

青花菜相同亲本的 DH 与 F₂ 群体遗传多样性的比较

孙继峰, 刘玉梅*, 方智远, 刘二艳, 袁素霞, 李占省, 杨丽梅, 庄 木, 张扬勇, 孙培田

(中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081)

摘 要: 以表型差异明显的两个青花菜 (*Brassica oleracea* var. *italica*) 高代自交系为材料杂交获得 F₁, 通过游离小孢子培养技术和人工自交方法, 分别构建了由 176 个 DH 系组成的 DH 群体和由 176 个单株组成的 F₂ 群体。采用性状分离分析和群体遗传多样性分析方法, 对两个群体 13 个主要农艺性状的平均值、变异系数及性状分离区间等遗传表现进行分析。结果表明: 13 个主要农艺性状均是受多基因控制的数量性状, 在 DH 群体和 F₂ 群体中均发现了正向和负向两个方向的超亲基因型, 两群体的平均变异系数和遗传多样性指数相近。可见, 通过 DH 技术育种不仅可以加快亲本的纯化进程, 而且可获得广泛分离的育种资源, 从而提高育种效率。

关键词: 青花菜; DH 群体; F₂ 群体; 性状分离; 遗传多样性

中图分类号: S 635

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2012) 06-1090-09

The Comparison Analysis of Genetic Diversity Between DH Population and F₂ Population Derived from the Same Two Parents in *Brassica oleracea* var. *italica*

SUN Ji-feng, LIU Yu-mei*, FANG Zhi-yuan, LIU Er-yan, YUAN Su-xia, LI Zhan-sheng, YANG Li-mei, ZHUANG Mu, ZHANG Yang-yong, and SUN Pei-tian

(Institute of Vegetable and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: By isolated microspore culture techniques and artificial self-crossing method, DH population with 176 lines separately and F₂ population with 176 individuals were derived from a broccoli combination of two high-generation self-bred lines which were obviously different in phenotype. Average value, coefficient of variation (CV) and segregation region of 13 main agronomic characters were studied by analyzing the separation of agronomic characters and the genetic diversity. The 13 main agronomic traits were generally controlled by multiple genes and inherited as quantitative trait loci (QTLs). The positive and negative transgress genotypes could be generated in DH population and F₂ population. The average CV and genetic diversity index were similar between DH population and F₂ population. Therefore,

收稿日期: 2012-02-29; **修回日期:** 2012-05-02

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项; 国家‘863’计划项目(2007AA10Z174); 国家‘十一五’科技支撑计划项目(2006BAD01A7, 2006BAD13B06); 农业部园艺作物遗传改良重点开放实验室项目

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: liuym@mail.caas.net.cn)

the DH population could be used as breeding material to obtain breeding resources with wider segregation of character and accelerated the progress of parental purification and enhanced the breeding efficiency.

Key words: broccoli; DH population; F₂ population; character segregation; genetic diversity

青花菜 (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck) 常规杂交育种过程中, 为了获得能够稳定遗传的纯合自交系往往需要 6 ~ 7 个世代甚至更长时间。而采用单倍体育种则只经 1 代就可获得纯合的二倍体, 大大缩短育种年限。自 Lichter (1982) 在甘蓝型油菜游离小孢子培养获得成功以来, 十字花科作物游离小孢子培养成为研究热点之一 (Chuong et al., 1988; Duijs et al., 1992), 先后获得了大白菜、油菜、甘蓝、青花菜等 DH 系 (栗根义 等, 1993; 刘二艳 等, 2009; 袁素霞 等, 2009), 为育种亲本材料的获得提供了良好的基础 (耿建峰 等, 2002)。然而优良育种材料的获得在很大程度上取决于育种群体遗传多样性的丰富程度。目前有关甘蓝类游离小孢子培养方面的研究还主要集中在如何提高小孢子出胚率和胚成苗率及小孢子培养技术方面 (Lichter, 1989; Takahata & Keller, 1991; 方淑桂 等, 2006), 对于已经获得的 DH 群体的遗传多样性尚未开展研究和评价, 对其潜在的利用价值缺乏深入的了解, 因而在一定程度上影响了利用游离小孢子培养获得 DH 系进行杂交新品种选育的实际效率。

本研究中以中国农业科学院蔬菜花卉研究所甘蓝青花菜课题组构建的来源于相同亲本的 DH 群体和 F₂ 群体为材料, 对 13 个主要农艺性状进行群体性状分离和遗传多样性分析, 通过分析两个群体的遗传差异, 明确 DH 群体和 F₂ 的遗传特点, 为更有效地利用 DH 系进行育种选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

利用中国农业科学院蔬菜花卉研究所选育的青花菜高代纯合自交系 86101 (P₁) 和 90196 (P₂) 为亲本配制 F₁, 其双亲在株高、外叶数、侧枝数、球高、球宽、球莢叶数、球茎宽、成熟时间等性状方面具有显著差异 (表 1)。

对 F₁ 进行小孢子培养构建含有 176 个基因型的 DH 群体, 同时 F₁ 自交得到含有 330 个基因型的 F₂ 群体, 从中随机选择 176 株作为试验材料。

1.2 田间试验设计

供试材料 P₁、P₂、F₁ 以及 DH 群体和 F₂ 群体于 2008 年秋种植于中国农业科学院蔬菜花卉研究所北圃场试验农场, 一般大田管理。

P₁、P₂、F₁ 各种植 50 株, F₂ 种植 330 株, 按顺序排列。DH 群体采用重复内分组随机区组设计方法安排种植 (盖钧镒, 2000), 将 DH 群体的 176 个家系分为 11 个区组, 每个区组包含 16 个家系, 设 3 次重复, 随机排列, 每重复每株系定植 10 株。

1.3 性状调查及统计方法

在花球成熟时对不同世代及 DH 群体逐株调查其植株性状 (株高、开展度、外叶数、侧枝数)、叶部性状 (叶长、叶柄长、叶宽) 和花球性状 [球高、球宽、球质量、球莢叶数、球茎宽、成熟时间 (从现蕾到花球成熟的天数)], 其中 DH 群体每株系每重复调查 5 株。

调查标准参照《花椰菜和青花菜种质资源描述规范和数据标准》(李锡香 等, 2008)。利用 DPS 和 Excel 进行统计量、遗传参数计算以及聚类分析。

2 结果与分析

2.1 农艺性状分离分析

两个群体与亲本进行比较, DH 群体在叶柄长、叶宽、成熟时间等 3 个性状的平均值超过亲本。而 F₂ 群体在开展度、叶长、叶柄长、叶宽、球高、球质量等 6 个性状的平均值超过亲本。其中叶柄长、叶宽等两个性状在 DH 群体和 F₂ 群体的平均值均超出双亲(表 1, 表 2)。

通过比较发现, 无论 DH 群体还是 F₂ 群体, 最大值与最小值构成的性状分离区间都处于一个较大的范围内, 表现连续变异, 且存在超亲分离现象, 变异丰富, 表明各个性状均是受多基因控制的数量性状, 且亲本中均分布着不同的增效基因和减效基因, 由于基因重组导致无论 DH 群体还是 F₂ 群体均含有正向和负向两个方向的超亲基因型。

DH 群体与 F₂ 群体在同一性状中比较, 除侧枝数在 DH 群体中的最大值(27.08)大于 F₂ 群体中的(24)外, 其余性状的最大值均为 DH 群体小于 F₂ 群体, 而最小值中, 株高、开展度、叶长、叶柄长、叶宽、球高等性状 DH 群体均小于 F₂ 群体。以 DH 群体与 F₂ 群体最大值比较, 球质量的差异最大, 二者相差 28%; 以最小值比较, 成熟时间的差异最大, 相差 23.7%。

比较 DH 群体与 F₂ 群体由最大值和最小值组成的分离区间可以看出, DH 群体除侧枝数的分离区间大于 F₂ 群体的分离区间外, 其余性状均是 DH 群体小于 F₂。DH 群体与 F₂ 群体性状分离区间比值变化范围为 0.63~1.13, 其中球质量性状分离区间比值最小, 为 0.63, 侧枝数比值最大, 为 1.13。这说明利用小孢子培养构建的青花菜 DH 群体, 各主要数量性状虽然分离程度和超亲分离类型较 F₂ 群体弱, 但是仍得到了丰富的分离类型, 通过对 DH 群体不同株系的筛选, 可以选育出超亲的品系, 获得一些优良种质资源。

表 1 双亲 13 个性状的平均值
Table 1 Mean values of 13 traits of the parents

性状 Trait	P ₁	P ₂	t 值 t value
株高/cm Plant height	56.70 ± 5.28	67.43 ± 6.33	- 7.01**
外叶数 Number of rosette leaves	23.97 ± 2.60	21.97 ± 1.70	3.46*
侧枝数 Number of branches	4.47 ± 1.28	13.37 ± 1.70	- 22.47**
开展度/cm Plant breadth	64.37 ± 5.24	63.43 ± 5.57	0.66
叶长/cm Length of leaf	43.13 ± 2.73	43.47 ± 3.21	- 0.43
叶柄长/cm Petiole length	15.33 ± 2.33	15.37 ± 1.82	- 0.06
叶宽/cm Width of leaf	17.15 ± 2.65	18.17 ± 2.11	- 1.62
球高/cm Height of curd	11.07 ± 1.09	10.03 ± 1.30	3.28*
球宽/cm Diameter of curd	12.65 ± 1.04	14.17 ± 1.39	- 4.70**
球质量/kg Curd weight	0.21 ± 0.03	0.22 ± 0.03	- 1.93
球莢叶数 Number of leaflet in curd	42.93 ± 8.34	0	27.73**
球茎宽/cm Diameter of axis in curd	2.45 ± 0.24	3.13 ± 0.36	- 8.49**
成熟时间/d Time to harvest	14.03 ± 1.08	15.73 ± 1.44	- 0.51**

注: *, ** 分别表示达到 5%、1%水平显著性差异。
Note: *, ** represent significant at the 0.05, 0.01 probability levels.

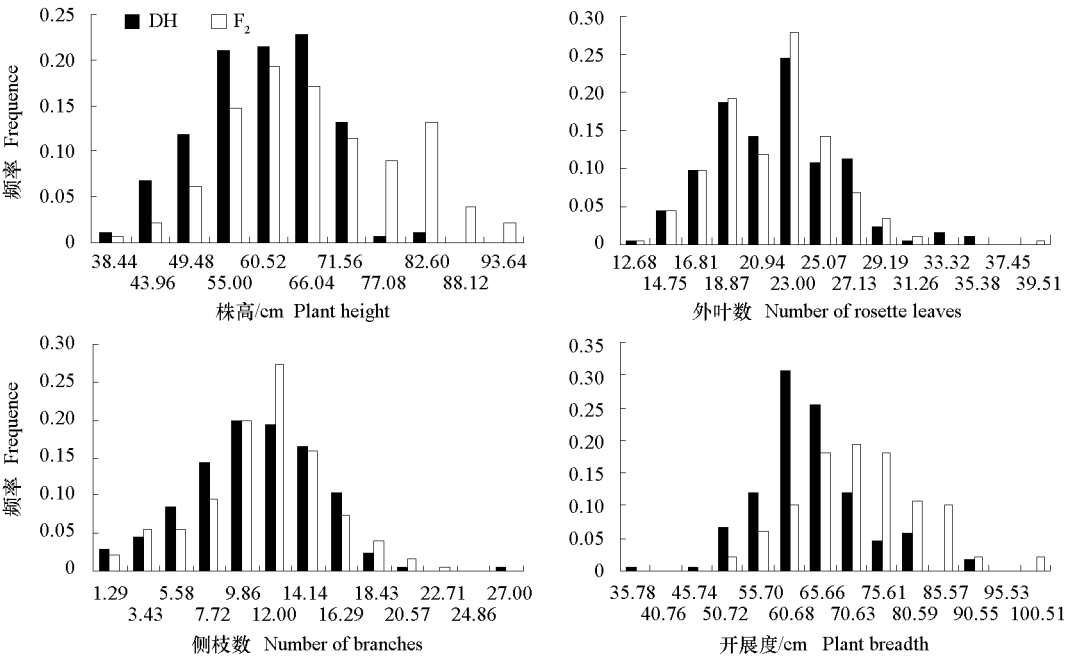
2.2 DH 群体与 F₂ 群体性状分离比较

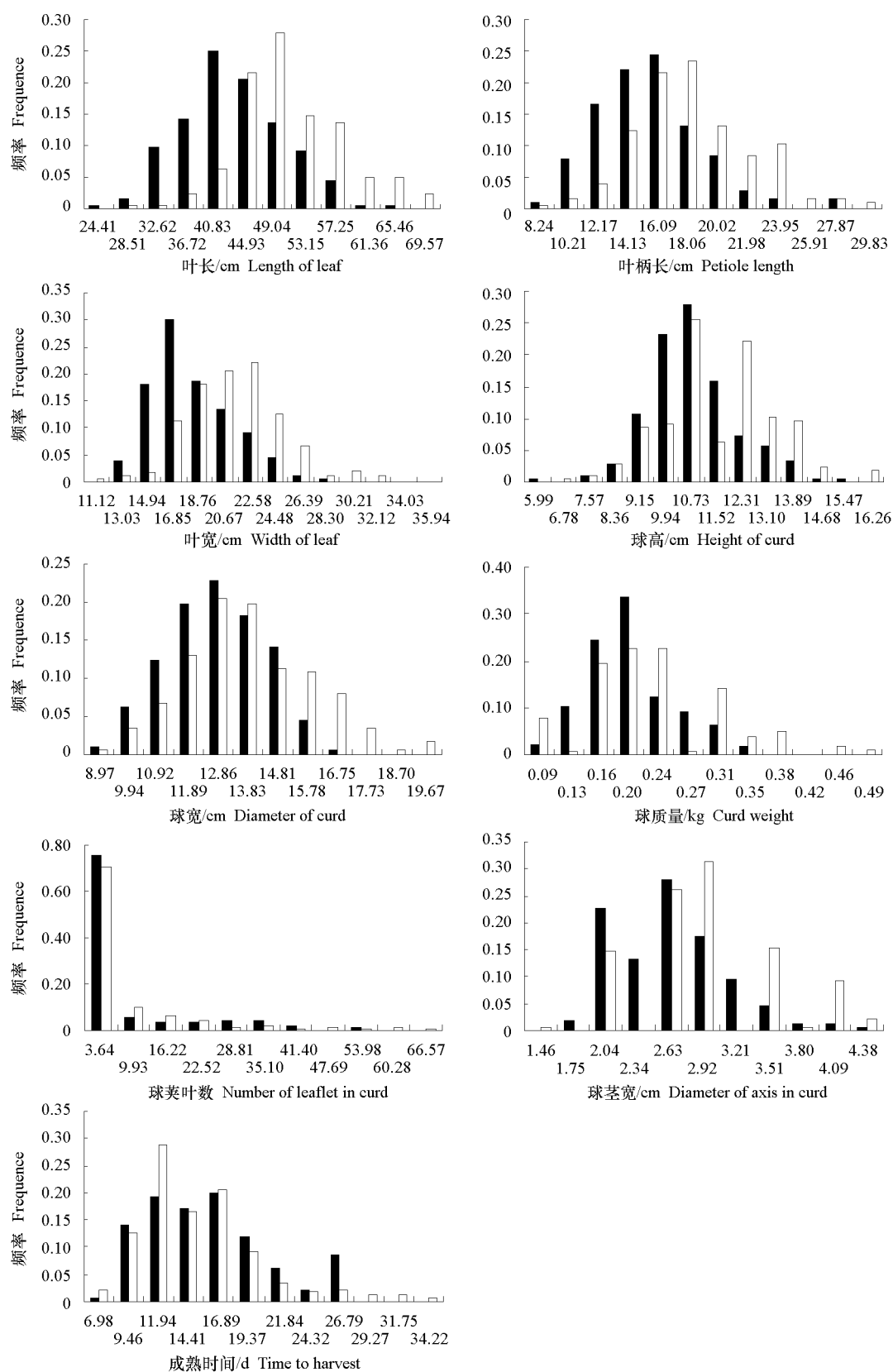
理论上, F₂ 群体有广泛的性状分离, 是育种工作中重要的选择群体。通过小孢子培养获得的 DH 株系是由小孢子形成胚状体后发育而来的, 在不对 DH 群体进行选择的情况下, 各 DH 株系能够反映出经基因重组的 F₁ 配子的分离比例, 所以理论上 DH 群体应该同 F₂ 分离群体一样具有丰富的遗传类型和遗传多样性水平。图 1 反应的是 DH 群体与 F₂ 群体各性状次数分布的比较。

表 2 DH 群体和 F₂ 群体各性状分布
Table 2 Distributions of agronomic traits in DH population and F₂ population

性状 Trait	DH				F ₂				<i>t</i> 测验 <i>t</i> test
	最大值 Max	最小值 Min	极差 Range	平均值 Mean ± <i>SD</i>	最大值 Max	最小值 Min	极差 Range	平均值 Mean ± <i>SD</i>	
株高/cm Plant height	83.64	37.13	46.51	59.75 ± 8.76	95.00	38.00	57.00	66.81 ± 11.95	- 6.33**
外叶数 Number of rosette leaves	36.14	13.40	22.74	22.11 ± 4.13	40.00	13.00	27.00	21.83 ± 4.13	0.64
侧枝数 Number of branches	27.08	0	27.08	10.74 ± 4.31	24.00	0	24.00	11.12 ± 4.27	- 0.82
开展度/cm Plant breadth	84.33	38.10	46.23	64.01 ± 7.89	100.00	49.00	51.00	72.28 ± 10.11	- 8.56**
叶长/cm Length of leaf	63.91	26.30	37.61	43.16 ± 7.03	70.00	29.00	41.00	50.82 ± 7.51	- 9.89**
叶柄长/cm Petiole length	28.18	8.00	20.18	15.50 ± 3.49	30.00	9.00	21.00	18.65 ± 3.71	- 8.19**
叶宽/cm Width of leaf	27.79	12.40	15.39	18.25 ± 3.07	37.00	15.00	32.00	21.18 ± 3.94	- 7.80**
球高/cm Height of curd	15.21	6.00	9.21	10.77 ± 1.38	16.00	6.50	9.50	11.48 ± 1.69	- 4.29**
球宽/cm Diameter of curd	16.59	9.00	7.59	12.80 ± 1.61	19.50	9.00	10.50	13.89 ± 2.10	- 5.46**
球质量/kg Curd weight	0.36	0.09	0.27	0.20 ± 0.05	0.50	0.08	0.43	0.23 ± 0.09	- 3.73**
球莢叶数 Number of leaflet in curd	54.21	0	54.21	6.65 ± 12.25	68.00	0	68.00	6.91 ± 12.95	- 0.20
球莢宽/cm Diameter of axis in curd	4.25	1.67	2.58	2.63 ± 0.49	4.50	1.50	3.00	2.92 ± 0.64	- 4.76**
成熟时间/d Time to harvest	27.00	7.42	19.58	16.10 ± 5.00	34.00	6.00	28.00	15.20 ± 4.88	1.72

注：*、**分别代表达到 5%、1%水平差异显著。
Note: *, ** represent significant at the 0.05, 0.01 probability levels.



图1 DH群体与F₂群体性状次数分布Fig. 1 Frequency distributions of agronomic traits in the DH population and F₂ population

从图 1 可以看出,以性状分布范围为横坐标,以频率为纵坐标作图,将 DH 群体和 F₂ 群体同一性状的次数分布进行比较,除球茎宽在 F₂ 群体中表现为非连续次数分布外,其余性状在两个群体中均表现为连续变异,表明这些性状均为数量性状,其中 DH 群体 13 个性状中侧枝数、开展度、叶长、叶宽、球宽、球莢叶数均为单峰分布,外叶数为双峰分布,这 7 个性状与在 F₂ 群体中分布相似,但在 DH 群体中球茎宽为双峰分布,株高、叶柄长、球高、球质量为单峰分布,成熟时间表现为多峰分布,而在 F₂ 群体中株高、叶柄长、球高、成熟时间则表现为双峰分布,球质量为多峰分布。由于峰数不同代表有不同的遗传模式(盖钧镒等, 2003),所以 DH 群体与 F₂ 群体在株高、叶柄长、球高、球质量、球茎宽、成熟时间等 6 个性状方面反映不同的遗传模式。

2.3 遗传多样性分析

2.3.1 DH 群体和 F₂ 群体各性状变异系数和遗传多样性指数

表 3 列出了两个群体 13 个性状的变异系数和遗传多样性指数。13 个性状的变异系数在 DH 群体和 F₂ 群体中,开展度均表现最小,分别为 0.12 和 0.14,而球莢叶数最大,分别为 1.84 和 1.87。DH 群体与 F₂ 群体的平均变异系数分别为 0.33 和 0.35,经 *t* 检测差异不显著($t = -0.09, P = 0.9265$)。综合其它性状,从变异系数方面看 DH 群体和 F₂ 群体均表现明显的性状分离,在大部分性状上 DH 群体比 F₂ 群体的离散程度小,但是总体差异不明显,证明两个群体的离散程度相似。从遗传多样性指数方面(Shannon 指数)看,两个群体的最小遗传多样性指数均为球莢叶数,分别为 1.36 和 1.38,最大遗传多样性指数则表现在不同性状上, DH 群体表现在叶长(2.08), F₂ 群体则表现在开展度(2.08),两个群体的离散程度相似。通过对两个群体各性状的变异系数和遗传多样性指数比较发现, DH 群体除外叶数、球莢叶数、侧枝数、开展度等 4 个性状的遗传多样性指数略小于 F₂ 群体外,其余 9 个性状均大于或等于 F₂ 群体, DH 群体变异系数在叶长、叶柄长、外叶数以及侧枝数等方面大于或等于 F₂ 群体。两个群体平均遗传多样性指数分别为 1.97 和 1.92,经 *t* 测验差异不显著($t = 0.71, P = 0.4872$),证明 DH 群体和 F₂ 群体遗传多样性的均匀度相似。

表 3 DH 群体与 F₂ 群体各性状变异系数和遗传多样性指数
Table 3 The index of coefficient of variation and genetic diversity of DH population and F₂ population

性状 Trait	变异系数 Coefficient of variation		遗传多样性指数 Genetic diversity index	
	DH	F ₂	DH	F ₂
株高 Plant height	0.15	0.18	2.06	2.06
外叶数 Number of rosette leaves	0.19	0.19	1.95	2.03
侧枝数 Number of branches	0.40	0.38	2.04	2.05
开展度 Plant breadth	0.12	0.14	2.05	2.08
叶长 Length of leaf	0.16	0.15	2.08	2.05
叶柄长 Petiole length	0.23	0.20	1.99	1.96
叶宽 Width of leaf	0.17	0.19	2.02	1.98
球高 Height of curd	0.13	0.15	2.01	1.98
球宽 Diameter of curd	0.13	0.15	2.06	2.02
球质量 Curd weight	0.27	0.37	2.05	1.88
球莢叶数 Number of leaflet in curd	1.84	1.87	1.36	1.38
球茎宽 Diameter of axis in curd	0.19	0.22	1.99	1.65
成熟时间 Time to harvest	0.31	0.32	1.97	1.85
平均 Average	0.33	0.35	1.97	1.92
<i>t</i> 测验 <i>t</i> test	$t = -0.09$		$t = 0.71$	
	$P = 0.9265$		$P = 0.4872$	

2.3.2 DH 和 F₂ 群体聚类分析

利用 DPS 对各个性状值进行标准化转换后,计算欧式遗传距离,进行 UPGMA 聚类分析。通过

计算, DH 群体中个体间的最小距离为 0.5814, 最大距离为 14.2217, 平均遗传距离为 5.9073。F₂ 群体中个体间的最小距离为 0.7302, 最大距离为 13.412, 平均遗传距离为 4.8312。表明在 DH 群体中可能更容易找到差异大的个体用以配制杂交组合。

通过计算, 结果显示 DH 群体中最小聚类距离为 0.5814, 最大聚类距离为 8.9801, 聚类距离跨度为 8.3987。F₂ 群体中的最小聚类距离为 0.7302, 最大聚类距离为 7.1288, 聚类距离跨度为 6.3986。在聚类距离为 7.1288 处, F₂ 群体聚为 2 个类群; 而 DH 群体则可以分为 5 个亚群, 其中第 1 亚群包括 162 个 DH 系, 第 2 亚群包含 4 个 DH 系, 第 3 亚群包含 4 个 DH 系, 第 4 亚群包含 5 个 DH 系, 第 5 亚群包含 1 个 DH 系。92% 的 DH 系集中于第 1 亚群, 只有 14 个 DH 系分布在第 1 亚群外。遗传距离越远, 差异越大, 有特殊性状的几率越大, 以第 5 亚群为例, 此亚群只包含一个 DH 系, 但该 DH 系的性状中包含有最多的侧枝数和最少的球莢叶数, 另有 8 个性状接近最大值。F₂ 群体在聚类距离为 5.0231 处可以分为 9 个亚群, 而 DH 群体在 5.8081 处可以分为 12 个亚群, 以聚类结果来看, DH 群体比 F₂ 群体有更均匀的遗传多样性。

3 讨论

F₂ 群体作为一个分离群体在选择育种和基础理论研究中具有重要地位, 但是利用 F₂ 群体无论是品种选育还是作图分析, 都有其局限性。首先, 从 F₂ 群体中选择到所需要的聚合性状后, 需要经过 6~7 代的自交纯化才能形成可用的自交系, 此过程需要保持一定大小的群体, 同时还需要防止性状丢失; 其次, 用 F₂ 群体作连锁图谱时, 由于 F₂ 群体是临时性分离群体, 重复性差。

DH 群体作为分离群体具有 F₂ 群体所没有的特点: 第一, DH 群体中每个个体的每个位点均为纯和位点, 因此不需要经过长时间的纯化过程, 在群体够大, 有符合的聚合性状时可以明显缩短育种年限, 加快育种进程; 第二, 作为一个永久群体, 在构建图谱时不含有杂合个体, 因此可以应用更多的标记种类, 提高图谱的精度, 同时重复性好, 有利于不同实验室间的交流和完善。

有关芸薹属作物 DH 群体的遗传多样性, 前人在甘蓝、大白菜、油菜等作物上做过少量研究(缪体云 等, 2008; 汪蹇 等, 2009; 李占省 等, 2012), 但是有关青花菜 DH 群体遗传多样性的研究报道较少。Kamiński 等(2003)应用 RAPD 标记对结球甘蓝的 13 个 DH 系(来自 3 个品种)进行了遗传多样性分析, 13 个 DH 系按照品种来源划分为 3 大类群。王涛涛等(2008)对两个来源不同的大白菜 DH 群体的遗传多样性进行了分析, 认为两个大白菜 DH 群体的变异系数相似。焦德丽等(2009)利用 SSR 对甘蓝型油菜的 DH 群体做了遗传多样性分析, 认为 DH 群体的遗传多样性比较丰富。

本研究中首次利用青花菜的 13 个表型数量性状对含有 176 个 DH 系的 DH 群体进行了性状分离和遗传多样性分析并与来源相同的 F₂ 群体进行了比较。研究发现, 在所研究的 13 个性状中, 尽管 DH 群体与 F₂ 群体 9 个性状的均值有显著性差异(表 2), 但是大部分最大值、最小值以及极差的差异并不明显, 仅叶宽和成熟时间差异较大, 说明 DH 群体存在足够广泛的性状分离, 可以用来筛选性状差异较大的亲本材料。从遗传变异和遗传多样性水平比较, 尽管 DH 群体和 F₂ 群体有不同的群体结构, 但是 DH 群体较 F₂ 群体有相似的平均变异系数和遗传多样性指数, 有更大的平均遗传距离以及聚类距离范围, 因此在 DH 群体内可以进行有效的杂交组合选配。本研究结果只是基于农艺性状分析和比较而言, 对于该 DH 群体的遗传多样性研究还有待于从分子水平上进行深入的研究。

作为 F₁ 的后代群体, 理论上 DH 群体与 F₂ 群体在各个性状上应该有相同的配子分离比例, 群体表现上应该有相同的遗传组成和分布规律。本研究中发现, DH 群体与 F₂ 群体在株高、叶柄长、球高、球质量、球茎宽及成熟时间等性状上其遗传模式和分布规律不同, 这可能是由于某些原因导

致了配子比例的不同,从而导致群体间的差异。这主要包括:1. 某些性状与小孢子发生相关的基因连锁,导致在小孢子发生时发生了配子的选择,从而出现了孟德尔分离的不均衡,最终导致群体差异;2. 由于 DH 群体与 F₂ 群体基因组成的不同,所以 DH 群体与 F₂ 群体个体内基因间及基因内的相互关系不同, DH 群体中主要为加性效应和部分上位性效应,而 F₂ 除了加性和上位性效应外还有显性作用;3. 某些性状可能受到细胞质基因组基因的影响,由于细胞质遗传是非孟德尔遗传,因此在后代群体中表现不规律;4. 所构建的 DH 群体和 F₂ 群体不够大,由于孟德尔遗传具有随机性,在群体不够大时,随机偏差大,导致群体的不均衡;5. 环境因素的影响,由于人为的判读错误以及生长微环境的差异导致群体生长的差异。要确定具体的原因,需要从不同的方面利用多种方法进行多次重复的试验。

References

- Chuong P V, Pauls K P, Beversdorf W D. 1988. High-frequency embryogenesis in male sterile plants of *B. napus* through microspore culture. Canadian Journal of Botany, 66 (8): 1676 - 1680.
- Duijs J G, Voorrips R E, Visser D L, Custers J B M. 1992. Microspore culture is successful in most types of *Brassica oleracea* L. Euphytica, 60: 45 - 55.
- Fang Shu-gui, Chen Wen-hui, Zeng Xiao-ling, Zhu Chao-hui, Liao Xiao-zhen, Zheng Xue-li. 2006. Isolated microspore culture and plant regeneration in cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.). Acta Horticulturae Sinica, 33 (1): 158 - 160. (in Chinese)
- 方淑桂, 陈文辉, 曾小玲, 朱朝辉, 廖晓珍, 郑学立. 2006. 结球甘蓝游离小孢子培养及植株再生. 园艺学报, 33 (1): 158 - 160.
- Gai Jun-yi. 2000. The statistical method using in experiment. Beijing: China Agriculture Press: 305 - 306. (in Chinese)
- 盖钧镒. 2000. 试验统计方法. 北京: 中国农业出版社: 305 - 306.
- Gai Jun-yi, Zhang Yuan-ming, Wang Jian-kang. 2003. Genetic system of quantitative traits in plants. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 盖钧镒, 章元明, 王建康. 2003. 植物数量性状遗传体系. 北京: 科学出版社.
- Geng Jian-feng, Yuan Yu-xiang, Zhang Xiao-wei, Jiang Wu-sheng, Chen Xiao, Gao Mu-qiang, Li Gen-yi. 2002. A new Chinese cabbage 'Yuyuan 50'. Acta Horticulturae Sinica, 29 (1): 89. (in Chinese)
- 耿建峰, 原玉香, 张晓伟, 蒋武生, 陈 晓, 高睦枪, 栗根义. 2002. 利用游离小孢子培养技术育成抗热大白菜新品种 '豫园 50'. 园艺学报, 29 (1): 89.
- Jiao De-li, Xu Liang, Yao Yan-mei, Du De-zhi. 2009. Genetic diversity analysis of doubled haploid population in rapeseed (*Brassica napus* L.) based on SSR markers. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 18 (1): 106 - 111. (in Chinese)
- 焦德丽, 徐 亮, 姚艳梅, 杜德志. 2009. 甘蓝型油菜 DH 系的 SSR 遗传多样性研究, 西北农业学报, 18 (1): 106 - 111.
- Kamiński P, Staniaszek M, Kozik E U. 2003. Evaluation of genetic diversity and uniformity of head cabbage DH lines by the use of RAPD markers. J Appl Genet, 44 (2): 157 - 163.
- Li Gen-yi, Gao Mu-qiang, Zhao Xiu-shan. 1993. Isolated microspore culture of Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *pekinensis*). Acta Horticulturae Sinica, 20 (2): 167 - 170. (in Chinese)
- 栗根义, 高睦枪, 赵秀山. 1993. 大白菜游离小孢子培养. 园艺学报, 20 (2): 167 - 170.
- Li Xi-xiang, Fang Zhi-yuan. 2008. Descriptors and data standard for cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L. and *Brassica oleracea* L. var. *italica* Planck). Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 李锡香, 方智远. 2008. 花椰菜和青花菜种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社.
- Li Zhan-sheng, Liu Yu-mei, Fang Zhi-yuan, Yang Li-mei, Zhuang Mu, Zhang Yang-yong, Yuan Su-xia, Zhao Wen, Liu Er-yan, Sun Pei-tian. 2012. Determination of sulforaphane by high performance liquid chromatography and genetic analysis of DH population in broccoli florets. Acta Horticulturae Sinica, 39 (1): 101 - 108. (in Chinese)
- 李占省, 刘玉梅, 方智远, 杨丽梅, 庄 木, 张扬勇, 袁素霞, 赵 文, 刘二艳, 孙培田. 2012. 青花菜 DH 群体花球中菜菔硫烷含量的遗传效应分析. 园艺学报, 39 (1): 101 - 108.
- Lichter R. 1982. Induction of haploid plants from isolated pollen of *Brassica napus*. Zeitschrift für Pflanzenphysiologie, 105: 427 - 434.

- Lichter R. 1989. Efficient yield of embryoids by culture of isolated microspores of different Brassicaceae species. *Plant Breeding*, 103: 119 - 123.
- Liu Er-yan, Liu Yu-mei, Fang Zhi-yuan, Yang Li-mei, Zhuang Mu, Zhang Yang-yong, Yuan Su-xia, Sun Ji-feng, Li Zhan-sheng, Sun Pei-tian. 2009. Genetic analysis of head-leaf traits using mixed major gene plus polygene inheritance model in *Brassica oleracea* L. var. *italica* Planch. *Acta Horticulturae Sinica*, 36 (11): 1611 - 1618. (in Chinese)
- 刘二艳, 刘玉梅, 方智远, 杨丽梅, 庄 木, 张扬勇, 袁素霞, 孙继峰, 李占省, 孙培田. 2009. 青花菜花球‘莢叶’性状主基因 + 多基因遗传分析. *园艺学报*, 36 (11): 1611 - 1618.
- Miao Ti-yun, Liu Yu-mei, Fang Zhi-yuan, Yang Li-mei, Zhuang Mu, Zhang Yang-yong, Yuan Su-xia, Sun Pei-tian. 2008. Genetic analysis of the main agronomic traits of DH population in *Brassica oleracea* var. *capitata*. *Acta Horticulturae Sinica*, 35 (1): 59 - 64. (in Chinese)
- 缪体云, 刘玉梅, 方智远, 杨丽梅, 庄 木, 张扬勇, 袁素霞, 孙培田. 2008. 一个结球甘蓝 DH 群体主要农艺性状的遗传效应分析. *园艺学报*, 35 (1): 59 - 64.
- Takahata Y, Keller W A. 1991. High frequency embryogenesis and plant regeneration in isolated microspore culture of *Brassica oleracea* L. *Plant Science*, 74: 235 - 242.
- Wang Qian, He Jiang-ming, Lin Liang-bin, Zhuang Mu, Wang Yan, Wang Xiao-wu, Wu Jian. 2009. The development of backcross introgression lines (BILs) and genetic analysis for *Brassica campestris*. *Acta Horticulturae Sinica*, 36 (9): 1305 - 1310. (in Chinese)
- 汪 骞, 和江明, 林良斌, 庄 木, 王 艳, 王晓武, 武 剑. 2009. 大白菜回交导入系群体构建及其遗传分析. *园艺学报*, 36 (9): 1305 - 1310.
- Wang Tao-tao, Li Han-xia, Zhang Jun-hong, Ye Zhi-biao. 2008. The genetic diversity of two Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis* Olsson) populations//Advances in Crucifer vegetables of China (2008). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press: 212 - 220. (in Chinese)
- 王涛涛, 李汉霞, 张俊红, 叶志彪. 2008. 两个大白菜 DH 群体内的遗传多样性分析//中国十字花科蔬菜研究进展 2008. 北京: 中国农业科学技术出版社: 212 - 220.
- Yuan Su-xia, Liu Yu-mei, Fang Zhi-yuan, Yang Li-mei, Zhuang Mu, Zhang Yang-yong, Sun Pei-tian. 2010. Plant regeneration from microspore-derived embryos in cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) and broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Chinese Bulletin of Botany*, 45 (2): 226 - 232. (in Chinese)
- 袁素霞, 刘玉梅, 方智远, 杨丽梅, 庄 木, 张扬勇, 孙培田. 2010. 结球甘蓝和青花菜小孢子胚植株再生. *植物学报*, 45 (2): 226 - 232.

征 订

欢迎订阅《园艺学报》

《园艺学报》是中国园艺学会和中国农业科学院蔬菜花卉研究所主办的学术期刊,创刊于 1962 年,刊载有关果树、蔬菜、观赏植物、茶及药用植物等方面的学术论文、研究报告、专题文献综述、问题与讨论、新技术新品种以及园艺研究动态与信息,适合园艺科研人员、大专院校师生及农业技术推广部门专业技术人员阅读参考。

《园艺学报》是中文核心期刊,被英国《CAB 文摘数据库》、美国 CA 化学文摘、日本 CBST 科学技术文献速报、俄罗斯 AJ 文摘杂志、CSCD 中国科学引文数据库等多家重要数据库收录。《园艺学报》荣获第三届国家期刊奖及中国科技信息所“中国精品科技期刊”、武汉大学中国科学评价研究中心“中国权威学术期刊”、中国期刊协会和中国出版科学研究所“新中国 60 年有影响力的期刊”等称号。

根据“中国学术期刊影响因子年报(2011 版)”,《园艺学报》复合总被引频次为 11 630,期刊综合总被引频次 5 317,复合影响因子 1.780,期刊综合影响因子 1.124。

《园艺学报》为月刊,每月 25 日出版。每期定价 40.00 元,全年 480.00 元。国内外公开发行,全国各地邮局办理订阅,国内邮发代号 82 - 471,国外发行由中国国际图书贸易总公司承办,代号 M448。漏订者可直接寄款至本编辑部订购。

编辑部地址:北京市海淀区中关村南大街 12 号中国农业科学院蔬菜花卉研究所《园艺学报》编辑部;

邮政编码:100081;电话:(010) 82109523。E-mail: yuanyixuebao@126.com。网址: <http://www.ahs.ac.cn>。