文章编号:1000-7601(2019)05-0130-07 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2019.05.19

北方白菜型冬油菜花器特性及农艺性状与含油量的相关性

白 静,孙万仓,马 骊,武军艳,蒲媛媛,何辉立,许德蓉,剡江梅,常 瑜,徐春梅,方 彦,李学才,牛早霞 ,盘荣德

(甘肃省油菜工程技术研究中心 甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室 甘肃省干旱生境作物学重点实验室 甘肃农业大学农学院,甘肃 兰州 730070)

摘 要:为研究北方白菜型冬油菜花冠直径与千粒重及含油量之间的相关性,以 20 份不同的白菜型冬油菜为材料,测定花器大小、农艺性状、种子含油量及蛋白质含量,并对控制花器特征基因 *mf*6、*apetala* 和 *myb* 进行实时荧光定量 PCR 分析。结果表明:花冠直径受雌蕊直径影响较大,主成分分析提取的 3 个主成分可综合为花器各性状长度、雌蕊直径和花器各性状宽度;以花冠直径为指示性状,将 20 份白菜型冬油菜花冠划分为 3 类群;相关性分析表明,花冠直径与千粒重呈极显著正相关,相关系数 0.663;千粒重与含油量呈极显著正相关,与蛋白质含量呈显著负相关。相较于小花,*mf*6 在大花中相对表达量上调了 151.63%,而 *apetala* 和 *myb* 分别下调了 83.80%和 72.70%。北方白菜型冬油菜品种间花器大小存在显著差异;在育种中可通过增加花冠直径来提高千粒重,进而增加油菜产油量,培育高含油量白菜型冬油菜品种。*mf*6、*apetala* 和 *myb* 基因对白菜型冬油菜花器生长发育均具有一定调控作用。

关键词:白菜型冬油菜;花器性状;农艺性状;含油量;相关性

中图分类号:S565 **文献标志码**:A

Correlation between floral characteristics, agronomic traits and oil content of winter rapeseed (*Brassica rapa* L.) in northern China

BAI Jing, SUN Wan-cang, MA Li, WU Jun-yan, PU Yuan-yuan, HE Hui-li, XU De-rong, YAN Jiang-mei, CHANG Yu, XU Chun-mei, FANG Yan, LI Xue-cai, NIU Zao-xia, PAN Rong-de

(*Gansu Provincial Engineering Research Center of Rapeseed*, *Gansu Provincial Key Laboratory of Arid Land Crop Sciences*, *Improvement and Key Laboratory of Crop Genetics and Planting Innovation of Gansu Province*, *College of Agronomy*, *Gansu Agricultural University*, *Lanzhou*, *Gansu* 730070, *China*)

Abstract: To study the correlation between the diameter of corolla and the 1000-grain weight and oil content of winter rapeseed (*Brassica rapa* L.) in northern China, twenty of different winter rapeseeds were used as materials to measure flower size, agronomic traits, seed oil content and protein content, and real-time quantitative PCR analysis was performed on the control gene *mf*6, *apetala* and *myb*. The results showed that the diameter of the corolla was greatly affected by the diameter of the pistil; The three principal components extracted from the principal component analysis could be integrated into the length of each trait of the flower, the diameter of the pistil, and the width of each trait of the flower; Using the diameter of the corolla as an indicator, 20 Chinese cabbage-type winter corollas were divided into three groups; Correlation analysis showed that the diameter of the corolla was significantly positively correlated with the 1000-grain weight, with a correlation coefficient of 0.663. 1000-grain weight was significantly positively correlated with oil content and significantly negatively correlated with protein con-

收稿日期:2018-08-07 **修回日期**:2019-08-06

基金项目:国家现代农业产业技术体系(CARS-12);国家自然科学基金(31460356,31560397);973 计划(2015CB150206);科技部"油菜杂种优势利用技术与强优势杂交种创制"项目(2016YFD0101300);国家农业科技成果转化项目(2014G10000317);甘肃省自然科学基金(145RJZG050)

作者简介:白静(1992-),女,甘肃榆中人,硕士研究生,研究方向为油菜育种。E-mail:1328229331@qq.com

通信作者:孙万仓(1957-),男,甘肃会宁人,教授,博士,主要从事油菜育种及十字花科种质资源研究。E-mail:18293121851@163.com

tent. Compared with florets, the relative expression of *mf* 6 in large flowers were increased by 151.63%, while that of *apetala* and *myb* were down by 83.80% and 72.70%, respectively. There was a significant difference in flower sizes among winter rapeseed (*Brassica rapa* L.) varieties in northern China. In breeding, the 1000-grain weight can be increased by increasing the diameter of the corolla, thereby increasing the oil production of rapeseed and cultivating the high oil content winter rapeseed (*Brassica rapa* L.). *mf* 6, *apetala* and *myb* genes can regulate the growth and development of floral of winter rape (*Brassica rapa* L.)

Keywords: *Brassica rapa* L.; floral traits; agronomic traits; oil content; correlation analysis

含油量是油菜重要品质性状之一,并与其经济性状及植物学性状有关。因此研究与含油量相关的花器等植物学特征特性及农艺性状,对培育高含油量油菜品种、提高油菜含油量具有重要意义[1]。近年来,作物花器研究受到广泛关注,水稻[2-4]、油菜[5]、辣椒[6-8]、大丽花[9]和大豆[10]等作物花器性状的遗传研究已有大量报道。张冬青等[5]研究表明,甘蓝型油菜花器大小与角果长、每角粒数呈极显著正相关,与单株有效角果数呈显著负相关。王国槐等[11]研究表明,甘蓝型油菜每角粒数与花瓣宽呈极显著正相关,与花瓣长呈显著正相关。刘后利[12]研究表明,油菜含油量与种子大小和种皮色泽的深浅及厚度呈极显著正相关。曹颖妮等[10]研究表明,大豆花柱长度与底荚高、株高呈显著负相关。同时,研究表明 *mf* 6(多聚半乳糖醛酸酶基因)为与花粉生长发育密切相关的基因[13],*apetala* 为萼片和花瓣发育的调控基因[14],*myb* 为调控花器官发育的转录因子[15],在植株花发育过程中均起到重要作用。黄荣仙等[13]对 *mf* 6 定量表达分析结果表明,*mf* 6基因不仅与油菜育性密切相关,可能也与花丝的伸长生长有关。戚晓利等[16]通过对 *apetala*1 原位杂交研究表明,其仅在花中表达并受 AG 抑制来决定萼片和花瓣发育。

白菜型冬油菜是我国北方重要油料作物,但关于白菜型冬油菜花器性状与农艺性状、含油量及蛋白质含量的相关性研究未见报道。本研究选用 20 份不同的白菜型冬油菜为研究材料,对其花器性状间、花器性状与农艺性状、农艺性状与含油量及蛋白质含量的相关性进行分析,并对花器差异表达基因 *mf* 6、*apetala* 和 *myb* 进行了实时荧光定量 PCR 分析,以探讨白菜型冬油菜花冠与千粒重及含油量间的关系,为培育高含油量白菜型冬油菜提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材　料

供试材料为 20 份花冠直径大小不同的白菜型冬油菜(表 1)。

1.2　试验设计

供试材料于 2016 年 8 月 15 日播种在兰州新区上川试验基地,年均气温 5.9℃,最冷月平均最低温约-10℃,极端低温-28℃左右,冬季负积温-570℃;年平均日照时数为 2 659 h,无霜期为 142 d;年降水量 327 mm。试验地前茬冬小麦,播前结合翻耕整地施尿素 150 kg · hm^{-2}、磷酸二铵 150 kg · hm^{-2}作基肥,其他管理同大田生产。试验小区 6 m^2(2 m×3 m),重复 3 次。2017 年 5 月 23 日测定花器性状,以天油 4 号大花(突变体)为供试材料对花器差异表达基因 *mf* 6、*apetala* 和 *myb* 进行实时荧光定量 PCR 分析。2017 年 7 月 10 日收获后,进行农艺性状、含油量及蛋白质含量的测定。

1.3　测定项目与方法

1.3.1　花器测定项目　包括花冠直径,花瓣长,花瓣宽,花萼长,花萼宽,雄蕊长(长),雄蕊长(短),雌蕊长,雌蕊直径,单位均为 mm。

1.3.2　经济性状测定[17]　包括株高(cm),分枝部位(cm),一次分枝数,二次分枝数,主花序长度(cm),角果长度(cm),主花序结角数,全株结角数,千粒重(g),单株产量(g),角粒数(粒)。

1.3.3　品质测定　采用丹麦福斯(FOSS)近红外品质分析仪测定蛋白质含量(%)和含油量(%)。

1.3.4　*mf* 6、*apetala*、*myb* 表达量测定　根据 Tiangen 试剂盒(DP419)说明书提取花器总 RNA,按照 TaKaRa cDNA(RR036A)说明书进行反转录,以 cDNA 为模板、MF6-PF:5′-TATTGGAGACGGGACGAG-3′,MF6-PR:5′-CAGTGTTTATGAGGGTGG-3′;APETALA-PF:5′-TTTCCTCGGTCTCACTGG-3′,APETALA-PR:5′-GTAAAACGTAACGCCTCT-3′;MYB-PF:5′-GAAAAATGTTTGGATGCC-3′,MYB-PR:5′-AATTGATGACGATGCTGG-3′为检测引物,按照 Tiangen 试剂盒(FP205)说明书进行实时荧光定量 PCR 分析。

1.4　统计方法

利用 Excel 2010 和 SPSS19 软件对获得的数据进行统计,并进行相关性及主成分分析。

表 1 白菜型冬油菜材料来源及特性

Table 1 Origin and characteristic of winter rapeseed (*Brassica rapa* L.) materials

材料名称 Material	花冠直径 Corolla diameter/mm	材料名称 Material	花冠直径 Corolla diameter/mm
天油 4 号 Tianyou 4	18.10~18.91	17QX47	20.69~22.1
PZ20	17.83~18.35	17QX91	16.97~17.83
12PII-12	18.40~19.49	17QX94	15.48~16.83
天油 258 Tianyou 258	18.80~19.49	17QX125	16.88~17.77
天油 178 Tianyou 178	18.11~19.28	17OX160	16.78~17.75
17PX14	16.86~17.64	17QX167	18.14~19.69
17PX17	16.01~16.76	17QX199	16.09~17.35
17PX31	15.19~16.46	17QX283	16.65~17.51
17PX37	17.27~17.70	17QX292	18.42~19.18
17GL63	17.95~18.42	17RTS10	18.85~20.86

注:表中材料均由甘肃省油菜工程技术研究中心选育。

Note: The materials in table were all selected by Gansu Provincial Engineering Reasearch Center of Rapeseed.

采用 SYBR Green I 染料法进行实时荧光定量 PCR,数据处理采用内参基因的 dCT 法,

计算公式[18]:

$$\text{Ratio}(\text{reference}/\text{target}) = 2C_T(\text{reference}) - C_T(\text{target})$$

2 结果与分析

2.1 参试材料花器性状变化

参试材料间花冠直径及其他花器性状均存在显著差异(图 1)。参试材料中,花冠直径在 16.22~21.27 mm 之间,其中在 16.0~17.2 mm 和 18.4~19.6 mm 之间居多,各占 35%,17.2~18.4 mm 次之,占 25%(图 2A);花瓣长在 10.18~12.90 mm 之间,10.7~11.4 mm 居多(图 2B),占 40%;花瓣宽 6.35~8.43 mm,35%材料在 6.6~7.2 mm 之间(图 2C);花萼长 5.66~7.82 mm,35%在 6.2~6.8 mm 之间(图 2D);花萼宽 1.57~1.89 mm,65%材料在 1.6~1.8 mm 之间(图 2E);雄蕊长(长)6.40~8.03 mm,40%材料在 7.0~7.5 mm 之间(图 2F);雄蕊长(短)4.71~6.39 mm,40%在 5.0~5.5 mm 之间(图 2G);雌蕊长 6.48~8.73 mm,35%材料在 7.2~7.8 mm 之间(图 2H);雌蕊直径 0.59~0.83 mm,65%材料在 0.7~0.9 mm 之间(图 2I)。

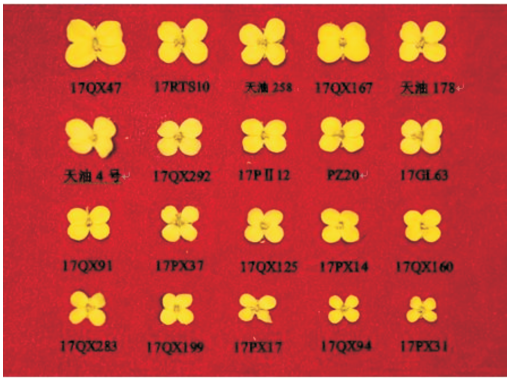


图 1 20 份白菜型冬油菜材料花冠直径

Fig.1 Corolla diagram of 20 winter rapeseed (*Brassica rapa* L.) materials

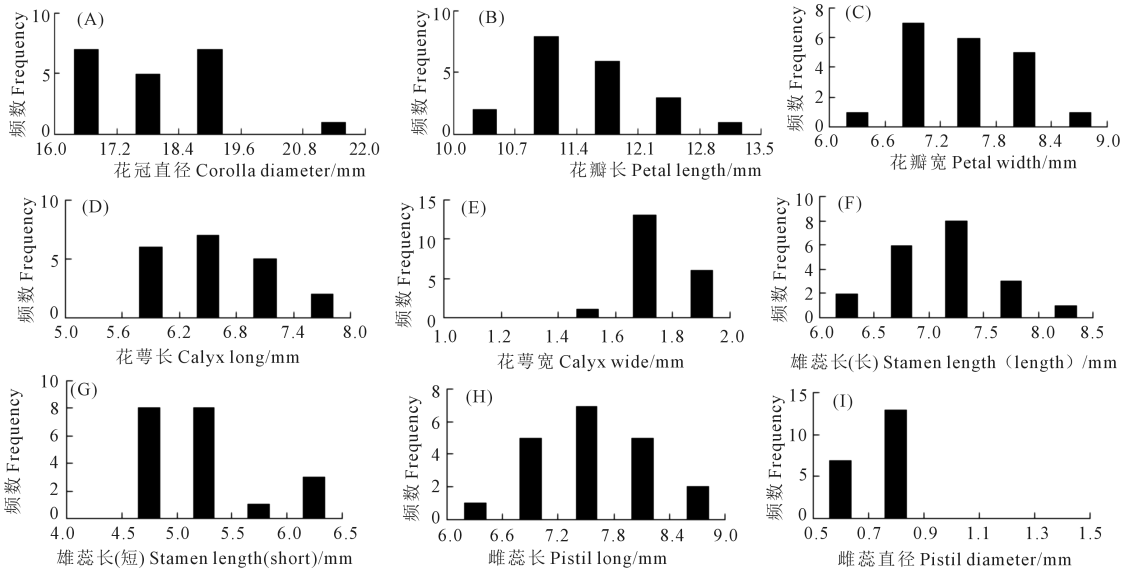


图 2 参试材料主要花器性状频数分布直方图

Fig.2 The histogram of the main floral organ character frequency distribution of the participants

从 20 份白菜型冬油菜花器性状主成分分析结果中提取了 3 个主成分,累计贡献率为 66.916%,其中第一主成分贡献最大,为 41.026%,第二、三主成分贡献率分别为 14.854%和 11.036%(表 2)。

3 个主成分各因子的特征向量(表 3)表明,10 个花器性状中花冠直径特征值最大,为 0.488。在第一主成分的特征向量中,特征值较大且为正的有花冠直径、花瓣长、花萼长、雄蕊长(长)、雄蕊长(短)和雌蕊长。因此第一主成分可综合为花器各性状长度相关性状。第二主成分中特征值较大且为正的有雌蕊直径,特征值为负且绝对值较大的有雄蕊长(长)。第二主成分主要反映了雌蕊直径。第三主成分中特征值较大且为正的有花瓣宽和花萼宽。第三主成分可综合为花器各性状宽度相关性状。

主成分分析结果,花冠直径特征值最大,因此以花冠直径为指示性状,对 20 份供试材料进行聚类分析,在相对距离为 5 处,将来源地相同、品种不同的 20 份白菜型冬油菜花冠直径分为 3 类(图 3),第Ⅰ类群为 17QX47,花冠直径 21.27 mm。第Ⅱ类群包括天油 4 号、PZ20、12PⅡ-12、天油 258、天油 178、17GL63、17QX167、17QX292 和 17RTS10,花冠直径 18.11(17GL63)~19.29 mm(17RTS10)。第Ⅲ类群包括 17PX14、17PX17、17PX31、17PX37、17QX91、17QX94、17QX125、17OX160、17QX199 和 17QX283,花冠直径 16.22(17PX31)~17.41 mm(17QX91)。

表 2　花器性状 3 个主要主成分的特征值及方差贡献率

Table 2　The characteristic value and variance contribution rate of the three main constituent components of floral organ traits

主成分 Main constituent	特征值 Eigenvalue	方差贡献率/% Variance contribution rate	累计方差贡献率/% Accumulated variance contribution rate
1	4.103	41.026	41.026
2	1.485	14.854	55.880
3	1.104	11.036	66.916

表 3　花器性状主要主成分各因子的特征向量

Table 3　The feature vectors of the main constituent of the floral organ traits

性状 Character	主成分 Main constituent		
	1	2	3
花冠直径 Corolla diameter	0.488	0.226	0.030
花瓣长 Petal length	0.416	−0.139	0.189
花瓣宽 Petal width	0.196	0.256	0.371
花萼长 Calyx long	0.373	0.075	0.011
花萼宽 Calyx wide	0.096	0.139	0.712
雄蕊长(长) Stamen length (length)	0.334	−0.503	0.069
雄蕊长(短) Stamens length (short)	0.358	−0.452	0.060
雌蕊长 Pistil long	0.271	−0.112	−0.418
雌蕊直径 Pistil diameter	0.300	0.375	−0.071

2.2　花冠直径与各花器性状回归分析

花冠直径与花瓣长、花瓣宽、花萼长、花萼宽、雄蕊长(长)、雄蕊长(短)和雌蕊直径正相关,与雌蕊长呈负相关,回归方程分别为 $y = 0.7069x + 9.7913$;$y = 1.2881x + 8.3915$;$y = 0.8538x + 12.314$;$y = 3.5985x + 11.659$;$y = 0.4415x + 14.8$;$y = 0.4457x + 15.602$;$y = 11.486x + 9.6485$;$y = -0.1258x + 18.883$(图 4)。说明花冠直径大小与花器各性状的大小密切相关,尤其受雌蕊直径影响较大。

2.3　花器性状与农艺性状的相关性

花冠直径与株高、分枝部位、一次分枝数、主花序长度、主花序结角数、全株结角数、千粒重、单株产量、角果长度和角粒数呈正相关,其中与千粒重呈极显著正相关,与二次分枝数呈显著负相关,相关系数分别为 0.663、0.240(表 4)。说明白菜型冬油菜花冠直径主要与千粒重有关,花冠直径越大,千粒重越大、二次分枝数越少。而且花瓣宽、花萼长和雌蕊直径也与千粒重呈极显著正相关。因此,通过改良花器性状提高白菜型冬油菜的千粒重是可行的。

2.4　农艺性状与种子含油量、蛋白质含量的相关性

含油量与株高、分枝部位、主花序长度、千粒重、单株产量、角果长度和角粒数呈正相关,其中与千粒重呈极显著正相关,相关系数 0.321,与一次分枝数、主花序结角数和全株结角数呈负相关;蛋白质含量与株高、分枝部位、一次分枝数、主花序结角数、全株结角数和单株产量呈正相关,其中与全株结角数呈显著正相关,相关系数 0.280,与主花序长度、千粒重、角果长度和角粒数呈负相关,其中与千粒重呈显著负相关,相关系数−0.232(表 5);本试验也同样证实了含油量与蛋白质含量呈极显著负相关,说明含油量提高时,蛋白质含量降低。

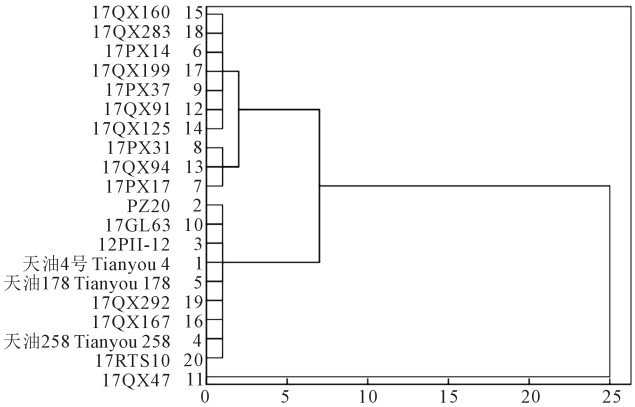


图 3　20 份白菜型冬油菜材料花冠大小聚类图

Fig.3　The corolla size dendrogram of 20 materials of winter rapeseed (*Brassica rape* L.)

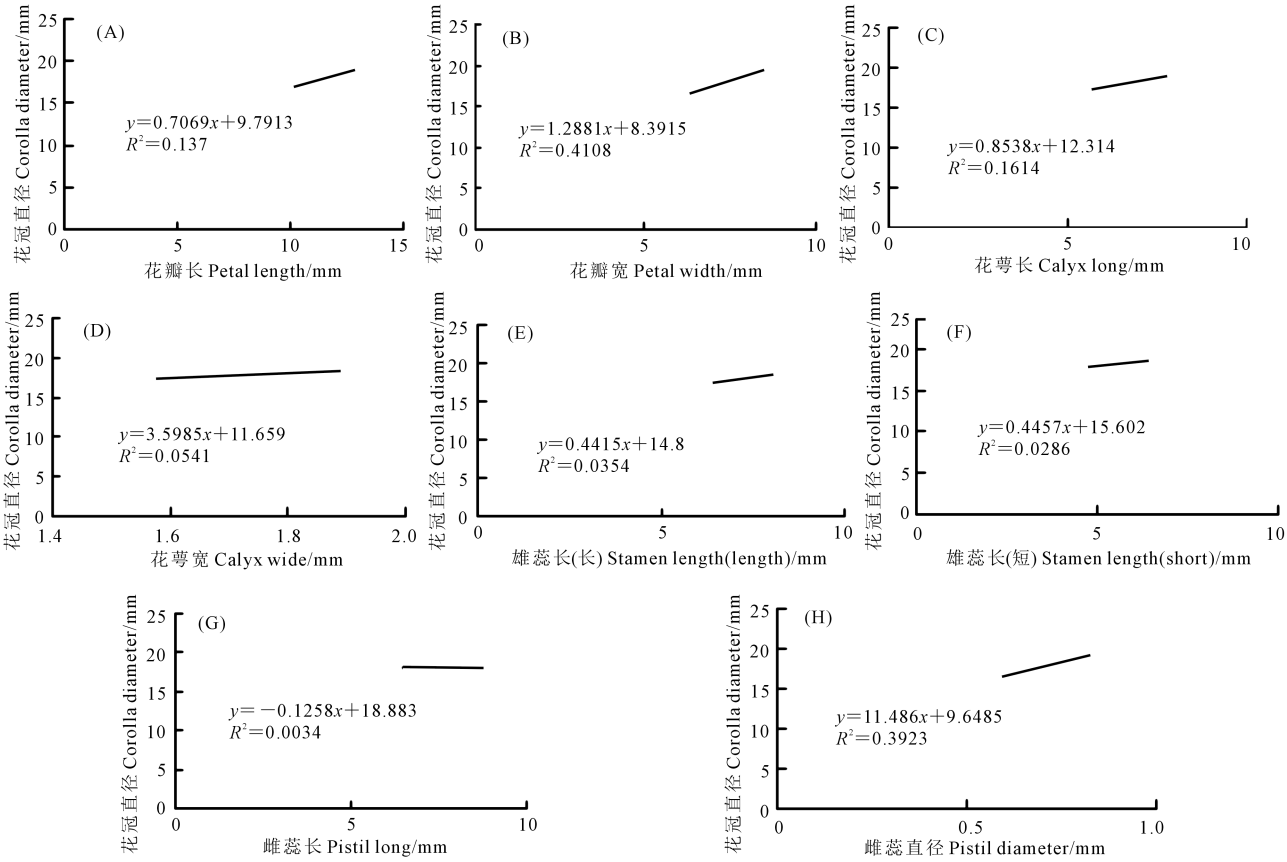


图 4 参试材料花冠直径与其他花器性状间的回归分析

Fig.4 Regression analysis between Corolla diameter and other floral organ characters of tested materials

表 4 花器性状与农艺性状的相关系数

Table 4 The correlation coefficients of floral organ traits and agronomic traits

农艺性状 Agronomic traits	花冠直径 Corolla diameter	花瓣长 Petal length	花瓣宽 Petal width	花萼长 Calyx long	花萼宽 Calyx wide	雄蕊长(长) Stamen length (length)	雄蕊长(短) Stamen length (short)	雌蕊长 Pistil long	雌蕊直径 Pistil diameter	花柄长 Bud length
株高 Protein content	0.199	−0.040	0.126	0.016	0.159	−0.006	−0.034	−0.220*	0.164	−0.057
分枝部位 Branch height	0.111	0.100	0.053	0.077	−0.002	0.162	0.181	0.137	0.129	0.045
一次分枝数 Primary number	0.103	0.107	0.039	−0.096	0.069	0.070	0.065	0.010	0.071	0.008
二次分枝数 Secondary number	−0.240*	−0.078	−0.131	−0.160	0.083	−0.040	−0.065	−0.122	0.005	−0.067
主花序长度 Length of main florescence	0.071	−0.085	−0.139	0.062	0.013	0.008	−0.033	−0.023	−0.149	−0.050
主花序结角数 Siliquae of main florescence	0.117	−0.122	0.004	0.059	0.238*	−0.065	−0.052	−0.057	0.097	0.048
全株结角数 Siliquae of complete stool	0.196*	−0.117	−0.117	0.257*	0.187	−0.016	−0.023	−0.170	−0.035	−0.050
千粒重 1000-seed weight	0.663**	0.115	0.295**	0.292**	0.107	0.060	0.091	−0.145	0.419**	0.092
单株产量 Yield per plant	0.123	0.100	−0.015	0.093	0.288**	−0.109	0.058	0.294**	0.152	0.102
角果长度 Pod length	0.042	−0.002	0.019	0.172	0.088	0.078	0.139	0.070	0.091	−0.119
角粒数 Grain number per pod	0.029	0.131	0.032	−0.001	0.109	0.207	0.157	−0.024	0.177	−0.090

注:“*”表示在 $P<0.05$ 水平显著相关,“**”表示在 $P<0.01$ 水平极显著相关。下同。

Note: “*” indicates that it is significant correlated at the $P<0.05$ level, and “**” indicates that it is significant correlated at the $P<0.01$ level. The same below.

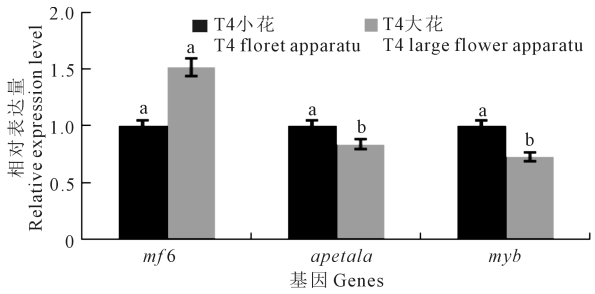
2.5 *mf* 6、*apetala* 和 *myb* 基因表达量

选用天油 4 号大花(突变体)进行实时荧光定量 PCR 分析,由图 5 可知,同一基因在大小不同的花器中相对表达量不同且差异显著,*mf* 6 在大花材料中相对表达量上调了 151.63%,而 *apetala* 和 *myb* 分别下调了 83.80%、72.70%。*mf* 6、*apetala* 和 *myb* 在小花中的相对表达量无显著差异性,而在大花中,*mf* 6 与 *apetala* 和 *myb* 差异显著,*apetala* 和 *myb* 无显著性差异。

表 5　农艺性状与含油量及蛋白质含量的相关系数

Table 5　The correlation coefficients of agronomic traits with oil content and protein content

含量 Content	株高 Plant height	分枝部位 Branch height	一次分枝数 Primary number	主花序长度 Length of main florescence	主花序结角数 Siliquae of main florescence	全株结角数 Number of strains	千粒重 1000-grain weight	单株产量 Yield per plant	角果长 Pod length	角粒数 Seeds siliquae	蛋白质含量 Protein content
含油量 Oil content	0.029	0.046	−0.042	0.018	−0.042	−0.217	0.321**	0.044	0.167	0.057	−0.856**
蛋白质含量 Protein content	0.040	0.012	0.072	−0.005	0.170	0.280*	−0.232*	0.043	−0.087	−0.085	1



注:柱状图上不同字母代表差异达显著水平($P<0.05$)。

Note: Different letters on the histograms capped represent significant difference at $P<0.05$.

图 5　*mf* 6、*apetala* 和 *myb* 在花器中的表达量分析

Fig.5　Expression Analysis of *mf* 6, *apetala* and *myb* in floral organ

3　讨　论

油菜的花由花柄(花谢后成为果柄)、萼片、花冠、雄蕊、雌蕊和蜜腺等部分组成,本试验显示,不同白菜型冬油菜品种花器性状存在显著差异,其中 17QX47 的花冠直径达到 21.27 mm。20 份白菜型冬油菜根据花冠大小划分为 3 类,第Ⅰ类群 17QX47,花冠直径 21.27 mm。第Ⅱ类群包括天油 4 号等 9 份材料,花冠直径 18.11~19.29 mm。第Ⅲ类群包括 17PX14 等 10 份材料,花冠直径 16.22~17.41 mm。花冠直径与其他各花器性状间的回归分析结果显示,花冠直径与花瓣长、花瓣宽、花萼长、花萼宽、雄蕊长(长)、雄蕊长(短)和雌蕊直径正相关,其中受雌蕊直径影响最大,回归方程为 $y = 11.486x + 9.6485$。张冬青等[5]研究也表明,花瓣长与花瓣宽和雌蕊长呈极显著正相关。

油菜雌蕊形成角果,受精子房发育膨大发育成果身,花柄形成果柄,柱头和花柱形成果喙,角果的经济性状主要表现在有效角果数,每角粒数,千粒重及种子含油量等方面[19]。本研究表明,北方白菜型冬油菜花瓣长和花瓣宽与每角粒数和千粒重均呈正相关,尤其花冠直径和雌蕊直径与千粒重呈极显著正相关,相关系数达(0.663、0.419)。说明花冠直径和雌蕊直径对改良农艺性状尤其千粒重具有重要作用。王国槐等[11]研究表明,甘蓝型油菜花瓣长与每角粒数呈显著正相关,与千粒重呈负相关,花瓣宽与每角粒数呈极显著正相关,与千粒重呈正相关。张冬青等[5]研究表明,甘蓝型单双低油菜千粒重与花瓣长和雌蕊长呈正相关,与花瓣宽呈负相关,每角粒数与花瓣宽和花瓣长呈极显著正相关。因此在育种上改良花冠和雌蕊直径,利于提高千粒重。

含油量和蛋白质含量是油菜重要品质性状。研究表明,含油量与农艺性状具有相关关系,与蛋白质含量存在显著的负相关关系[20-22]。中国农业科学院油料作物研究所[23]研究表明,种子千粒重在 2~4 g 范围内,千粒重增加,含油量提高。黄崧[19]也认为油菜大粒种子含油量高于小粒种子。韩继祥[24]研究也发现,油菜蛋白质含量与千粒重呈极显著负相关。本研究结果表明,在北方白菜型冬油菜中农艺性状与含油量也存在这种相关关系,且千粒重与含油量呈极显著正相关(0.321),与蛋白质含量呈显著负相关(0.232)。因此可以通过改良花冠直径,进而提高白菜型冬油菜的千粒重等农艺性状,从而改良含油量和蛋白质含量。

研究表明,*mf* 6、*apetala* 和 *myb* 与其他调控基因相互作用,决定花器官的发育。*mf* 6、*apetala* 和 *myb* 基因定量表达分析表明,*mf* 6 基因在大花突变体中相对表达量上调了 151.63%,而 *apetala* 和 *myb* 基因分别下调了 83.80%、72.70%。AP1 过量表达会较好地促进植株开花[25],而 *myb* 基因过表达会导致花器官发育不良,花药不开裂[15]。可见 *mf* 6 等基因对白菜型冬油菜花冠大小等花器性状发育具有一

定调控作用,但其调控机理有待进一步研究。

4 结 论

白菜型冬油菜品种间各花器性状均存在显著差异。以花冠直径为指示性状将 20 份白菜型冬油菜划分为 3 类。花冠直径大小与花器各性状的大小具有密切关系,雌蕊直径对花冠直径影响最大。花冠直径与千粒重呈极显著正相关,千粒重与含油量和蛋白质含量呈显著相关。花冠直径的改良优势较大,*mf*6、*apetala* 和 *myb* 基因与油菜花器生长发育密切相关,通过促进或抑制 *mf*6、*apetala* 和 *myb* 等基因的表达,改良花冠直径大小,以提高白菜型冬油菜千粒重,进而改良其含油量,培育高含油量白菜型冬油菜品种是可行的。

参 考 文 献:

[1] 李云昌,胡琼,梅德圣,等. 选育高含油量双低油菜品种的理论与实践[J]. 中国油料作物学报,2006,28(1):92-96.

[2] 喻婷,张玲,胡中立,等. 水稻釉粳 DH 体花器性状的遗传分析[J]. 武汉植物学研究,2003,21(6): 459-463.

[3] 沈圣泉,严菊强,张能义,等. 釉粳交组合若干花器性状的遗传分析[J]. 浙江农业学,1994,6(4): 222-225.

[4] 吴爽,李成荃,王守海,等. 几个优良品种花器性状的遗传及相关分析[J]. 安徽农业科学,2003,31(2): 171-172.

[5] 张冬青,赵坚义,陈曼玲,等. 甘蓝型单双低油菜花器性状与产量性状的相关性分析[J]. 中国油料作物学报,1998,(2):32-33.

[6] 赵枢纽. 辣椒花器性状的相关性及聚类分析[J]. 分子植物育种,2015,13(7):1592-1601.

[7] 邹学校,张竹青,陈文超,等. 辣椒花器性状的遗传分析[J]. 热带作物学报,2007,28 (2): 37-41.

[8] 陈学军,方荣,周坤华,等. 辣椒花器性状与果实性状的遗传相关及因子分析[J]. 江西农业大学学报,2009,31(6):21-25.

[9] 冯立娟,苑兆和,尹燕雷,等. 大丽花花型群体表型性状遗传多样性研究[J]. 山东农业科学,2010,(7):12-16.

[10] 曹颖妮,梁慧珍,李卫东,等. 大豆花器与产量性状关系的研究[J]. 大豆科学,2007,(3):322-326.

[11] 王国槐,官春云,姚艳辉,等. 油菜花期性状与经济性状的相关性[J]. 湖南农学院学报,1994,(1):27-30.

[12] 刘后利. 农作物品质育种[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,2001:212-218.

[13] 黄荣仙,唐志康,郭世星,等. 油菜育性相关多聚半乳糖醛酸酶基因 MF6 的获得及表达分析[J]. 分子植物育种,2012,10(3):298-304.

[14] 杨郁文,张保龙,倪万潮,等. 花分生组织决定基因 APETALA1 转化油菜[J]. 江苏农业学报,2007,23(6):564-567.

[15] 薛茜. 大豆花器官优势表达基因 GmMYB181 的克隆及功能研究[D]. 南京:南京农业大学,2013.

[16] 戚晓利,卢孟柱. 拟南芥 APETALA1 基因在花发育中的网络调控及其生物学功能[J]. 中国农学通报,2011,27(8):103-107.

[17] 叶剑,孙万仓,武军艳,等. 群体密度对冬油菜产量和经济性状的影响[J]. 西北农业学报,2008,17(3):171-175.

[18] 郑本川. 甘蓝型油菜开花调控转录因子 CONSTANS 同源基因的克隆及其定量表达分析[D]. 四川:四川农业大学,2013.

[19] 黄崧. 怎样种好油菜[M]. 北京:化学工业出版社,1997:21-35.

[20] 许剑锋,龙艳,吴建国,等. 油菜籽含油量和蛋白质含量的种子胚与母体植株 QTL 定位[J]. 中国农业科学,2014,47(8):1471-1480.

[21] 甘莉,孙秀丽,金良,等. NIRS 定量分析油菜种子含油量、蛋白质含量数学模型的创建[J].中国农业科学,2003,36(12):1609-1613.

[22] 马珍珍,李加纳,刘列钊,等. 甘蓝型油菜籽粒含油量、蛋白质、纤维素及半纤维素含量 QTL 分析[J]. 作物学报,2013,39(7):1214-1222.

[23] 中国农科院油料研究所品质分析室. 油菜品种资源含油量分析[J]. 湖北农业科学,1979,(3):12.

[24] 韩继祥. 甘蓝型油菜含油量的遗传研究. 中国油料作物学报,1990,(2):1-6.

[25] Pena L, Martin-Trillo M, Juarez J, et al. Constitutive expression of Arabidopsis LEAFY or APETALA1 genes in citrus reduces their generation time[J]. Nature Biotechnology, 2001,19(3):263-267.