



# 基于农艺性状的甘蓝型油菜三系骨干亲本多样性分析

张东锁, 臧 珊, 胡胜武, 郭 媛

(西北农林科技大学 农学院, 陕西杨凌 712100)

**摘 要** 为了合理利用油菜种质资源,降低组配油菜杂交组合的盲目性,对 30 份油菜骨干亲本材料的主要农艺性状和品质性状进行考察,采用 11 个农艺性状指标(株高、千粒质量、含油量等)进行遗传多样性分析。结果表明:聚类分析及主成分分析结果一致性较高,30 份参试材料被分为 3 大类,大部分保持系和恢复系材料被分开;方差分析显示,保持系和恢复系材料内变异系数为 86.40%,保持系和恢复系材料间仅为 13.60%,保持系和恢复系材料内部差异大于它们之间的差异。研究结果为油菜杂交育种选配高产亲本组合和生产利用等提供重要的参考依据。

**关键词** 甘蓝型油菜;骨干亲本;农艺性状;品质性状;遗传多样性

**中图分类号** S565.4

**文献标志码** A

**文章编号** 1004-1389(2019)03-0397-07

油菜是世界上重要的经济作物之一,也是中国最重要的油料作物,含有丰富的油脂及蛋白质,是现代重要的食用油和工业油来源<sup>[1]</sup>。甘蓝型油菜(*Brassica napus*, AACC,  $2n=38$ )是由二倍体亲本白菜(*Brassica rapa*, AA,  $2n=20$ )和甘蓝(*Brassica oleracea*, CC,  $2n=18$ )天然杂交后染色体组加倍得到的异源四倍体物种<sup>[2]</sup>。甘蓝型油菜起源于欧洲,于 20 世纪 30 至 40 年代分别由欧洲和日本引入中国,目前已经成为中国油菜的主要栽培类型<sup>[3]</sup>。甘蓝型油菜杂种优势显著,杂种优势的幅度可以达到 30%~60%<sup>[4]</sup>,杂交育种是油菜新品种选育的主要途径,育种材料的遗传变异和种质资源遗传多样性的研究对于选择亲本材料,合理选配杂交组合非常关键。目前,多种细胞标记、生物化学(同工酶)标记和 DNA 分子标记(SSR、SRAP、AFLP 等)等技术被广泛地应用于作物遗传多样性的研究<sup>[5]</sup>,然而,在育种的实施过程中,选育的品种往往要具备很多的符合生产实践的重要性状,表型性状的鉴定和描述仍然是检验遗传变异最基本的方法和途径<sup>[6]</sup>。全面分析种质资源的遗传多样性模式,不仅需要从基因层面探讨其多样性,同时也需要表型多样性的数据<sup>[7]</sup>。前人已经对小麦<sup>[8]</sup>、大麦<sup>[9]</sup>、番茄<sup>[10]</sup>、茶树<sup>[11]</sup>等作

物的表型多样性进行了研究,并在揭示表型变异规律和分类方面取得了有价值的结果。对于油菜育种者而言,育种过程中的农艺性状和品质性状至关重要<sup>[1]</sup>。陈卫江等<sup>[12]</sup>利用株高、单株总荚数、千粒质量等 10 个农艺性状对 24 份甘蓝型油菜细胞质雄性不育保持系和恢复系亲本进行了遗传距离测定分析,并对杂交亲本的遗传距离与杂种优势的相关关系进行了探讨。结果表明,亲本遗传距离与杂种优势间存在一定程度的正相关。Hu 等<sup>[13]</sup>利用 9 个农艺性状对国内外的 63 份甘蓝型油菜进行聚类分析,结果发现可以明显的将中国和欧洲的甘蓝型油菜划分为两大类,为拓展国内资源提供了理论依据。Körber 等<sup>[14]</sup>利用 518 份甘蓝型油菜自交系研究了幼苗发育的多样性及其与农艺性状间的关系,在 8 种检测的种质类型中发现了表型多样性的差异。Chen 等<sup>[15]</sup>对世界各地搜集到的 488 份甘蓝型油菜核心种质的表型性状进行了评估,分析 12 个产量与农艺性状、10 个品质性状的遗传变异,该信息为育种亲本的选择提供了有用的支撑。此外,该研究挖掘到多份优异基因资源和特异遗传材料,可直接用于生产和遗传研究。

本试验对 30 份甘蓝型油菜三系骨干亲本材

收稿日期:2018-11-01 修回日期:2018-12-04

基金项目:陕西省自然科学基金研究计划(2018JQ3046);基本科研业务费专项资金(2452017250)。

第一作者:张东锁,男,硕士研究生,从事油菜遗传育种研究。E-mail:781261762@qq.com

通信作者:郭 媛,女,博士,讲师,从事油菜遗传育种研究。E-mail:guoyuan2109@163.com

料的 11 个农艺和品质性状进行了鉴定,并对其遗传多样性进行分析,划分育种骨干亲本的杂种优势群,旨在为油菜杂交育种的亲本选配和生产利用等提供有效的信息和重要的参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试的甘蓝型油菜骨干亲本材料共有 30 份,包括 15 份恢复系和 15 份保持系材料(基于 Pol/Shaan2A CMS 分类的恢保关系),均为低芥酸和低硫苷材料(表 1)。这些材料包括‘秦优 7 号’‘秦油 10 号’‘陕油 8 号’‘陕油 803’等审定油菜杂交种的父本,或中双系列、浙双系列等常规油

表 1 供试油菜品种编号、来源、类型和品质

Table 1 Code, origin, type and quality of rapeseed accessions

| 序号<br>No | 编号<br>Code | 来源<br>Origin | 类型<br>Type | 品质<br>Quality |
|----------|------------|--------------|------------|---------------|
| 1        | 6C251      | Q10C         | Restorer   | 00            |
| 2        | 6C239      | S11R         | Restorer   | 00            |
| 3        | 6C172      | S8R          | Restorer   | 00            |
| 4        | 6C184      | QY211R       | Restorer   | 00            |
| 5        | 6C216      | HYZ01R       | Restorer   | 00            |
| 6        | 6C163      | 9722         | Restorer   | 00            |
| 7        | 6C206      | Sh11         | Restorer   | 00            |
| 8        | 6C260      | D1526        | Restorer   | 00            |
| 9        | 6C229      | Z6C          | Restorer   | 00            |
| 10       | 6C242      | Q7C          | Restorer   | 00            |
| 11       | 6C246      | Q7C          | Restorer   | 00            |
| 12       | 6C212      | Y6           | Restorer   | 00            |
| 13       | 6C214      | 2000-5R      | Restorer   | 00            |
| 14       | 6C226      | Z821R        | Restorer   | 00            |
| 15       | 6C230      | QSC          | Restorer   | 00            |
| 16       | 6C10       | Zhong 7      | Maintainer | 00            |
| 17       | 6C15       | Zhong 5      | Maintainer | 00            |
| 18       | 6C21       | Zhong 9      | Maintainer | 00            |
| 19       | 6C47       | Zhong9 Ⅲ     | Maintainer | 00            |
| 20       | 6C83       | ZY72         | Maintainer | 00            |
| 21       | 6C96       | 2010B1       | Maintainer | 00            |
| 22       | 6C70       | H15          | Maintainer | 00            |
| 23       | 6C76       | New B1       | Maintainer | 00            |
| 24       | 6C109      | 2010B7       | Maintainer | 00            |
| 25       | 6C124      | 2012B1       | Maintainer | 00            |
| 26       | 6C100      | 2010B4       | Maintainer | 00            |
| 27       | 6C05       | Zhong 2      | Maintainer | 00            |
| 28       | 6C58       | Zhong 4      | Maintainer | 00            |
| 29       | 6C64       | CZ49         | Maintainer | 00            |
| 30       | 6C88       | ZY18         | Maintainer | 00            |

注:“00”代表低芥酸,低硫苷。类型代表基于 Pol/Shaan2A CMS 分类的恢保关系。

Note:“00” represents low content of erucic acid and low content of glucosinolates. Type represents restorers and maintainers of Pol/Shaan2A CMS.

菜品种的高代选系。以上材料均由西北农林科技大学油菜研究中心生物技术育种课题组提供。

试验于 2016 至 2017 年在陕西杨凌西北农林科技大学农学院标本区(北纬 34°16′,东经 108°)试验地进行,采用随机区组试验设计,3 次重复,每个株系种植 5 行,行长 2.0 m,行间 0.50 m,植株间距 0.15 m,每行 15~20 株,四周设置保护行,土壤肥力中等,其他田间管理按常规进行。

### 1.2 农艺和品质性状调查

成熟期在每小区中部随机选择 5 株进行调查,调查记载的性状包括:株高(PH)、分枝部位(SPPFB)、一次有效分枝数(NB)、主花序有效长度(LTM)、主花序有效角果数(NSTR)、单株角果数(NSP)、每角粒数(NS)、角果长度(SL)、千粒质量(TSW)和单株产量(SYP)10 个相关性状。收获种子后,参照文献[16]的方法,利用近红外仪(Foss NIR Systems Inc, Denmark)对小区混合种子进行含油量(OC)测定。

### 1.3 数据分析

采用 SPSS11.0 软件<sup>[17]</sup>的单因素方差分析(One Way ANOVA)程序对恢复系和保持系的 11 个农艺性状和品质性状进行比较。单株产量为理论值,由全株有效角果数、每角粒数、千粒质量的乘积得来。对每个小区下的株高、分枝部位、一次有效分枝数、主花序有效长度、主花序有效角果数、单株角果数、每角粒数、角果长度、千粒质量、单株产量和含油量等 11 个性状的原始数据用 Excel 整理后,采用随机区组试验设计进行 11 个农艺性状和品质性状的方差分析(Analysis of Agronomic and Quality Variance, AAQVA),11 个性状的平均值用于聚类分析。根据马氏距离计算材料间的成对距离。利用 DPS 数据处理软件对各项平均值进行多元统计分析;聚类分析采用 Ward’s 法(离差平方和法)<sup>[18]</sup>进行系统聚类。所有材料的主成分都是从相关系数中提取出来的。利用 DPS 软件对 11 个性状进行有效矩阵分析。用 SPSS11.0 软件的散点图绘制前 2 个主成分的坐标图。

## 2 结果与分析

### 2.1 方差结果分析

30 份参试甘蓝型油菜被分成 2 组,一组为恢复系材料,一组为保持系材料。对 11 个农艺性状和品质性状的方差分析(AAQVA)结果发现(表

2):在恢复系材料中,11 个农艺性状的变异系数从大到小依次为单株产量、分枝部位、单株角果数、角果长度、主花序有效角果数、每角粒数、一次有效分枝数、主花序有效长度、千粒质量、含油量、株高,说明供试材料在恢复系材料差异在单株产量、分枝部位、单株角果数等性状上变异丰富,在千粒质量、含油量、株高方面差异小。除株高和含

油量变异系数分别为 8.09%和 8.33%外,其余性状变异系数都在 10%以上,最大为单株产量,其变异系数为 33.57%。在保持系材料中,11 个农艺性状的变异系数大小与恢复系的基本一致,最大为单株产量(39.65%),最小为株高(6.87%)。然而,所有测试性状在恢复系与保持系上没有显著性差异(表 2 和表 3)。

表 2 恢复系与保持系 11 个农艺性状和品质性状的基本统计数据

| Table 2 The basic statistic data of 11 agronomic and quality traits between restorer and maintainer lines |            |                                  |                                           |                                          |                                         |                                            |                                           |                                        |                                         |                                    |                                         |                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|
| 性状特征<br>Traits                                                                                            | 项目<br>Item | 株高<br>(X <sub>1</sub> )/cm<br>PH | 分枝<br>部位<br>(X <sub>2</sub> )/cm<br>SPFPB | 有效<br>分枝数<br>(X <sub>3</sub> )<br>No. NB | 主序<br>长度<br>(X <sub>4</sub> )/cm<br>LTM | 主序<br>角果数<br>(X <sub>5</sub> ) No.<br>NSTR | 单株<br>角果数<br>(X <sub>6</sub> )<br>No. NSP | 角果<br>长度<br>(X <sub>7</sub> )/cm<br>SL | 每角<br>粒数<br>(X <sub>8</sub> ) No.<br>NS | 千粒质量<br>(X <sub>9</sub> )/g<br>TSW | 单株<br>产量<br>(X <sub>10</sub> )/g<br>SYP | 含油量<br>(X <sub>11</sub> )<br>/%<br>OC |
| 恢复系<br>Restorer<br>(n=15)                                                                                 | 平均数 Mean   | 173.49                           | 69.44                                     | 7.80                                     | 56.76                                   | 71.23                                      | 319.24                                    | 6.85                                   | 204.19                                  | 3.78                               | 18.02                                   | 40.57                                 |
|                                                                                                           | 标准差 SD     | 14.03                            | 14.92                                     | 1.09                                     | 6.21                                    | 11.47                                      | 63.02                                     | 1.25                                   | 29.76                                   | 0.40                               | 6.05                                    | 3.38                                  |
|                                                                                                           | 最大值 Max    | 212                              | 107                                       | 13                                       | 75                                      | 108                                        | 626                                       | 11.0                                   | 351                                     | 5.30                               | 46.39                                   | —                                     |
|                                                                                                           | 最小值 Min    | 137                              | 0                                         | 3                                        | 31                                      | 23                                         | 150                                       | 4.0                                    | 72                                      | 2.47                               | 2.18                                    | —                                     |
| 保持系<br>Maintainer<br>(n=15)                                                                               | 平均数 Mean   | 177.37                           | 69.60                                     | 8.11                                     | 54.03                                   | 67.06                                      | 322.41                                    | 6.57                                   | 188.67                                  | 3.67                               | 15.36                                   | 39.97                                 |
|                                                                                                           | 标准差 SD     | 12.19                            | 15.87                                     | 1.28                                     | 6.54                                    | 10.99                                      | 99.48                                     | 1.16                                   | 32.57                                   | 0.57                               | 6.09                                    | 3.24                                  |
|                                                                                                           | 最大值 Max    | 212                              | 120                                       | 13                                       | 80                                      | 111                                        | 1 348                                     | 9.3                                    | 300                                     | 5.94                               | 64.09                                   | —                                     |
|                                                                                                           | 最小值 Min    | 144                              | 26                                        | 4                                        | 11                                      | 7                                          | 131                                       | 4.8                                    | 104                                     | 2.49                               | 2.62                                    | —                                     |
| 总计<br>Total<br>(n=30)                                                                                     | 平均数 Mean   | 175.43                           | 69.52                                     | 7.95                                     | 55.39                                   | 69.14                                      | 320.83                                    | 6.71                                   | 196.43                                  | 3.72                               | 16.69                                   | 40.27                                 |
|                                                                                                           | 标准差 SD     | 13.07                            | 15.13                                     | 1.18                                     | 6.42                                    | 11.24                                      | 81.84                                     | 1.19                                   | 31.65                                   | 0.49                               | 6.12                                    | 3.27                                  |
|                                                                                                           | 最大值 Max    | 212                              | 120                                       | 13                                       | 80                                      | 111                                        | 1 348                                     | 11.0                                   | 351                                     | 5.94                               | 64.09                                   | —                                     |
|                                                                                                           | 最小值 Min    | 137                              | 0                                         | 3                                        | 11                                      | 7                                          | 131                                       | 4.0                                    | 72                                      | 2.47                               | 2.18                                    | —                                     |

注:PH. 株高;SPFPB. 分枝部位;NB. 一次有效分枝数;LTM. 主花序有效长度;NSTR. 主花序有效角果数;SL. 角果长度;NSP. 单株角果数;NS. 每角粒数;TSW. 千粒质量;SYP. 单株产量;OC. 含油量。

Notes:PH. plant height;SPFPB. setting position of the first primary branch;NB. number of primary branches per plant;LTM. length of terminal raceme;NSTR. number of siliques of terminal;SL. siliques length;NSP. number of siliques per plant;NS. number of seed per si-  
liques;TSW. thousand seed mass;SYP. seed yield per plant;OC. oil content.

表 3 恢复系与保持系 11 个农艺性状和品质性状的变异系数

| Table 3 The variation coefficient of 11 agronomic and quality traits between restorer and maintainer lines |                               |                                        |                                          |                                      |                                            |                                           |                                     |                                         |                                  |                                       |                                 | % |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|---|
| 性状特征<br>Traits                                                                                             | 株高<br>(X <sub>1</sub> )<br>PH | 分枝<br>部位<br>(X <sub>2</sub> )<br>SPFPB | 有效<br>分枝数<br>(X <sub>3</sub> )<br>No. NB | 主序<br>长度<br>(X <sub>4</sub> )<br>LTM | 主序<br>角果数<br>(X <sub>5</sub> )<br>No. NSTR | 单株<br>角果数<br>(X <sub>6</sub> )<br>No. NSP | 角果<br>长度<br>(X <sub>7</sub> )<br>SL | 每角<br>粒数<br>(X <sub>8</sub> )<br>No. NS | 千粒质量<br>(X <sub>9</sub> )<br>TSW | 单株<br>产量<br>(X <sub>10</sub> )<br>SYP | 含油量<br>(X <sub>11</sub> )<br>OC |   |
| 恢复系 Restorer<br>(n=15)                                                                                     | 8.09                          | 21.49                                  | 13.97                                    | 10.94                                | 16.10                                      | 19.74                                     | 18.25                               | 14.57                                   | 10.58                            | 33.57                                 | 8.33                            |   |
| 保持系 Maintainer<br>(n=15)                                                                                   | 6.87                          | 22.80                                  | 15.78                                    | 12.10                                | 16.39                                      | 30.86                                     | 17.66                               | 17.26                                   | 15.53                            | 39.65                                 | 8.11                            |   |
| 总计 Total(n=30)                                                                                             | 7.45                          | 21.76                                  | 14.84                                    | 11.59                                | 16.26                                      | 25.51                                     | 17.73                               | 16.11                                   | 13.17                            | 36.67                                 | 8.12                            |   |

2.2 聚类分析

根据 11 个农艺性状的原始数据,利用 Ward’s 最小方差方法对 30 份油菜供试材料进行聚类分析,并构建聚类图(图 1)。当遗传距离的临界值为 39.73 时,将 30 份参试材料分为三大类(Cluster I ~Ⅲ):Cluster I 包括 16 个材料,其中 12 个为恢复系,如 Q10C、QY211R、Z821R、S11R、QSC 等;4 个为保持系,2010B7、

New B1、Zhong 5 和 Zhong 9。Cluster II 包括 10 个材料,其中 7 个为保持系,如 2012B1、H15、Zhong 7 等;3 个为恢复系,HYZ01R、2000-5R 和 D1526。Cluster III 包括 4 个材料,ZY72、Zhong 2、ZY18 和 CZ49,均为保持系。结果说明,参试恢复系和保持系材料间存在一定的遗传差异。

2.3 主成分分析

利用 DPS 数据处理软件对 11 个农艺性状进

行有效矩阵分析,并绘制散点图(图 2)。PCA 结果表明,PC1 占总变异的 27.38%,PC2 占总变异的 22.11%。PC1 和 PC2 的公式如下:

$$PC1 = -0.2915X_1 + 0.0697X_2 - 0.0518X_3 + 0.2405X_4 + 0.2628X_5 + 0.4878X_6 + 0.3515X_7 + 0.0599X_8 + 0.2755X_9 + 0.2510X_{10} + 0.5258X_{11}$$

$$PC2 = 0.3015X_1 + 0.4600X_2 + 0.3322X_3 + 0.3259X_4 - 0.2079X_5 + 0.1214X_6 + 0.3622X_7 - 0.3332X_8 - 0.3294X_9 - 0.2587X_{10} + 0.0730X_{11}$$

主成分分析(PCA)结果与聚类分析结果相似。从 PCA 分析结果(图 2)中可以看出,30 份材料主要被划分为 3 大类。除 Zhong5 (No. 17)、

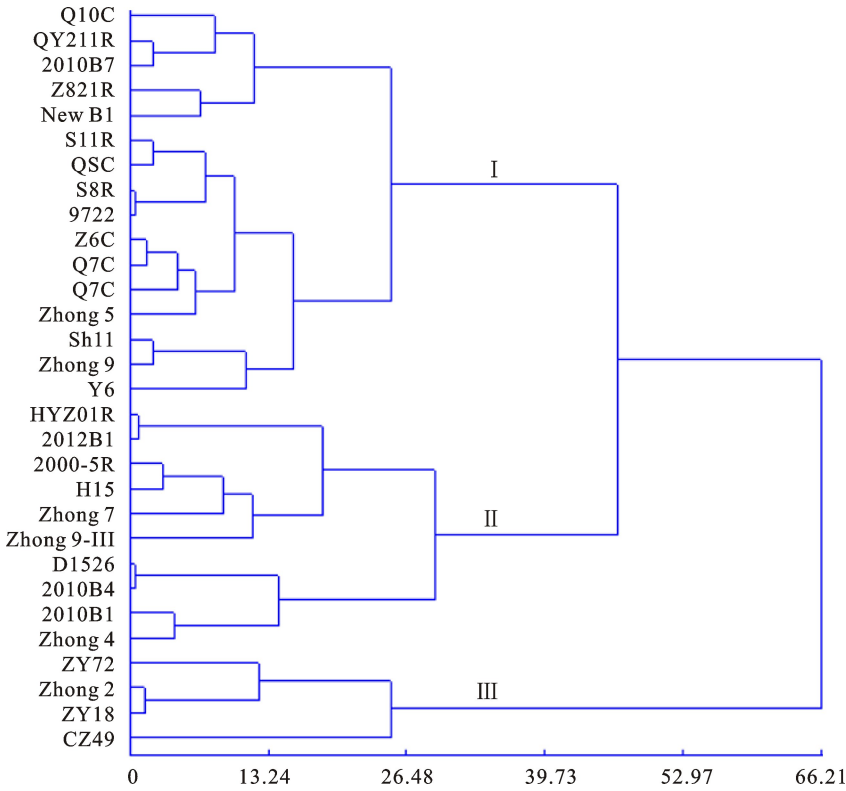


图 1 基于农艺性状构建的 30 份油菜材料的聚类

Fig. 1 Dendrogram of 30 rapeseed materials generated by agronomic traits

extracted from 11 agronomic traits  
of 30 rapeseed accessions

2010B1(No. 21)、H15(No. 22)与 2010B7(No. 24)4 个材料外,其余 11 个恢复系材料都被划为一起,与在聚类分析结果(Cluster I)基本一致;大部分保持系材料也被划在一起;Q10C(No. 1)、Zhong 9 Ⅲ(No. 19)和 CZ49(No. 29)3 个材料在聚类分析中归为第 3 类。

2.4 甘蓝型油菜保持系和恢复系亲本间农艺性状差异分析

外部形态特征的变异在一定程度上反映了遗传变异的大小。由表 4 可以看出,保持系和恢复系材料内变异系数为 86.40%,保持系和恢复系材料间仅为 13.60%。由表 5 可以看出,保持系

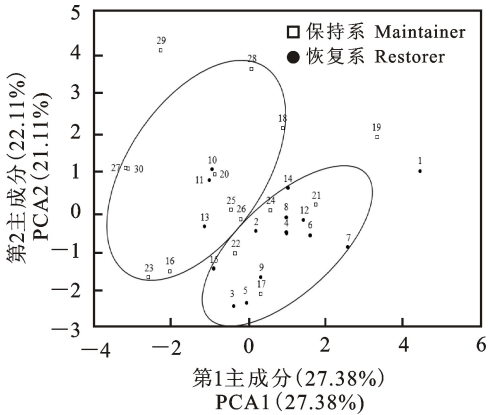


图 2 从 30 份油菜材料的 11 个农艺性状中  
提取的前 2 个主成分坐标图

Fig. 2 Biplot of first two major principal components

内差异最大为 15.35%，恢复系内差异次之为 7.46%，保持系与恢复系间差异最小为 1.80%。总体来说，保持系和恢复系材料内部差异大于它们之间的差异。

表 4 恢复系与保持系油菜农艺性状变异分析

| Table 4 Analysis of agronomic traits variance of rapeseed accessions of restorer and maintainer |           |                       |                             |                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 变异来源<br>Source of variation                                                                     | 自由度<br>df | 平方和<br>Sum of squares | 方差分量<br>Variance components | 变异系数<br>Percentage of variation |
| 群体间 Among populations                                                                           | 1         | 19.170                | 0.897 83                    | 13.60                           |
| 群体内 Within populations                                                                          | 28        | 159.673               | 5.702 62                    | 86.40                           |
| 总计 Total                                                                                        | 29        | 178.843               | 6.600 45                    |                                 |

表 5 不同甘蓝型油菜亲本品种间的差异分析

| Table 5 Pairwise differences of population average |                 |                   |
|----------------------------------------------------|-----------------|-------------------|
| 项目<br>Item                                         | 恢复系<br>Restorer | 保持系<br>Maintainer |
| 恢复系 Restorer                                       | 7.463 96        |                   |
| 保持系 Maintainer                                     | 1.795 67        | 15.346 52         |

注：对角线数据为区内成对材料差异的平均值；对角线下数据为修正后的区间差异平均值。

Note: Diagonal elements: average number of pairwise differences within population (PiX); below diagonal: corrected average pairwise difference (PiXY-(PiX+PiY)/2).

3 讨论

油菜骨干亲本的遗传多样性分析是杂交育种和杂种优势利用的重要基础工作。甘蓝型油菜种植历史较短，中国现有的甘蓝型油菜的原始资源大多来源于欧洲和日本，导致遗传背景相对比较狭窄，品种间遗传多样性普遍不高，可利用资源匮乏<sup>[19]</sup>。

形态学标记是指通过观察或者简单的仪器测量获得的性状，为作物种质资源的分类和多样性分析提供了基本依据<sup>[6]</sup>。农艺性状具有表现直观、便于识别、易于掌握以及与生产直接相关等特点，因而在种植资源的分类、育种亲本材料的选择、组配、以及育成品种的识别上具有重要的应用价值。谢永俊等<sup>[20]</sup>对收集到的 15 个国家的 225 份甘蓝型油菜的农艺性状以及含油量等进行评估与分析，筛选出 22 份优异国外种质资源，并在此基础上选育出了 11 个优质油菜新品种。Tian 等<sup>[21]</sup>利用农艺性状对 96 份油菜材料进行了地理位置的聚类，结果表明：96 份甘蓝型油菜可以聚类到 3 个地理位置上。高必军等<sup>[22]</sup>对甘蓝型油菜的主要农艺性状与单株产量的关系进行了分析，方差分析结果表明：试验所测定的油菜单株产量等 10 个性状在 38 个参试品种间存在显著差异。本研究选择本课题组多年选育成功的 30 份油菜三系骨干亲本株系，包括 15 份保持系和 15

份恢复系甘蓝型油菜，利用聚类分析、主成分分析及方差分析对它们 11 个农艺性状和品质性状进行研究，结果显示：参试亲本材料间存在一定的遗传差异，大部分保持系和恢复系材料被分开，同时，保持系和恢复系材料内部差异大于它们之间的差异。

形态标记虽易观察、操作方便，但表型数量较少，易受环境和作物生育阶段的影响；而 DNA 分子标记不受环境影响和基因表达的时空影响，遗传标记数量多，遍布整个基因组，稳定性好，多态性明显。因此，将形态学性状为主的表型分析与分子标记或其它方式相结合，已经成为目前研究种植资源的有效手段<sup>[23]</sup>。何余堂等<sup>[23]</sup>通过形态学鉴定和 RAPD 分子标记相结合的方法，对不同地理来源的 82 份白菜型油菜 (*B. campestris* L.) 资源进行了分析，揭示了白菜型油菜在中国的起源与进化。蒲晓斌等<sup>[24]</sup>对 73 份西南地区芥菜型油菜资源遗传多样性进行了分析，基于 15 个植物学性状测量数据的聚类分析将其分为 4 大类，共 14 个亚类；RAPD 标记多态性分析结果的聚类分析显示为 3 大类，共 15 个亚类，结果表明西南地区芥菜型油菜资源具有丰富的遗传多样性，聚类结果主要遵循地域和生态环境规律。Ana 等<sup>[25]</sup>通过利用表型数据及 RAPD 标记对 30 份冬油菜品种进行了遗传多样性的评估。对本研究供试材料，臧珊<sup>[26]</sup>利用 SSR 和 SRAP 分子标记对其遗传多样性进行了研究。对农艺性状和 SSR/SRAP 分子标记遗传多样性结果比较发现，二者存在一定的一致性，两种方法都可以将供试材料聚类为 3 类，大部分保持系和恢复系材料被分开，群体内部遗传变异大于群体间的遗传变异。同时，二者也存在一定的差异，表型聚类中，第Ⅰ类 16 个材料在分子标记中仍有 13 个被聚在同一类，第Ⅱ类 10 个材料在分子标记中仍有 6 个被聚在同一类。可见，在 2 种聚类方法中被聚在同一

类的材料居多。其次,2 种方法都发现保持系和恢复系材料内部差异大于它们之间的差异,目前,不同于玉米,油菜中杂种优势群划分和杂优模式研究开展的较少<sup>[27-29]</sup>,这可能是导致油菜保持系和恢复系之间遗传差异较少的原因,因此,需要加强该方面的研究,定向扩大遗传差异。综上,表型性状和分子标记对油菜三系骨干亲本的遗传多样性的鉴定存在一定的差异,但表现更多的是一致性,以上研究结果建立了对供试骨干亲本的整体认识和评价,对育种设计、材料创制和选择、杂交组合选配具有重要的指导价值。

参考文献 Reference:

[1] FRIEDT W, SNOWDON R J. Oilseed Rape [M]. New York: Springer, 2009: 91-126.

[2] CHALHOUB B, DENOEUDE F, LIU S, *et al.* Early allopolyploid evolution in the post-Neolithic *Brassica napus* oilseed genome [J]. *Science*, 2014, 345(6199): 950-953.

[3] 傅廷栋. 杂交油菜的育种与利用[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2000: 6-22.

FU T D. Breeding and Utilization of Hybrid Rape [M]. Wuhan: Hubei Science & Technology Press, 2000: 6-22.

[4] ALI M, COPELAND L O, ELIAS S G, *et al.* Relationship between genetic distance and heterosis for yield and morphological traits in winter canola (*Brassica napus* L.) [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 1995, 91(1): 118-121.

[5] 叶 威. 甘蓝型油菜种质资源遗传多样性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.

YE W. Studies on genetic diversity of *Brassica napus* germplasm resources [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011.

[6] HOREJSI J, STAUB J E. Genetic variation in cucumber (*Cucumis sativus* L.) as assessed by random amplified polymorphic DNA [J]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 1999, 46: 337-350.

[7] GEPTS P, PAPA R. Possible effects of (trans) gene flow from crops on the genetic diversity from landraces and wild relatives [J]. *Environmental Biosafety Research*, 2003, 2: 89-103.

[8] BECHERE E, BELAY D, MITIKU D, *et al.* Phenotypic diversity of tetraploid wheat landraces from northern and north-central regions of Ethiopia [J]. *Hereditas*, 1996, 124: 165-172.

[9] ALLEMAYEHU A, MARYKE T. Phenotypic variation in barley (*Hordeum vulgare* L.) landraces from north Shewa in Ethiopia [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2004, 13: 1441-1451.

[10] TERZOPOULOS P J, BEBELI P J. Phenotypic diversity in Greek tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces [J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, 126: 138-144.

[11] 李 瑞, 肖 斌, 宋红霞, 等. 50 份茶树种质资源农艺性状及其聚类分析[J]. 西北农业学报, 2011, 20(10): 107-111.

LI R, XIAO B, SONG H X, *et al.* Agronomic traits and cluster analysis of 50 tea germplasm resources [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2011, 20(10): 107-111.

[12] 陈卫江, 李 墓, 于德日. 杂交油菜亲本遗传距离分析与杂种优势[J]. 作物研究, 1997(3): 21-24.

CHEN W J, LI M, YU D R. Parental genetic distance analysis and heterosis of hybrid rape [J]. *Crop Research*, 1997(3): 21-24.

[13] HU S W, YU C Y, ZHAO H X, *et al.* Genetic diversity of *Brassica napus* L. germplasm from China and Europe assessed by some agronomically important characters [J]. *Euphytica*, 2007, 154: 9-16.

[14] KÖRBER N, WITTKOP B, BUS A, *et al.* Seedling development in a *Brassica napus* diversity set and its relationship to agronomic performance [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2012, 125: 1275-1287.

[15] CHEN B Y, XU K, LI J, *et al.* Evaluation of yield and agronomic traits and their genetic variation in 488 global collections of *Brassica napus* L. [J]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2014, 61: 979-999.

[16] LEONARDO V, HEIKO C BECKER. Estimating the fatty acid composition of the oil in intact-seed rapeseed (*Brassica napus* L.) by near-infrared reflectance spectroscopy [J]. *Euphytica*, 1998, 101: 221-230.

[17] 张文彤. SPSS 分析基础教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2017: 26-50.

ZHANG W T. SPSS Analysis Basic [M]. Beijing: Higher Education Press, 2017: 26-50.

[18] TANG Q Y, FENG M G. Practical Statistics and DPS Data Processing System [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1997: 407.

[19] 刘后利. 油菜遗传育种学[M]. 北京: 中国农业大学出版, 2000: 32-36.

LIU H L. Rapeseed Breeding Subjects [M]. Beijing: China Agriculture University Press, 2000: 32-36.

[20] 谢永俊, 曾 彪, 王奇彬. 外国甘蓝型油菜优异种质资源的研究与利用[J]. 西南农业学报, 2001, 14(1): 51-54.

XIE Y J, ZENG B, WANG Q B. Utilization and research for foreign germplasm of napus rapeseed [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2001, 14(1): 51-54.

[21] TIAN H Y, LI W, VRATISLAV K, *et al.* Phenotypic diversity of rapeseed accessions from different geographic locations [J]. *Oil Crop Science*, 2016, 1: 9-20.

[22] 高必军, 李 军, 洪 江. 甘蓝型油菜若干农艺性状与单株产量的关系分析[J]. 生物数学学报, 2017, 22(1): 137-144.

GAO B J, LI J, HONG J. Relation analysis of several agronomic traits and yield per plant in *Brassica napus* L. [J].

*Journal of Biomathematics*, 2017, 22(1):137-144.

[23] 何余堂,陈宝元,傅廷栋,等. 白菜型油菜在中国的起源与进化[J]. 遗传学报, 2003, 30(11):1003-1012.

HE Y T, CHEN B Y, FU T D, *et al.* Origins and evolution of *Brassica campestris* L. in China [J]. *Journal of Genetics and Genomics*, 2003, 30(11):1003-1012.

[24] 蒲晓斌,王茂林,栾 丽,等. 中国西南地区芥菜型油菜资源遗传多样性分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(8):1610-1621.

PU X B, WANG M L, LUAN L, *et al.* Genetic diversity analysis of *Brassica juncea* L. and races in Southwest China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(8):1610-1621.

[25] ANA M, ANKICA K, DEJANA S, *et al.* Phenotypic and molecular evaluation of genetic diversity of rapeseed(*Brassica napus* L.) genotypes [J]. *African Journal of Biotechnology*, 2009, 8(19):4835-4844.

[26] 臧 珊. 甘蓝型油菜三系骨干亲本遗传多样性分析[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2018.

ZANG SH. Genetic diversity of a panel of elite parental lines in *Brassica napus* L. [D]. Yangling Shannxi: Northwest A&F University, 2018.

[27] QIAN W, SASS O, MENG J, *et al.* Heterotic patterns in rapeseed(*Brassica napus* L.): I. Crosses between spring and Chinese semi-winter lines [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2007, 115(1):27-34.

[28] QIAN W, LI Q, NOACK J, *et al.* Heterotic patterns in rapeseed(*Brassica napus* L.): II. Crosses between European winter and Chinese semi-winter lines [J]. *Plant Breeding*, 2009, 128(5):466-470.

[29] TIAN H Y, CHANNA S A, HU S W. Heterotic grouping and the heterotic pattern among Chinese rapeseed accessions(*Brassica napus* L.) [J]. *Agronomy Journal*, 2015, 107(4):1321-1330.

## Phenotypic Diversity of a Panel of Elite Lines in *Brassica napus* L.

ZHANG Dongsuo, ZANG Shan, HU Shengwu and GUO Yuan

(College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

**Abstract** Rapeseed germplasm resources are very important for breeding in plants. In order to make efficient use of rapeseed germplasm resources and reduce blindness in combination selection of crosses, the genetic diversity of 30 elite lines in *Brassica napus* L. was evaluated in the study by 11 agronomic and quality traits, including plant height, thousand seeds mass, oil content and so on. The results of cluster analysis and principal component analysis were consistent. 30 tested materials were classified into three groups, most maintainer lines and restorer lines were separated each other. The variance analysis showed that the coefficient of variation within populations was 86.40%, the difference among populations was 13.60%, this showed that the difference within maintainers and restorers was greater. The present study is helpful to guide the selection of strong heterosis combinations and make more effective use of heterosis.

**Key words** *Brassica napus* L.; Elite line; Agronomic traits; Quality traits; Genetic diversity

**Received** 2018-11-01      **Returned** 2018-12-04

**Foundation item** Basic Research Plan of Natural Science of Shaanxi Province(No. 2018JQ3046); the Fundamental Research Funds for the Central Universities(No. 2452017250).

**First author** ZHANG Dongsuo, male, master student. Research area: rapeseed genetics and breeding. E-mail: 781261762@qq.com

**Corresponding author** GUO Yuan, female, Ph. D, lecturer. Research area: rapeseed genetics and breeding. E-mail: guoyuan2109@163.com