58 *	-0.19 **	0.09	0.11	-0.43

* 表示在 0.05 水平上有显著差异, ** 表示在 0.01 水平上有显著差异。

表 7 亲本间的 11 个性状特殊配合力

Table 7 Special combining ability effect of 11 traits parents between

性状	正向配合力	负向配合力	最大值及组合	最小值及组合
单株产量	47	58	870.5(亲本 7×亲本 8)	-981.6(亲本 13×亲本 14)
单果质量	58	47	40.1(亲本 8×亲本 8)	-43.7(亲本 4×亲本 10)
第一穗坐果数	49	56	4.9(亲本 3×亲本 10)	-2.4(亲本 2×亲本 5)
果肉厚度	53	52	1.3(亲本 13×亲本 14)	-1.6(亲本 11×亲本 11)
首花节位	47	58	2.3(亲本 6×亲本 7)	-1.2(亲本 5×亲本 11)
始花期	55	50	14.7(亲本 13×亲本 14)	-9.9(亲本 9×亲本 8)
坐果期	49	56	11.9(亲本 8×亲本 8)	-7.2(亲本 3×亲本 10)
始收期	52	53	10.2(亲本 9×亲本 1)	-17.5(亲本 3×亲本 9)
硬度	54	51	2.0(亲本 14×亲本 14)	-2.5(亲本 1×亲本 5)
纵径	53	52	15.2(亲本 13×亲本 13)	-12.7(亲本 11×亲本 13)
横径	53	52	10.8(亲本 1×亲本 3)	-17.6(亲本 11×亲本 13)

2.5 配合力与杂种优势的关系

一般配合力、特殊配合力与中亲优势、超高亲优势及 F_1 的表现之间的相关性从表 8 可知。单株产量的一般配合力和超中优势的相关性很高;大部分性状杂种优势与特殊配合力相关性很高,与组合亲本 8×亲本 10 和亲本 2×亲本 3 的单果质量的超高优

势和超中亲优势均较高的结果相符,并且具有较高的特殊配合力;11 个性状的一般配合力和特殊配合力间的相关性均不显著,如亲本 13 和亲本 8 的单株产量和单果质量的一般配合力均较大,而他们的特殊配合力却为负值;大部分性状的杂种优势与 F_1 的表现显著相关。

表 8 主要性状的配合力、杂种优势及 F₁ 的相关性分析

Table 8 Correlation analysis of combining ability, heterosis and of F₁ for main traits

性状	SCA-HM	SCA-HP	SCA-F ₁	GCA-HP	GCA-MP	F ₁ -GCA	SCA-GCA	F ₁ -HP	F ₁ -MP
单株产量	0.530 **	0	0.700 **	-0.330	0.610 *	0.620 *	0.050	0.040	0.700 *
单果质量	0.600 **	0.510 **	0.520 **	-0.230	-0.310	0.120	-0.020	0.450 **	0.580 **
第一穗坐果数	0.530 **	0.466 **	0.822 **	-0.060	-0.190	0.250	0.180	0.470 **	0.470 **
果肉厚度	0.604 **	0.511 **	0.591 **	-0.039	0.094	0.093	-0.120	0.590 **	0.510 **
始花期	0.649 **	0.597 **	0.755 **	-0.306	-0.333	-0.478	-0.300	0.730 **	0.790 **
始收期	-0.039	-0.055	0.793 **	0.227	0.321	0.142	0.210	0.010	0.030
坐果期	0.708 **	0.747 **	0.885 **	-0.318	-0.323	-0.361	-0.190	0.840 **	0.820 **
首花节位	0.654 **	0.568 **	0.738 **	-0.270	-0.447	-0.305	-0.400	0.520 **	0.590 **
硬度	0.023	0.013	0.712 **	-0.022	-0.194	-0.083	0.110	0.210 **	0.210 **
纵径	0.049	0.084	0.550 **	-0.467	-0.277	-0.274	-0.510	-0.010	0.040
横径	-0.025	-0.055	0.571 **	-0.196	0.093	0.275	0.200	-0.100	-0.050

SCA-HM 为特殊配合力与中亲优势;SCA-HP 为特殊配合力与超亲优势;SCA-F₁ 为特殊配合力与 F₁ 的性状表现;GCA-HP 为一般配合力与超亲优势;GCA-MP 为一般配合力与中亲优势;F₁-GCA 为 F₁ 的性状表现与一般配合力;SCA-GCA 为特殊配合力与一般配合力;F₁-HP 为 F₁ 的性状表现与超亲优势;F₁-MP 为 F₁ 的性状表现与中亲优势。* 表示在 0.05 水平上相关性显著,** 表示在 0.01 水平上相关性显著。

2.6 杂种优势群划分

根据主要性状配合力、杂种优势及 F₁ 的性状表现相关性分析,F₁ 与特殊配合力及杂种优势显著相关,与一般配合力相关不显著,我们选择亲本的一般配合力和 F₁ 的表现值进行杂种优势群的划分。

根据 14 个亲本单株产量、单果质量、第一穗坐果数、果肉厚度等 12 个性状的一般配合力效应值用 SPSS 进行标准化后计算欧式距离,采用 Ward 方法对 14 个亲本进行聚类分析(图 1)。根据 14 个番茄亲本组配的 F₁ 表现的单株产量、单果质量、第一穗坐果数等 13 个性状的平均表现值进行标准化后计算欧式距离,采用 Ward 方法对 14 份亲本进行聚类分析(图 2)。以 13 为值域时,一般配合力聚类分析法将 14 个番茄亲本划分为 5 大类群,分别为 HG1(亲本 9、亲本 7、亲本 10、亲本 4、亲本 1 和亲本 12),HG2(亲本 14 和亲本 13),HG3(亲本 3 和亲本 5),HG4(亲本 2 和亲本 6)和 HG5(亲本 8 和亲本 11);当值域为 12 时,F₁ 的平均表现聚类将 14 个番茄亲本划分为 4 大类群,分别为 SG1(亲本 2、亲本 6、亲本 1、亲本 4、亲本 7、亲本 13 和亲本 14),SG2(亲本 8 和亲本 11),SG3(亲本 9、亲本 10 和亲本 12)和 SG4(亲本 3 和亲本 5)。

3 讨论

有关番茄的杂种优势利用和配合力效应的研究

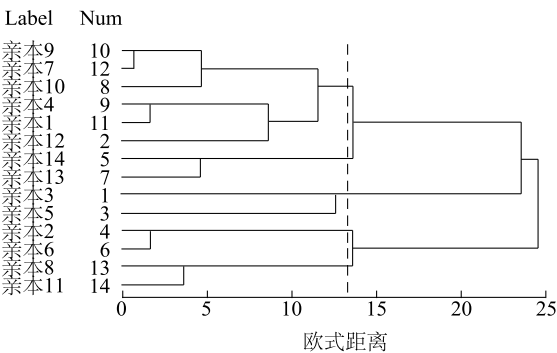


图 1 根据亲本 12 个性状的一般配合力对 14 份番茄亲本的聚类图

Fig.1 Cluster of 14 cultivated tomatoes based on the general combining ability of 12 traits

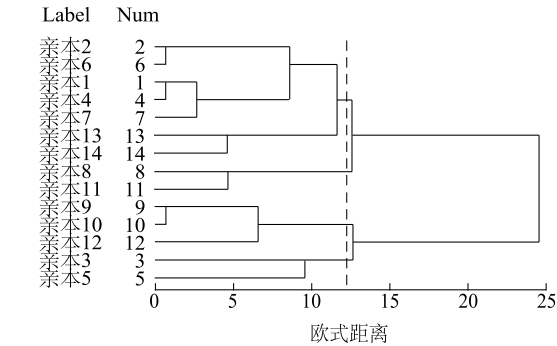


图 2 根据 F₁ 的 13 个性状表现对 14 份番茄亲本材料的聚类图

Fig.2 Cluster of 14 cultivated tomatoes based on 13 traits of F₁

很多^[10-12]。杂种优势在作物中广泛存在,并且杂种优势利用作为提高作物产量和品质的一条重要途径,在很多作物上得到广泛的研究和应用。确定杂种优势群是杂种优势利用的关键^[13],因此本研究通过来自不同类群的 14 个自交系间杂交,比较杂种优势和配合力,进而划分优势群和确定杂种优势模式。

本研究通过对 105 个组合和 14 个亲本的 13 个性状进行对比分析,结果表明,杂种 F_1 的不同性状均不同程度地表现出优于亲本,与 105 个杂交组合杂种优势分析结果相符。其中单株产量的杂种优势最好,最大超中优势值和超高优势值分别达到 2.51 (亲本 1×亲本 13) 和 1.71 (亲本 7×亲本 14),高于前人研究结果^[14-15]。Aisya 等^[12]在 44 个番茄组合的 8 个农艺性状的杂种优势研究中发现组合的单株产量的最大超中优势和超高优势分别为 58.8% 和 42.2%。自花植物进行杂交育种的标准是杂种优势值大于等于 20%。本研究满足标准的性状有:单株产量、单果质量、第一穗坐果数、酸含量和硬度,与 Hannan 等^[14]和 Aisya 等^[12]的研究结果相符。杂交组合的始花期、坐果期和始收期均表现出弱的杂种优势,其中他们的超高亲优势均小于 0,说明亲本杂交对于促进早熟有效果,此结果与 Ahmed 等^[16]和 Singh 等^[17]提出的番茄在杂交组配中始花期表现出负向超亲优势的研究结果一致^[16-17]。本研究中杂交组合的果肉厚度、单果质量、果实纵横径等性状最大超亲优势值均大于 Aisya 等^[12]和 Hannan 等^[14]的研究结果。

不同基因型间的农艺性状存在显著差异是进行该性状配合力分析的前提^[18]。本研究中酸含量基因型间没有显著差异,进而对其他 12 个性状进行配合力方差分析。大部分性状的配合力都具有显著差异,表明加性效应和非加性效应都对调控除可溶性固形物含量外的 11 个农艺性状有着重要作用。而 Kumar 等^[19]评估番茄一般配合力和特殊配合力的研究结果显示,单株产量、开花期、单果质量、可溶性固形物和酸含量的配合力具有显著性差异;Aisya 等^[12]对番茄的产量和产量相关性状的配合力显著性分析结果表明除果肉厚度外其他所有性状配合力都受加性效应和非加性效应调控。

分析 14 个亲本材料的配合力效应是本研究的重要目的。亲本 11 的单株产量和单果质量的一般配合力效应为最大,分别为 337.51 和 36.01,均高

于 Akram 等^[20]的研究结果,说明亲本 11 杂交比较容易得到较高产量的后代组合。Aisya 等^[12]的研究中显示其亲本材料的单株产量、单果质量和果实纵横径的一般配合力最大值分别为 482.39、10.35、5.85 和 4.25,均小于本研究结果。

配合力与杂种优势的关系比较复杂,夏美翠、王明理等^[21-22]研究认为配合力与杂种优势密切相关。本研究结果表明,单株产量的超中优势与 GCA 显著正相关,Yustiana^[23]提出 GCA 和杂种优势均受主效基因影响,它们之间呈正相关;大部分的农艺性状特殊配合力均与超亲优势显著相关。有关 SCA 与 GCA 的关系以往的研究结论各不相同,王明理等^[22]认为,双亲一般配合力与特殊配合力没有必然联系,2 个高 GCA 的亲本所配的杂交组合特殊配合力不一定高,与本试验的研究结果相符。

杂种优势群的划分和杂优模式的建立是本研究的另一重要目的,对提高番茄育种效率、加速育种进程有着很大的意义。有关番茄杂种优势群划分和杂优模式确立的研究很少,但水稻、小麦等作物关于这方面的研究比较成熟。陈晓文等^[1]利用普通小麦亲本 8 个性状的一般配合力将 15 份亲本划分为 5 类,刘旺清^[24]根据不同农艺性状的一般配合力大小将 15 份普通小麦的亲本划为两大群四亚群。本研究根据一般配合力和 F_1 的性状表现采用聚类分析法划分优势群,分别划分为 5 个和 4 个类群,不同的类群番茄种质的表型具有一定的差异。由于有效的优势群划分方法可以使来自不同优势群的 2 个亲本组配的杂交组合优于来自同一优势群内两亲本组配的组合^[25],因此我们对 2 种划分方法得到的类群群内和群间的杂交组合的性状表现进行对比。一般配合力聚类分析得到的 5 个类群群间的杂交组合的单株产量、单果质量、第一穗坐果数等 9 个性状平均表现都显著高于来自群内的杂交组合;群间杂交组合的始花期、坐果期和始收期这 3 个性状表现优于群内组合,即不同群间杂交可以获得早熟杂交组合;只有群内和群间组合的可溶性固形物含量和酸含量平均表现差异不大,这也与组合间的可溶性固形物和酸含量方差不显著这一结果相符。 F_1 的性状表现聚类分析法得到的 4 个类群,只有可溶性固形物含量、酸含量、始花期和单株产量这 4 个性状的群间组合平均表现优于群内组合表现,所以一般配合力分析法优于 F_1 的性状表现聚类分析法。因此一般配合

力聚类分析法为有效的优势群划分方法,并将 14 个栽培番茄材料划分为 5 个优势群。确定杂种优势模式是本研究另一重要目的,Lu 等^[26]研究认为杂优模式可以获得具有较强杂种优势的 2 个优势群间的组配方式。除始收期、坐果期和始花期外的 11 个性状的超中优势平均值大于 15% 的组合按大小顺序排列有:HG1×HG2, HG2×HG5, HG2×HG4, HG2×HG3 和 HG1×HG5;其超高优势大于 0 的组配方式有:HG1×HG2, HG1×HG5 和 HG2×HG5,其中 HG1×HG2 产量的杂种优势最好, HG2×HG5 为其次。所有组配方式的始收期、坐果期和始花期都为负向杂种优势,说明 5 个优势群间杂交都容易获得较亲本早熟的组合。HG1×HG2、HG1×HG5 和 HG2×HG5 确定为 3 个杂交优势模式,对番茄杂交育种尤其是提高产量具有很大帮助。

参考文献:

- [1] 陈晓文,马守才,王志军,等.15 个化杀杂交小麦亲本配合力和杂种优势群的初步研究[J]. 麦类作物学报,2011,31(4): 630-636.
- [2] 蒙 成,吴雅芳. 早熟玉米自交系主要农艺性状配合力分析[J]. 南方农业学报,2018,49(3): 424-430.
- [3] 宋希云,黄铁城,张爱民,等.杂种小麦强优势组合选配规律的研究Ⅱ.配合力分析[J].北京农业大学学报,1993,19(增刊): 45-50.
- [4] XIE F M, HE Z Z, ESGUERRA M Q, et al. Determination of heterotic groups for tropical Indica hybrid rice germplasm[J]. Theor Appl Genet, 2014, 127: 407-417.
- [5] SUWARNO W B, PIXLEY K V, PALACIOS R, et al. Formation of heterotic groups and understanding genetic effects in a provitamin A biofortified maize breeding program[J]. Crop Sci, 2014, 54: 14-24.
- [6] 祁志云,杨 华,邱正高,等.几个主要玉米自交系的配合力及聚类分析[J].西南大学学报,2010,32(2): 19-25.
- [7] 李明顺,张世煌,李新海,等.根据产量特殊配合力分析玉米自交系杂种优势群[J].中国农业科学,2002,35(6): 600-605.
- [8] WANG K, QIU F L, WENCESLAO L, et al. Heterotic groups of tropical indica rice germplasm[J]. Theor Appl Genet, 2015, 128: 421-430.
- [9] 李锡香,杜永臣,冯兰香,等.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.
- [10] 王先裕,于分弟,梁聪耀,等.番茄核雄性不育系大果实硬度杂种优势及遗传效应的研究[J].中国蔬菜,2010(20): 27-31.
- [11] 田 园,张喜春,谷建田,等. 番茄亲本完全双列杂交后主要品质性状配合力及遗传力分析[J].中国农学通报,2015,31(19): 87-91.
- [12] 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.
- [13] MELCHINGER A E, GUMBER R K, JACK E S, et al. Overview of heterosis and heterotic groups in agronomic crops [J]. CSSA, 1998, 125: 29-44.
- [14] HANNAN M M, BISWAS M M. Combining ability analysis of yield and yield components in tomato (*Solanum lycopersicum* Mill) [J]. Turk J Bot, 2007, 31: 559-563.
- [15] AHMAD S, OUAMRUZZAMAN A K M. Estimate of heterosis in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) [J]. Bangladesh J Agril Res, 2011, 36(3): 521-527.
- [16] AHMED S U, SHAHA H K, SHARFUDDIN A U, et al. Study of heterosis and correlation in tomato [J]. Thai Journal of Agricultural Science, 1988, 21(2): 117-123.
- [17] SINGH R K, SINGH V K. Heterosis breeding in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) [J]. Annals of Agril Res, 1993, 14(4): 416-420.
- [18] SINGH R K, CHAUDHARY B D. Biometrical methods in quantitative genetic analysis [M]. New Delh: Kalyani: 1979.
- [19] KUMAR R, SRIVASTAVA K. Combining ability analysis for yield and quality traits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) [J]. Journal of Agricultural Science, 2013, 5(2): 213-218.
- [20] AKRAM F, HOSSEIN N. The estimate of combining ability and heterosis for yield and yield components in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) [J]. J Biol Environ Sci, 2012, 6(17): 129-134.
- [21] 夏美翠,宋希云,李储学,等. 普通小麦亲本配合力与杂种优势关系研究[J]. 莱阳农学院学报,1997,14(1): 11-15.
- [22] 王明理,张爱民,黄铁城,等. T 型杂交小麦品质及农艺性状的研究 I. 杂种优势和配合力 [J]. 作物学报,1985, 11(3): 146-158.
- [23] YUSTIANA. Combining ability and heterotic group analysis of several tropical maize inbred lines from PT [D]. Bogor: Bogo Agricultural University, 2013.
- [24] 刘旺清. 小麦轮回选择后代与普通小麦品种间杂种优势的研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [25] FAN X M, ZHANG Y M, YAO W H, et al. Classifying maize inbred lines into heterotic groups using a factorial mating design [J]. Agron J, 2009, 101: 106-112.
- [26] LU Z M, XU B Q. On significance of heterotic group theory in hybrid rice breeding [J]. Rice Science, 2010, 17(2): 94-98.

(责任编辑:陈海霞)