

花椰菜主要经济性状的配合力及遗传效应研究

李光庆, 谢祝捷*, 姚雪琴

(上海市农业科学院园艺研究所, 国家蔬菜品种改良分中心, 上海市设施园艺技术重点实验室, 上海 201106)

摘 要: 采用 Griffing 6 × 6 完全双列杂交设计, 对长江流域内秋冬栽培的 6 个主要花椰菜 (*Brassica oleracea* Linn. var. *botrytis* Linn.) 资源的自交系育种材料的球高、球径、单球重、成熟期、毛花率和内叶盖球度等 6 个花球主要经济性状进行一般配合力 (GCA) 和特殊配合力 (SCA) 分析, 并对花椰菜的各个性状进行了遗传相关性分析。结果表明: 花椰菜的 6 个经济性状同时受加性和非加性效应控制。其中成熟期、毛花率、球高和内叶盖球度性状的一般配合力大于特殊配合力, 受加性基因效应影响大; 而球径、单球重等性状间一般配合力小于特殊配合力, 在相当程度上受非加性基因控制。花椰菜各性状的狭义遗传力由大到小依次为: 成熟期、毛花率、内叶盖球度、球高、球径和单球重。花椰菜的球高与单球重、球径与单球重、球高与成熟期、单球重与内叶盖球度、成熟期与内叶盖球度等 5 个成对性状应该同时选择; 而球高与毛花率、球高与内叶盖球度、球径与成熟期、球径与毛花率、单球重与毛花率、成熟期与毛花率、毛花率与内叶盖球度等 7 个成对性状的选择可以独立进行, 彼此间不会相互影响, 可实现同一组合或品种具备多种优质性状。在 6 个自交系中, P_2 和 P_5 是理想亲本; P_4 是配制耐寒组合的亲本材料; 亲本 P_6 应用价值最低。组合中表现最好的为 $P_2 \times P_4$, 各性状的特殊配合力均较优。

关键词: 花椰菜; 一般配合力; 特殊配合力; 遗传力; 加性基因效应

中图分类号: S635.33

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2013)02-0143-08

Study on Combining Ability and Heritability Analysis of Main Economic Characters for Cauliflower

LI Guang-Qing, XIE Zhu-Jie*, YAO Xue-Qin

(Institute of Horticulture, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, National Vegetables Improvement Center, Shanghai Key Laboratory of Protected Horticultural Technology, Shanghai 201106, China)

Abstract: Using six inbred line cauliflower (*Brassica oleracea* Linn. var. *botrytis* Linn.) varieties from the Yangtze River basin as parents, general combining ability (GCA), specific combining ability (SCA) and correlation of primary characters such as head height, head diameter, head weight, maturity traits, bracts ratio and leaf coverage ratio were studied by 6 × 6 complete diallel cross and Griffing method I. Results showed that six characters were affected by additive and non additive effects. Maturity, bracts ratio, head height and leaf coverage ratio significantly affected by additive gene were mainly inherited by GCA; head diameter and head weight were mainly inherited by SCA and were strongly controlled by non-additive genes. Narrow heritability ranked in the order of maturity, bracts rate, leaf coverage ratio, head height, ball diameter and head weight. Concurrent selection of couple traits were head height and head weight, head diameter and head weight, head height and maturity, head weight and leaf coverage ratio, maturity and leaves coverage ratio; but independent selection of couple traits were head height and bracts ratio, head height and leaf coverage ratio, head diameter

收稿日期: 2012-05-15, 修回日期: 2012-10-24。

基金项目: 上海市科技兴农攻关项目 (沪农科攻字(2011)第 1-1 号); 上海市科委攻关项目 (11DZ1960102); 上海市农科院青年基金项目 (农青年科技 2012-05)。

作者简介: 李光庆 (1984 -), 硕士, 助理研究员, 主要从事花椰菜和青花菜遗传育种研究 (E-mail: liguangqing0212@163.com)。

* 通讯作者 (Author for correspondence. E-mail: xiezj8@163.com)。

and maturity, head diameter and bracts ratio, head weight and bracts ratio, maturity and bracts ratio, bracts ratio and leaf coverage ratio. None interacted, and more traits of good characters were combined in the same cultivar. In the six inbred lines, P_2 and P_5 were ideal parental lines, and P_4 was an ideal parental line for cold tolerance. The traits of $P_2 \times P_4$ in combination had better expression and SCA.

Key words: Cauliflower; General combining ability; Specific combining ability; Heritability; Additive gene effect

花椰菜 (*Brassica oleracea* Linnaeus var. *botrytis* Linnaeus) 是十字花科芸薹属甘蓝种中以花球为产品的一个变种, 是我国重要的栽培蔬菜之一。花椰菜原产地中海沿岸, 最早在 19 世纪中末期传入中国, 其营养丰富, 风味鲜美, 现已成为国内的主要蔬菜之一。长江流域 100 多年来通过引种花椰菜已形成了一批性状稳定的优良地方品种资源^[1,2]。该区是国内较早实现花椰菜早、中、晚不同成熟期品种资源配套和周年供应的地区, 区内四季气候条件较适宜栽培, 尤其是可以越冬栽培, 实现南菜北运, 因此是我国重要的越冬花椰菜育种和生产基地之一。然而花椰菜的花球产品既是生殖器官又是养分储藏器官, 在花球生长发育阶段对温度的敏感性较强, 生育适温比较狭窄, 耐极端温度能力较低, 在中晚熟花椰菜品种的秋冬生育期内尤其易受霜冻、低温因素影响, 花椰菜因冻害引起的花球产量和商品率下降的情况较为严重, 因此选育耐寒性强的花椰菜品种就显得尤为重要。

优良亲本的选配是利用杂种优势选育耐寒花椰菜品种的关键, 其中配合力研究对正确选择耐寒性好的亲本和尽早预测杂交组合耐寒性的优劣具有重要意义, 前人已对花椰菜的熟期性状^[3-5]、花球产量性状^[6,7]和耐热性^[4,8,9]等进行了配合力分析, 并对部分性状进行了遗传相关分析^[10-13], 但对长江流域内秋冬栽培季的中晚熟花椰菜品种资源的产量、外观品质等相关经济性状和抗逆性状方面的遗传分析还较薄弱, 尤其是对与育种材料耐寒性密切相关的内叶盖球度性状, 以及温度剧烈变化下的适应性, 如对毛花率性状的配合力分析和遗传相关分析等尚未见报道^[14]。

本文通过对 6 个中晚熟花椰菜育种材料越冬期主要产量构成、外观品质等经济性状的配合力测定和性状相关性分析, 初步明确各性状间的遗传规律

和内在联系, 可为高产、优质中晚熟耐寒花椰菜杂一代组合的亲本材料的选配及新组合的鉴定提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料由上海市农业科学院园艺研究所提供。6 个中晚熟花椰菜 (*Brassica oleracea* Linn. var. *botrytis* Linn.) 亲本自交系材料均为长江流域内收集的品种资源经过自交纯化多代、且生育期和园艺学性状稳定的育种材料, 分别为: H-80 (P_1)、830 (P_2)、SH-3 (P_3)、JB-120 (P_4)、ZMZ (P_5) 和 ZWX (P_6), 它们的成熟期分别为 80、90、100、120、130、140 d。

1.2 方法

本研究采用完全双列杂交法。此方法是目前遗传上最常应用的配合力分析方法, 不仅能够估算一般配合力和特殊配合力, 还能分析相关的遗传参数, 进而研究群体性状的遗传特性^[15,16]。一般配合力反映的是基因的加性效应, 是能够固定遗传的; 特殊配合力反映的是非加性基因效应, 是不能够固定遗传的^[17,18]。利用一般配合力和特殊配合力的效应值可以判断和选择育种的亲本材料, 由遗传力的大小位次, 可以决定选择时期和方法^[19], 这对蔬菜作物的育种工作具有重要意义。

2009 年 4 月在上海农业科学院园艺研究所试验场, 将 6 个亲本自交系进行人工套袋自交, 按照 6×6 完全双列杂交法, 配成 30 个杂交组合和 6 个自交后代, 共 36 份试材。6 月份获得组合种子。田间试验在上海市农科院奉贤区庄行试验站进行, 7 月 27 日播种, 8 月 26 日幼苗长至 4~5 片真叶时, 挑选整齐一致的幼苗定植于大田。完全随机区组设计, 每份材料种植于一个小区, 设置 3 次重复, 共

108 个试验小区。每小区种植 24 株,株行距分别为 50 cm 和 60 cm,常规管理。

各品种材料于 11 月中旬到次年 2 月上旬持续适期收获,在收获期观察记录各小区花椰菜的球高、球径、单球重等花球性状,并对成熟期、毛花率和内叶盖球度进行统计。

成熟期：指从花椰菜定植到收获所经历的天数。毛花：指由于极端温度变化,花球表面或边缘生成的绒毛状的紫色或白色小苞片;毛花率：指小区中出现毛花的花椰菜株数占整个小区花椰菜总株数的比率。内叶盖球度：指花椰菜的内叶遮盖或包裹花球的程度,能反应一定程度的耐寒能力,其分级标准见表 1。

内叶盖球度 = $\frac{\sum(\text{各级单株数} \times \text{相应级数})}{\text{调查总株数} \times \text{最高分级级数}}$ 。

数据处理利用 Excel 2003 完成,应用 DPS 软件对数据进行统计分析。

表 1 花椰菜内叶盖球度分级标准
Table 1 Grading standards of leaf coverage ratio in cauliflower

级别 Grading	内叶盖球程度描述标准 Descriptions of leaf coverage ratio
0	收获期内叶基本不包裹花球
1	收获期内叶遮盖花球,但不超过球表面的一半
2	收获期内叶包裹花球表面的大部
3	收获期内叶完全包裹花球

2 结果与分析

2.1 花椰菜各性状的方差分析

通过对花椰菜杂交组合和自交后代共 36 份材料的球高、球径、单球重、成熟期、毛花率和内叶盖球度等 6 个性状进行方差分析,结果表明(表 2),各性状基因型间 F 值均达到显著水平,所有考察的 6 个性状在供试基因型间均达差异极显著,具有真实的遗传变异,因此有必要进一步做配合力分析。

2.2 花椰菜各性状配合力的方差分析

利用 6 × 6 完全双列杂交法进行配合力方差分析,结果见表 3,从固定模型 F 值(F I)可看出,亲本之间 6 个性状一般配合力效应和特殊配合力效应均有极显著的差异,不仅表明 6 个亲本系对杂交后代不同性状的效应显著、性状传递给下一代的能力

表 2 花椰菜各性状的方差分析
Table 2 Variance analysis of characters in cauliflower

性状 Character	F 值 F test value		
	重复 Competitions	基因型 Combinations	互作 Genetic effects interaction
球高 Head height	1. 61	13. 59 **	1. 84 **
球径 Head diameter	6. 10	9. 66 **	2. 50 **
单球重 Head weight	2. 88	11. 82 **	2. 13 **
成熟期 Maturity traits	0. 29	125. 72 **	—
毛花率 Bracts ratio	2. 04	42. 82 **	—
内叶盖球度 Leaf coverage ratio	1. 42	8. 96 **	—

注：* 和 ** 分别表示在 5% 和 1% 水平上的差异显著性。
Notes: * and ** indicate significance at 5% and 1% probability levels, respectively.

强,还表明 6 个亲本系在不同杂交后代中对各性状配合有明显影响,并存在特殊配合力较好的组合。反交效应 6 个性状中只有内叶盖球度性状不显著,表明亲本用做父本或母本并未显著影响杂种后代内叶盖球度的表现,而显著地影响杂交后代其余 5 个性状的表现,同时在遗传中可能存在一定的细胞质效应或母性遗传现象。其中,成熟期、毛花率、球高和内叶盖球度等性状的 $MS_{GCA}/MS_{SCA} > 1$,表明加性基因效应的作用更大;而球径和单球重性状的 $MS_{GCA}/MS_{SCA} < 1$,说明这些性状在相当程度上受到非加性基因的控制。从随机模型 F 值(F II)来看,在群体水平上,除球径和单球重以外,其余各性状的一般配合力方差均呈显著或极显著差异,而各性状的特殊配合力方差均表现为差异极显著。各性状中只有内叶盖球度的反交配合力方差未达到差异显著水平。

2.3 花椰菜各性状的遗传力分析

通过对花椰菜各主要性状的遗传参数和遗传力进行分析,结果可看出(表 4),各性状的遗传方差和环境方差的效应值大小不同,球径和单球重的加性方差与 0 无显著差异,说明它们的群体变异主要是由显性效应和上位性效应引起的,即这些性状是不能固定遗传的,可用优势育种法选育。除球径和单球重外,其它性状的狭义遗传力由大到小依次为成熟期、毛花率、内叶盖球度、球高。在这些性状中,球

表 3 花椰菜各性状配合力的方差分析
Table 3 Variance analysis for the combining ability of various characters

配合力 Combining ability	均方和 F 值 Mean square and F test value	球高 Head height	球径 Head diameter	单球重 Head weight	成熟期 Maturity traits	毛花率 Bracts ratio	内叶盖球度 Leaf coverage ratio
一般配合力 General combining ability	MS	1. 5489	1. 1709	0. 0114	5217. 93	0. 2229	0. 0825
	F I	40. 873 **	12. 597 **	6. 4341 **	779. 853 **	132. 658 **	22. 645 **
	F II	2. 5818 **	0. 8673	0. 2968	29. 625 **	2. 7465 **	1. 905 *
特殊配合力 Specific combining ability	MS	0. 6187	1. 3919	0. 0395	181. 78	0. 0838	0. 0446
	F II	16. 326 **	14. 975 **	22. 366 **	27. 168 **	49. 878 **	12. 250 **
	F II	16. 326 **	14. 975 **	22. 366 **	27. 168 **	49. 878 **	12. 250 **
反交配合力 Reciprocal cross	MS	0. 0666	0. 3135	0. 0054	41. 67	0. 0098	0. 0040
	F I	1. 7569 *	3. 3726 **	3. 0696 **	6. 2273 **	5. 8205 **	1. 105
	F II	1. 7569 *	3. 3726 **	3. 0696 **	6. 2273 **	5. 8205 **	1. 105
误差 System variance		0. 0379	0. 0930	0. 0018	6. 6909	0. 0017	0. 0036
MS _{GCA} /MS _{SCA}		2. 50	0. 84	0. 29	28. 70	2. 66	1. 85

注: * 和 ** 分别表示在 5% 和 1% 水平上的差异显著性。F I 指固定模型下的 F 值, F II 指随机模型下的 F 值, MS 指平均方差。MS_{GCA}/MS_{SCA} 是指一般配合力平均方差与特殊配合力平均方差的比值, 当比值大于 1 时, 表示该性状主要受加性效应的影响; 当比值小于 1 时, 表示该性状受非加性效应的影响大。
Notes: * and ** indicate significance at 5% and 1% probability levels, respectively. F I, F test value of fixed effects model; F II, F test value of random effects model; MS, mean square; MS_{GCA}/MS_{SCA} is ratio of general combining ability variance to specific combining ability variance, if the ratio is less than 1, the character is mainly affected by additive gene effect, if the ratio is less than 1, the character is mainly affected by non-additive gene effect.

表 4 花椰菜主要性状的遗传力和遗传参数分析结果
Table 4 Analysis of inheritability and other genetic parameters in major quality characters for cauliflower

遗传力和遗传参数 Inheritability and other genetic parameters	性状 Character					
	球高 Head height	球径 Head diameter	单球重 Head weight	熟期 Maturity traits	毛花率 Bracts ratio	内叶盖球度 Leaf coverage ratio
加性方差 V _A	0. 1582	0	0	840. 3000	0. 0236	0. 0065
显性方差 V _D	0. 3372	0. 7542	0. 0219	101. 6645	0. 0477	0. 0238
遗传方差 V _G	0. 4954	0. 7542	0. 0219	941. 9646	0. 0713	0. 0303
环境方差 V _E	1. 1368	2. 7885	0. 0530	20. 0728	0. 0050	0. 0109
表型方差 V _P	1. 6322	3. 5428	0. 0749	962. 0373	0. 0763	0. 0413
广义遗传力 H _b ²	30. 35%	21. 29%	29. 26%	97. 91%	93. 40%	73. 51%
狭义遗传力 h _n ²	9. 69%	0	0	87. 35%	30. 94%	15. 83%

注: 广义遗传力是指表型方差中遗传方差所占的比率; 狭义遗传力是指表型方差中加性方差所占的比率。
Notes: Broad-sense heritability is the ratio of genetic variance to phenotypic variance, narrow-sense heritability is the ratio of additive variance to phenotypic variance.

高和内叶盖球度的狭义遗传力较低,说明非加性基因效应影响更大,要经过高世代选择才会有好的效果;成熟期和毛花率的狭义遗传力相对较高,即这两个性状的变异主要受加性基因效应影响,而非加性互作和环境对它们影响很小,可通过系谱法选育进行固定。

2. 4 花椰菜各亲本性状的 一般配合力效应值估算及分析

从花椰菜 6 个亲本 的各性状一般配合力效应值可看出(表 5),同一性状不同亲本间的一般配合力

效应值各不相同,这为花椰菜育种中选用某一性状一般配合力效应值高的亲本提供了依据,另外,同一亲本的不同性状间一般配合力效应值的大小也有很大差异,可利用其选用综合性状一般配合力效应值高的亲本,也可以利用性状间的一般配合力互补的亲本组配得到优势组合。对 6 个自交系亲本材料的初步评价结果表明,P₂的球高、单球重一般配合力效应值均为最大,成熟期一般配合力效应值为绝对值最大的负值,是 6 个参试材料中最为理想的亲本,我们可利用其较高的一般配合力,从而选出早

熟、丰产优势特别突出的某些组合;P₅的球径、成熟期一般配合力效应值最大,毛花率一般配合力效应值为绝对值最大的负值,也是较为理想的亲本,可结合花椰菜品质育种目标要求,作为选育晚熟、低毛花优势强的组合的亲本材料;P₄的内叶盖球一般配合力效应值较高,可用其作为适宜配制耐寒优良品质组合的亲本材料;P₆的毛花率一般配合力效应值最

高,统计结果也显示凡是亲本 P₆参与的组合,毛花均较重,P₆的应用价值最低。

2.5 花椰菜各组合性状的特殊配合力效应值估算及分析

从 30 个杂交组合的 6 个主要性状的特殊配合力效应值可看出(表 6),同一亲本所配组合间的特殊配合力差异很大,而同一组合不同性状间特殊配

表 5 花椰菜各亲本性状的—般配合力效应值
Table 5 Relative value of the general combining ability in various characters

亲本 Parent	性状 Character					
	球高 Head height	球径 Head diameter	单球重 Head weight	成熟期 Maturity traits	毛花率 Bracts ratio	内叶盖球度 Leaf coverage ratio
P ₁	0.0512	-0.2251	-0.0174	-21.7590	0.0056	-0.0802
P ₂	0.6640	-0.1576	0.0600	-28.7037	-0.0583	-0.1128
P ₃	-0.2657	-0.1743	-0.0077	1.1574	0.0333	0.0171
P ₄	-0.2927	0.0096	-0.0267	9.9070	-0.0889	0.1036
P ₅	-0.2074	0.6144	-0.0004	20.463	-0.1389	0.0644
P ₆	0.0506	-0.0670	-0.0078	18.9350	0.2472	0.0078

表 6 花椰菜 30 个组合各性状的特殊配合力效应值
Table 6 Specific combining ability of major qualities in thirty cross combinations of cauliflower

组合 Combinations	性状 Character					
	球高 Head height	球径 Head diameter	单球重 Head weight	成熟期 Maturity traits	毛花率 Bracts ratio	内叶盖球度 Leaf coverage ratio
P ₁ × P ₂	0.0127	0.7651	-0.0238	6.2037	-0.1583	-0.0956
P ₁ × P ₃	-0.2309	-0.1282	-0.0326	3.8426	-0.05	-0.0153
P ₁ × P ₄	0.7277	0.8345	0.1553	-9.9074	-0.0278	0.1478
P ₁ × P ₅	0.2507	-0.3235	0.1003	2.037	0.0389	0.1349
P ₁ × P ₆	0.2427	0.2329	0.1052	-16.4352	0.3528	0.0403
P ₂ × P ₁	-0.2450	-0.9433	-0.1078	0	0	-0.0412
P ₂ × P ₃	0.4246	0.9809	0.0918	-11.713	-0.1361	-0.0682
P ₂ × P ₄	0.7632	0.8520	0.1414	-10.463	-0.0639	0.1649
P ₂ × P ₅	0.1046	-0.2244	0.1213	3.9815	-0.0139	0.1778
P ₂ × P ₆	0.1299	0.0187	0.073	-6.1574	0.4	0.1621
P ₃ × P ₁	-0.1817	0.0200	0.0124	2.5	-0.0333	0.045
P ₃ × P ₂	0.17	0.9833	0.102	-5	-0.05	-0.1142
P ₃ × P ₄	-0.3237	-0.5596	-0.0504	9.6759	0.0278	0.0091
P ₃ × P ₅	0.2660	-0.4127	0.0425	-0.0463	-0.0556	0.0907
P ₃ × P ₆	-0.387	-0.2313	-0.0387	4.8148	0.1583	0.0957
P ₄ × P ₁	-0.1833	-0.0433	0.0215	2.5	0.0667	-0.0068
P ₄ × P ₂	0.2017	0.3050	0.0664	0	0	0.011
P ₄ × P ₃	-0.0617	-0.1533	-0.0234	0	-0.0167	0.0345
P ₄ × P ₅	-0.4404	-0.9316	-0.1188	0.3704	0.1333	-0.0392
P ₄ × P ₆	-0.2884	-0.1585	-0.0682	-0.6019	-0.1361	-0.0607
P ₅ × P ₁	0.1283	-0.1967	-0.005	-10	-0.05	-0.0228
P ₅ × P ₂	0.0483	0.0967	0.0034	-5	0	0.0262
P ₅ × P ₃	0.0100	0.3383	-0.0198	-0.8333	-0.05	-0.0167
P ₅ × P ₄	0.0233	0.1000	0.0312	0	0.1167	0.0008
P ₅ × P ₆	0.6713	1.0784	0.0863	3.8426	-0.2028	-0.0776
P ₆ × P ₁	0.0250	0.0783	0.0465	0	-0.05	0.0543
P ₆ × P ₂	-0.1217	-0.3117	-0.0094	11.6667	0	-0.0458
P ₆ × P ₃	-0.3117	-0.2850	-0.037	0.8333	0.1833	-0.0117
P ₆ × P ₄	-0.3500	0.1050	-0.044	2.5	0.1	-0.0717
P ₆ × P ₅	0.2117	0.0867	0.0781	-2.5	-0.0167	-0.0167

合力效应值的表现也不同。例如 $P_3 \times P_2$ 组合的球径配合力效应值最高,但内叶盖球度的配合力效应值最低。同一性状在不同组合间特殊配合力效应值的表现不同,球高性状的特殊配合力效应值变幅在 $-0.4404 \sim 0.7632$ 之间,正向效应有 18 个;球径性状的特殊配合力效应值变幅在 $-0.9316 \sim 1.0784$ 之间,正向效应有 16 个;单球重性状的特殊配合力效应值变幅在 $-0.1188 \sim 0.1553$ 之间,正向效应有 17 个;熟期性状的特殊配合力效应值变幅在 $-16.4352 \sim 11.6667$ 之间;毛花率性状的特殊配合力效应值变幅在 $-0.2028 \sim 0.4$ 之间,负向效应有 16 个;内叶盖球度性状的特殊配合力效应值变幅在 $-0.1142 \sim 0.1778$ 之间,正向效应有 15 个。

杂交组合 F_1 代性状特殊配合力效应值的高低,与其亲本相应性状的配合力表现直接相关。在本试验配制的 30 个杂交组合中表现最好的为 $P_2 \times P_4$ 组合,其各性状的特殊配合力效应值除成熟期和毛花率以外,均为正的最高或次高效应。成熟期和毛花率效应值虽然为负,但其绝对值也较高,说明其具有较好的早熟性和不易毛花的特点,是优良的高产早熟材料。亲本 P_2 的球高、单球重等性状的一般配合力均较高,而另一亲本 P_4 这两个性状的一般配合力均较低;亲本 P_2 的成熟期和内叶盖球度性状的一般配合力较低,而另一亲本 P_4 这两个性状的一般配合力均较高。这两个亲本杂交($P_2 \times P_4$)所产生的 F_1 代表现出较强的杂种优势,其各个性状的特殊配合力在

30 个供试组合中均较高(成熟期和毛花率较低)。由此说明,在特殊配合力高的组合中亲本之一至少具有较高的一般配合力。

2.6 花椰菜各个不同性状的相关性分析

对各个性状间各种效应的相关系数估算结果表明(表 7),球高-单球重、球径-单球重、球高-成熟期、单球重-内叶盖球度、成熟期-内叶盖球度这 5 个成对性状间的表型相关系数(r_p)和遗传相关系数(r_g)均呈显著或极显著相关,其中任一性状的选择都会影响另一性状的表现;而球高-毛花率、球高-内叶盖球度、球径-成熟期、球径-毛花率、单球重-毛花率、成熟期-毛花率、毛花率-内叶盖球度这 7 个成对性状间的相关性均不显著,说明这些性状的选择可以独立进行,彼此间不会相互影响,这对于选育同时具备多种优质性状的品种提供了可能。

3 讨论

本试验研究发现,花椰菜的 6 个性状同时受加性和非加性效应控制。一般配合力与特殊配合力方差的比值大小顺序为成熟期(28.70) > 毛花率(2.66) > 球高(2.50) > 内叶盖球度(1.85) > 球径(0.84) > 单球重(0.29),其中成熟期的一般配合力大于特殊配合力,且狭义遗传力相对较高,说明成熟期受加性基因效应影响大,应该利用组合育种法进行选择,并可进行早期选择,这同杨加付等^[3]的研究结果一致,而与李素文等^[6]的研究结果相反,这可能是与花

表 7 花椰菜主要性状间相关系数
Table 7 Correlation coefficient between characters of cauliflower

性状 Character	球高 Head height	球径 Head diameter	单球重 Head weight	成熟期 Maturity traits	毛花率 Bracts ratio	内叶盖球度 Leaf coverage ratio
球高 Head height		0.3902 *	0.8173 **	-0.5913 **	-0.0159	0.0208
球径 Head diameter	0.3276		0.5907 **	0.0825	-0.1875	0.2761
单球重 Head weight	0.8604 **	0.5823 **		-0.3237	0.0603	0.4349 *
成熟期 Maturity traits	-0.6465 **	0.0915	-0.3600 *		0.0315	0.3976 *
毛花率 Bracts ratio	-0.0203	-0.2244	0.0670	0.0292		0.1180
内叶盖球度 Leaf coverage ratio	0.0103	0.3643 *	0.5007 **	0.4290 *	0.1278	

注:表中的右上部分为表型相关系数(r_p),左下部分为遗传相关系数(r_g),* 和 ** 分别表示在 5% 和 1% 水平上的差异显著性。
Notes: Right upper values and left lower values in the data are respectively phenotypic correlation coefficients(r_p) and genetic correlation coefficients(r_g). * and ** indicate significance at 5% and 1% probability levels, respectively.

椰菜品种成熟期受环境影响较大,同一品种栽培时期和栽培季节不同都会严重影响花球成熟期;球高、毛花率和内叶盖球度的一般配合力虽然大于特殊配合力,但其狭义遗传力相对较低,说明受加性基因效应和非加性基因效应的共同影响;而球径、单球重等性状间一般配合力小于特殊配合力,且狭义遗传力均很低,说明这两个性状在很大程度上受显性效应和上位性效应的影响,即这些性状是不能固定遗传的,应利用优势育种法,杨加付等^[11]的研究结果也支持此观点,而李素文等^[6]的研究则认为单球重主要是受加性基因效应的控制,这可能与所选材料和分析方法不同有关。

前人对与秋冬花椰菜产量、品质相关的抗逆性状的遗传分析还较薄弱,尤其是对直接与耐寒性相关的内叶盖球度等性状以及温度剧烈变化下的适应性表现,如毛花率等性状的配合力分析和遗传相关分析尚未见报道。前人对甘蓝的抗寒性^[20]和耐裂球性^[21]的研究表明,两抗逆性状遗传力均较高,以加性效应为主。而本试验结果表明,能够反映花椰菜耐寒性的毛花率和内叶盖球度性状的遗传力均较低,以显性效应和上位性效应为主,其应优先采用优势育种法进行选择。这可能是由于甘蓝的叶球和花椰菜的花球分属营养器官和生殖器官,两者的遗传机制存在较大差异。

一个组合的优劣,不仅取决于双亲的一般配合力效应,而且也取决于特殊配合力效应。二者配合力方差均好的亲本,才是组配杂种一代的优良亲本^[22]。本研究发现从亲本的一般配合力和组合的特殊配合力比较分析,各组合的特殊配合力效应值与亲本的一般配合力效应关系不大,这表明尽管特殊配合力在杂种优势的利用中具有重要意义,但由于一般配合力的大小是衡量一个亲本在杂种优势育种中利用价值的重要指标,在杂交组合选配时既要考虑一般配合力的影响,也要兼顾特殊配合力。

花椰菜育种的性状改良需要考虑各个性状间的相关关系。魏乃荣等^[10]的研究结果表明,在以单球重为目标性状时,单株生物产量、现球期和厚度与其相关性最好。本研究发现球高-单球重、球径-单球重、球高-成熟期、单球重-内叶盖球度、成熟期-内

叶盖球度等5个成对性状间显著相关,其中任一性状的选择都会影响另一性状的表现。而程卫东^[13]等研究则发现花椰菜球高与单球重相关性不显著,球径与单球重相关性虽显著,但球径性状的遗传力很低。造成这种结果差异的原因可能是与供试材料的基因型和数量、环境不同有关,还需要通过扩大供试材料的范围和连续多年试验进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 王化. 上海蔬菜种类及栽培技术研究[M]. 北京:中国农业出版社, 1994: 74-89.
- [2] 黄聪丽, 朱凤林, 刘景春, 邱煜辉, 张春叶. 我国花椰菜品种资源的分布与类型[J]. 中国蔬菜, 1999(3): 35-38.
- [3] 杨加付, 饶立兵, 顾宏辉. 花椰菜熟期性状的遗传效应及其与环境互作分析[J]. 浙江农业学报, 2004, 16(4): 182-185.
- [4] Lal G, Swarup V, Chatterjee S S. Combining ability in early Indian cauliflower[J]. *J Agric Sci*, 1977, 89: 169-175.
- [5] Maluf W R, Corte R D, Toma-Braghini M, Caldas L S, Ikuta H, Kunieda-Yabase M. Early testing of parental combining ability in tropical cauliflower hybrids[J]. *Euphytica*, 1988, 11(4): 893-903.
- [6] 李素文, 孙德岭, 张宝珍, 陈晓莲. 花椰菜主要经济性状的配合力分析[J]. 华北农学报, 1996, 11(4): 104-108.
- [7] Watts L E. The inheritance of curding periods in early summer and autumn cauliflower[J]. *Euphytica*, 1965, 14(1): 83-90.
- [8] Varalakshmi B. Heterosis and combining ability for yield and its components in early cauliflower[J]. *Indian J Hortic*, 2009, 66(2): 198-203.
- [9] Verma Veerendra K, Kalia Pritam. Combining ability studies in early and mid-maturity CMS based cauliflower lines[J]. *Indian J Hortic*, 2011, 68(4): 503-506.
- [10] 魏乃荣, 陆长苹, 李云华, 刘文明, 李素文. 花椰菜主要性状遗传参数的初步研究[J]. 华北农学报, 1992, 7(1): 83-88.
- [11] 杨加付, 饶立兵, 顾宏辉, 叶子弘. 花椰菜花球和植株性状的遗传与相关分析[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2010, 39(4): 361-365.
- [12] 张振贤, 梁书华. 花椰菜花球与其他器官相关性的研

- 究[J]. 山东农业大学学报, 1995, 26(3): 307–310.
- [13] 程卫东. 花椰菜单球重选择指数研究[J]. 甘肃农业科学, 1998(6): 29–31.
- [14] 李光庆, 谢祝捷, 姚雪琴, 陈学好. 花椰菜叶绿素荧光参数与耐寒性的关系研究[J]. 园艺学报, 2010, 37(12): 2001–2006.
- [15] 李加纳. 数量遗传学概论[M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 2007: 151–213.
- [16] 杨业华. 普通遗传学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 264–303.
- [17] 方智远, 孙培田. 甘蓝自交系几个数量性状配合力的分析初报[J]. 中国农业科学, 1982(1): 49–55.
- [18] Gray A R, Crisp P. Breeding system, taxonomy, and breeding strategy in cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) [J]. *Euphytica*, 1977, 26(2): 369–375.
- [19] 李恂, 官春云. 油菜主要性状遗传力和遗传相关的初步研究[J]. 遗传, 1981, 3(3): 24–27.
- [20] 张扬勇, 靳哲, 方智远, 刘玉梅, 杨丽梅, 庄木, 孙培田. 结球甘蓝抗寒性配合力分析及优良抗寒组合选育[J]. 中国蔬菜, 2011(14): 23–27.
- [21] 曾爱松, 刘玉梅, 方智远, 刘玉梅, 杨丽梅, 孙培田. 结球甘蓝耐裂球研究进展[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(2): 307–310.
- [22] 刘玉梅, 王晓武, 方智远, 孙培田, 杨丽梅. 早熟秋甘蓝自交不亲和系的配合力及主要数量性状遗传效应分析[J]. 西南农业大学学报, 1996, 18(5): 421–424.

(责任编辑: 张平)