

甘蓝型油菜育种亲本单株产量与农艺性状相关性分析

郑本川^{1,2}, 崔成¹, 张锦芳¹, 李浩杰¹, 柴靛¹, 蒋俊¹, 蒋梁材¹

(¹四川省农业科学院作物研究所, 成都 610066; ²四川农业大学农学院, 温江 611130)

摘要: 油菜是我国重要的油料作物, 提高油菜产量是油菜育种的首要目标之一。油菜育种中, 考察和分析油菜种质的主要农艺性状是筛选育种亲本材料配制优良组合的前提基础, 可以为高效开展重要性状的改良提供有效的科学依据。以 213 份长江流域油菜主产区育种单位提供的甘蓝型油菜育种亲本为材料, 采用相关分析、通径分析、多元回归分析及主成分分析等方法, 探讨在成都平原气候条件下, 油菜单株产量与 10 个相关农艺性状之间的关系, 明确甘蓝型油菜产量形成的主要决定因子。结果表明, 不同地区油菜资源农艺性状存在较大差异; 单株产量与株高、主序有效长度、一次有效分枝数、主序有效角果数、角果长度、每角果粒数和千粒重呈极显著正相关, 与营养生长天数呈显著负相关; 对单株产量直接影响最大的是株高, 其次是每角果粒数和一次有效分枝数, 间接作用最大为主序有效长度, 其次是主序有效角果数和一次有效分枝高度。逐步回归分析表明, 株高、每角果粒数、一次有效分枝高度和一次有效分枝数是决定单株产量的主要因子; 通过主成分分析, 可将相关性状综合为 4 大类: 株高控制因子、生育期控制因子、产量性状控制因子和株型控制因子。本生态区域内决定产量形成的关键性状为株高、每角果粒数、一次有效分枝高度和一次有效分枝数, 本研究得出的结果对于充分利用各育种单位亲本材料优良性状提供了有价值的参考。

关键词: 甘蓝型油菜; 育种亲本; 单株产量; 农艺性状; 相关性分析

Correlation Analysis of Yield per Plant and Agronomic Traits in Breeding Lines in *Brassica napus* L.

ZHENG Ben-chuan^{1,2}, CUI Cheng¹, ZHANG Jin-fang¹, LI Hao-jie¹, CHAI Liang¹, JIANG Jun¹, JIANG Liang-cai¹

(¹Crop Research Institute, Sichuan, Academy of Agriculture Sciences, Chengdu 610066;

²College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611130)

Abstract: Rapeseed acts as an important oil crop in China and breeding for high yield is of great interest. Analyzing agronomic traits of rapeseed germplasm can provide foundational information for selecting excellent parental materials, which will be subjected for making crosses, e.g. to improve important traits in rapeseed. In the present study, 213 breeding lines of *Brassica napus* L., which were collected from the main rapeseed production area of the Yangtze River, was used for exploring the relationship between 10 agronomic traits and yield per plant, under the climatic conditions in Chengdu Flat. The statistical analysis including simple correlation analysis, path analysis, multiple regression analysis and principal component analysis, were conducted. The results showed the great divergence on the agronomic traits of rapeseed resources from different regions. The yield per plant was positively correlated to plant height, the effective length of main inflorescence, the number of first effective branch, the number of effective silique on main inflorescence, the length of silique, seeds per silique, and 1000-seed weight, while negatively correlated to the period of vegetative growth. The yield per plant was directly contributed by three factors including plant height, seeds per silique and the number of first effective branches. The indirect effect on plant yield was the effective length of main inflorescence>the number of effective silique on

收稿日期: 2018-07-05 修回日期: 2018-07-26 网络出版日期: 2018-10-18

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20181016.1642.001.html>

第一作者研究方向为油菜遗传育种, E-mail: zhengbenchuan1987@163.com; 崔成为共同第一作者

通信作者: 蒋梁材, 研究方向为油菜遗传育种, E-mail: jlcrpe@163.com

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-12); 国家重点研发计划项目(JFYS2016ZY03002156); 四川省育种攻关(2016YZGG-4)

Foundation project: Modern Agro-industry Technology Research System of China(CARS-12), The National Key Research and Development Plan(JFYS2016ZY03002156), Sichuan Crop Breeding Community(2016YZGG-4)

main inflorescence>branch height. By stepwise regression analysis, the yield per plant was mainly determined by plant height, seeds per silique, branch height, and the number of first effective branches. Based on the phenotypic variation using the principal component analysis, these genotypes were grouped into four major categories, consisting of plant height related factors, growth period related factors, yield related factors and plant type related factors. Taken together, the yield per plant in the ecological region of Chengdu Flat was largely contributed by plant height, grain number per pod, primary branch height, and number of primary effective branch. These results would provide a valuable information for selecting elite parental lines in rapeseed breeding.

Key words: *Brassica napus* L.; breeding parents; yield per plant; agronomic trait; correlation analysis

油菜是我国重要的油料作物,提高油菜产量是油菜育种的首要目标之一^[1-2]。油菜单株产量主要由单株角果数、每角粒数和千粒重3个因素构成,每个因素的变化都会对油菜单株产量产生影响。产量构成因素的变化受很多因素的影响。因此,在油菜育种中,对种质材料主要农艺性状的考察和分析是进行育种亲本的筛选和配制优良组合的前提基础。同时,通过对优良农艺性状进行遗传分析,可以为高效开展重要性状的改良提供有效的科学依据。张芳等^[3]对2001—2010年间全国审定的205份冬油菜品种的14个性状与产量之间的关系进行分析,结果表明,油菜产量与单株角果数、每角粒数、分枝数、增产点率和生育期呈显著或极显著正相关。说明单株角果数、每角粒数和分枝数等的提高有利于产量的提高。关周博等^[4]分析了适宜机械化栽培的甘蓝型油菜品种单株产量与农艺性状的相关性,对单株产量与农艺性状的灰色关联度、通径分析和因子分析结果表明,单株有效角果数、每角粒数和分枝数的关联度最大;株高、单株有效角果数、每角粒数与单株产量呈现显著相关。因此,在选育中应注重主花序有效角果数和结角密度的选择,分枝部位要合适,减少无效分枝数,注重株型结构性状的选择,从而努力提高角果粒数和千粒重,为有效提高单株产量打下基础。宋稀等^[5]对2008—2009年中国冬油菜品种区试中22个机械化高密度种植组合(品系)和72个常规密度种植的组合(品系)9个重要农艺性状与小区产量间进行相关及通径分析,结果表明,高密度种植油菜品种的每角粒数、主花序有效角果数、单株有效角果数、结角密度与小区产量都有显著或极显著的相关关系;常规密度种植油菜品种的分枝数、主花序有效角果数、单株有效角果数、每角粒数以及分枝部位高度与产量有显著或极显著相关关系。因此,提高单株有效角果数和每角粒数并适当减少无效分枝数,对于提高单产具有重要作用。其他研究同样

表明^[6-12],产量的提高要着重于主花序长、分枝数、有效角果数和千粒重等性状具有较大潜力的品种选择。

虽然前人对甘蓝型油菜产量与农艺性状相关性进行了大量研究,但都主要是对自己品种(系)或当地主栽品种分析,没有对各油菜主产区甘蓝型油菜品种(系)进行统一种植分析。本研究用国家油菜产业技术体系提供的从长江流域各育种单位征集的213份甘蓝型油菜育种亲本为研究材料,对单株产量与主要农艺性状进行相关分析、通径分析、多元逐步回归、主成分分析,探讨影响单株产量的主要农艺性状,有利于优良性状遗传选择、利用,配制优良杂交组合,对于提高油菜产量具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

213份甘蓝型油菜育种亲本材料(表1)由国家油菜产业技术体系提供。材料来源为四川22份、重庆19份、湖南29份、湖北115份、上海6份、江苏10份、浙江8份、安徽4份,覆盖长江流域各油菜主产区。

1.2 试验方法

试验材料分别于2012—2013年度和2013—2014年度在四川省成都市新都区泰兴镇四川省农业科学院科技创新示范园区内种植,株行距 $0.25\text{ m} \times 0.25\text{ m}$,每个材料种植5行,每行8株,随机排列,3次重复。于成熟期每个材料取4株进行性状考察,考察性状有株高(X_1)、一次有效分枝高度(X_2)、主序有效长度(X_3)、一次有效分枝数(X_4)、主序有效角果数(X_5)、角果长度(X_6)、每角果粒数(X_7)、千粒重(X_8)和单株产量(Y),田间记载营养生长天数(X_9)和开花天数(X_{10}),所有记载和考种方法按照油菜产业技术体系提供指标和方法进行。

表 1 材料来源

Table 1 Source of materials

名称 Name	省份 Province	名称 Name	省份 Province	名称 Name	省份 Province	名称 Name	省份 Province
SWU40	重庆	湘油 11 号	湖南	2012-9323	湖北	华双 5 号 /HS-5	湖北
SWU42	重庆	740	湖南	2012-9354	湖北	华双 4 号 /HS-4	湖北
SWU43	重庆	631	湖南	2012-9380	湖北	甲 972/JIA-972	湖北
SWU44	重庆	613	湖南	2012-9478	湖北	华双 128/HS-128	湖北
SWU45	重庆	783	湖南	2012-9542	湖北	甲 904/JIA-904	湖北
SWU46	重庆	782	湖南	2012-K8053	湖北	甲 908/JIA-908	湖北
SWU47	重庆	YB3	湖南	希望 106XW-106	湖北	甲 PF190 棚 /JIA-PF190PEN	湖北
SWU48	重庆	1360	湖南	阳光 198YG-198	湖北	甲 915/JIA-915	湖北
SWU52	重庆	563	湖南	阳光 2009YG-2009	湖北	甲 922/JIA-922	湖北
SWU53	重庆	WX10329	湖南	中双 10 号 ZS-10	湖北	甲 951 棚 /JIA-951PEN	湖北
SWU56	重庆	1281	湖南	中双 12 号 ZS-12	湖北	甲 917/JIA-917	湖北
SWU59	重庆	509	湖南	中双 4 号 QZS-4Q	湖北	甲 923/JIA-923	湖北
SWU65	重庆	1368	湖南	中双 6 号 ZS-6	湖北	甲 931/JIA-931	湖北
SWU82	重庆	1322	湖南	中双 7 号 ZS-7	湖北	甲预 05 棚 /JIAYU-05PENG	湖北
SWU83	重庆	1252	湖南	中油 589ZY-589	湖北	甲 963 棚 /JIA-963PEN	湖北
SWU92	重庆	1321	湖南	中油 821QZY-821Q	湖北	08-P36	湖北
SWU101	重庆	07022	湖北	华油 2 号 HY-2	湖北	09-P32	湖北
SWU106	重庆	07094	湖北	华双 2 号 HS-2	湖北	09-P37	湖北
SWU108	重庆	07016	湖北	华油 13 号 HY-13	湖北	10-P10	湖北
川油 20CY-20	四川	9F087	湖北	华油 3 号 HY-3	湖北	10-P29	湖北
川油 18CY-18	四川	97096	湖北	华油 14HY-14	湖北	11-P30	湖北
CY12NY-7	四川	97097	湖北	11-9-700	湖北	12-P24	湖北
CY12Q95406	四川	07189	湖北	11-9-701	湖北	12-P25	湖北
CY12Q8-7	四川	07191	湖北	11-9-702	湖北	沪油 17 号 /HY-17	上海
CY12QSZ06	四川	07037	湖北	11-9-703	湖北	沪油 15 号 /HY-15	上海
CY12QCWH-1	四川	RQ011	湖北	11-9-704	湖北	沪油 12 号 /HY-12	上海
CY12Q95108	四川	RR009	湖北	11-9-705	湖北	沪油 14/HY-14	上海
CY12Q21535-N3	四川	97177	湖北	11-9-706	湖北	沪油 18/HY-18	上海
CY12PXW-4	四川	96021	湖北	11-9-707	湖北	沪油 19/HY-19	上海
CY12PXW-6	四川	96063	湖北	11-P63-5-Y7	湖北	宁油 18 号 /NY-18	江苏
CY12PXW-9	四川	01111	湖北	11-P63-8-Y32	湖北	宁油 16 号 /NY-16	江苏
CY13PXW-17	四川	01570	湖北	11-P63-3-Y3	湖北	宁油 14 号 /NY-14	江苏
CY14PXW-18	四川	9 保 22	湖北	11-P67 东	湖北	宁油 12 号 /NY-12	江苏
CY15PXW-31	四川	01188	湖北	09-P64-1	湖北	史力佳 /SLJ	江苏
CY16PXW-35	四川	02354	湖北	10- 崇 23/10-CHONG-2310	湖北	史力丰 /SLF	江苏
CY17PXW-58	四川	02359	湖北	10- 崇 24/10-CHONG-2410	湖北	杨油 6 号 /YY-6	江苏
CY18PXW-62	四川	02365	湖北	10- 崇 25/10-CHONG-25	湖北	扬油 5 号 /YY-5	江苏
CY19PXW-65	四川	93205	湖北	10- 崇 29/10-CHONG-29	湖北	红油 3 号 /HONGY-3	江苏
CY20PXW-66	四川	93210	湖北	10- 崇 32/20-CHONG-32	湖北	苏油 1 号 /SY-1	江苏
CY21PXW-84	四川	中双 4 号 ZS-4	湖北	10- 崇 33/10-CHONG-33	湖北	镇油 3 号 /ZY-3	浙江
CY12GJ-1	四川	中双 9 号 ZS-9	湖北	10- 崇 34/10-CHONG-34	湖北	浙油 18/ZY-18	浙江
wx1025	湖南	2011-6200	湖北	10- 江棚 2/10-JIANGPEN-2	湖北	浙双 72/ZS-72	浙江
wx10213	湖南	2011-6308	湖北	10- 江棚 3/10-JIANGPENG-3	湖北	浙双 8 号 /ZY-8	浙江
wx10296	湖南	2011-7103	湖北	11- 育 7-103/11-Y7-103	湖北	浙油 758/ZY-758	浙江
wx10315	湖南	2012-11526	湖北	11- 育 7-117/11-Y7-117	湖北	浙油 19/ZY-19	浙江
10-1043	湖南	2012-3448	湖北	11- 育 7-125/11-Y7-125	湖北	浙油 21/ZY-21	浙江
10-1047	湖南	2012-3546	湖北	11-P74-13 父本 /11-P74-13	湖北	浙双 6 号 /ZS-6	浙江
10-1061	湖南	2012-4531	湖北	7-7766-74	湖北	皖油 15 号 /WY-15	安徽
10-1070	湖南	2012-5086	湖北	64 棚 -10	湖北	皖油 16 号 /WY-16	安徽
10-804	湖南	2012-5113	湖北	圣光 77	湖北	皖油 20 号 /WY-20	安徽
10-1358	湖南	2012-8327	湖北	甲预 17 棚 /JIANYU-17PEN	湖北	皖油 29/WY-29	安徽
1472	湖南	2012-8355	湖北	甲预 25 棚 /JIAYU-25PEN	湖北		
湘油 13 号	湖南	2012-8380	湖北	甲预 16 棚 /JIAYU-16PEN	湖北		
湘油 15 号	湖南	2012-8998	湖北	甲预 31 棚 /JIAYU-31PEN	湖北		

1.3 数据处理

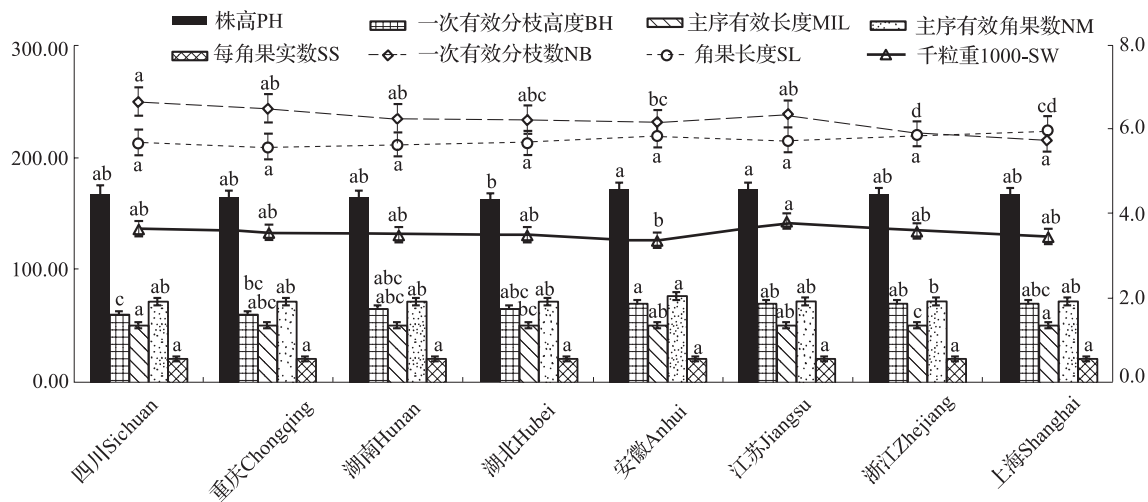
对各性状原始考种数据进行处理,利用各性状原始数据的平均值进行相关分析、通径分析、多元逐步回归、主成分分析^[13-17]。所有的数据分析均在 Excel 2010 和唐启义 DPS 16.05 高级版软件上进行。

2 结果与分析

2.1 不同地区油菜农艺性状差异

在成都平原气候条件下,不同地区油菜农艺性状表现为(图1):株高最高的为江苏品种(171.17 cm),最矮的为湖北品种(161.74 cm),且两者差异显著;一次有效分枝高度最高的为安徽品种(70.14 cm),

最低的为四川品种(58.33 cm),且差异显著;主序有效长度最长的为四川品种(49.75 cm),最短的为浙江品种(45.94 cm),且差异显著;一次有效分枝数最多的为四川品种(6.6个),最少的为上海品种(5.7个),差异显著;主序有效角果数最多的为安徽品种(75.7个),最少的为浙江品种(67.9个),差异显著;角果长度最长的为上海品种(5.97 cm),最短的为重庆品种(5.62 cm),且差异不显著;每角果粒数最多的为上海品种(20.7个),最少的为湖南品种(19.6个),且差异不显著;千粒重最重的为江苏品种(3.784 g),最轻的为安徽品种(3.359 g),且差异显著。因此,可以看出不同地区油菜资源农艺性状存在较大差异,这为优异资源性状的筛选利用创造了条件。



a, b 表示在 $P < 0.05$ 下,多重比较的显著差异水平

a, b indicates a significant level of multiple comparisons under the $P < 0.05$

PH: plant height, BH: branch height, MIL: the effective length of main inflorescence, NM: the number of effective silique on main inflorescence, SS: seeds per silique, NB: the number of first effective branch, SL: the length of silique, 1000-SW: 1000-seed weight. The same as below

图1 不同地区甘蓝型油菜育种亲本农艺性状差异

Fig.1 Differences in agronomic traits of *Brassica napus* L. breeding parents that were

2.2 农艺性状与单株产量间的相关分析

单株产量与10个农艺性状间的相关分析结果表明(表2),在成都平原气候条件下,不同地区甘蓝型油菜品种(系)单株产量与株高、主序有效长度、一次有效分枝数、主序有效角果数、角果长度、每角果粒数和千粒重呈极显著正相关,相关系数分别为0.495、0.430、0.323、0.349、0.207、0.384和0.235。与营养生长天数呈显著负相关,相关系数为-0.143,与一次有效分枝高度(0.113)和开花天数(0.019)正相关,但不显著。

2.3 农艺性状对单株产量间的通径分析

为了分析213份甘蓝型油菜育种亲本的10个

主要性状对单株产量的影响,首先确定了单株产量与10个主要性状间是否存在线性回归关系。线性回归方差分析结果表明, $F=15.037$,达极显著水平,说明单株产量与10个性状间存在极显著线性关系,可以进行通径分析。

通径分析结果表明(表3),在成都平原气候条件下,213份甘蓝型油菜育种亲本的10个农艺性状对单株产量的直接贡献大小依次为株高(0.312)>每角果粒数(0.259)>一次有效分枝数(0.211)>主序有效长度(0.136)>一次有效分枝高度(|-0.135|)>千粒重(0.100)>主序有效角果数(0.078)>开花天数(|-0.073|)>营养生长天数(|-0.044|)>角果长

表 2 简单相关系数表

Table 2 Simple correlation coefficient

指标 Index	株高 PH	一次有效 分枝高度 BH	主序有效 长度 MIL	一次有效 分枝数 NB	主序有效 角果数 NM	角果 长度 SL	每角果粒 数 SS	千粒重 1000-SW	营养生长 天数 DV	开花 天数 DF	单株产量 YPP
株高 PH	1										
一次有效分枝高度 BH	0.638**	1									
主序有效长度 MIL	0.607**	0.006	1								
一次有效分枝数 NB	0.226**	-0.155*	0.037	1							
主序有效角果数 NM	0.585**	0.305**	0.584**	0.153*	1						
角果长度 SL	0.156*	0.193**	-0.053	-0.071	-0.101	1					
每角果粒数 SS	0.244**	0.144*	0.147*	0.039	0.093	0.575**	1				
千粒重 1000-SW	0.209**	0.096	0.143*	-0.026	-0.005	0.383**	0.188**	1			
营养生长天数 DV	-0.006	0.320**	-0.268**	-0.099	-0.018	0.010	-0.058	-0.199**	1		
开花天数 DF	-0.059	-0.250**	0.143*	0.076	0.040	0.000	0.065	-0.018	-0.528**	1	
单株产量 YPP	0.495**	0.113	0.430**	0.323**	0.349**	0.207**	0.384**	0.235**	-0.143*	0.019	1

*和**分别代表 0.05 和 0.01 水平上的显著性,下同

*and ** are significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels respectively, DV: days of vegetative growth, DF: days of flowering, YPP: yield per plant. The same as below

表 3 甘蓝型油菜 10 个主要性状对单株产量的通径系数

Table 3 Path coefficients between 10 main characteristics and grain yield per plant

作用因子 Factor	相关系数 Correlation coefficient	直接通径 系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient										间接综合 效应 Compre- hensive effect
			株高 PH	一次 有效 分枝 高度 BH	主序 有效 长度 MIL	一次 有效 分枝 数 NB	主序 有效 角果 数 NM	角果 长度 SL	每角 果粒 数 SS	千粒 重 1000- SW	营养 生长 天数 DV	开花 天数 DF	
株高 PH	0.495**	0.312	-	-0.086	0.083	0.048	0.046	0.004	0.063	0.021	0.000	0.004	0.183
一次有效分枝高度 BH	0.113	-0.135	0.200	-	0.001	-0.033	0.024	0.005	0.037	0.010	-0.014	0.018	0.247
主序有效长度 MIL	0.430**	0.136	0.189	-0.001	-	0.008	0.046	-0.002	0.038	0.014	0.012	-0.010	0.294
一次有效分枝数 NB	0.323**	0.211	0.071	0.021	0.005	-	0.012	-0.002	0.010	-0.002	0.004	-0.006	0.114
主序有效角果数 NM	0.349**	0.078	0.183	-0.041	0.079	0.032	-	-0.003	0.024	-0.001	0.001	-0.003	0.272
角果长度 SL	0.207**	0.028	0.049	-0.026	-0.007	-0.015	-0.008	-	0.149	0.038	0.000	0.000	0.179
每角果粒数 SS	0.384**	0.259	0.076	-0.019	0.020	0.008	0.007	0.016	-	0.019	0.003	-0.001	0.128
千粒重 1000-SW	0.235**	0.100	0.065	-0.013	0.019	-0.006	0.000	0.011	0.049	-	0.000	0.001	0.127
营养生长天数 DV	-0.143*	-0.044	-0.002	-0.043	-0.036	-0.021	-0.001	0.000	-0.015	-0.020	-	0.039	-0.100
开花天数 DF	0.019	-0.073	-0.018	0.034	0.019	0.016	0.003	0.000	0.017	-0.002	0.023	-	0.092

度(0.028)。对单株产量直接贡献较大且为正效应的是株高、每角果粒数、一次有效分枝数和主序有效长度。同时株高、每角果粒数、一次有效分枝数和主序有效长度与单株产量呈极显著正相关,说明提高这 4 个性状有利于单株产量的增加。

10 个农艺性状分别通过其他性状对单株

产量的间接综合效应除营养生长天数为负效应(-0.100)外,其余 9 个性状通过其他性状间接作用综合效应为正,且作用大小依次为主序有效长度、主序有效角果数、一次有效分枝高度、株高、角果长度、每角果粒数、千粒重、一次有效分枝数和开花天数。

营养生长天数和开花天数对单株产量的直接通径系数较小,且为负效应(-0.044和-0.073)。而在相关分析中,营养生长天数与单株产量呈显著负相关(-0.143),主要是因为营养生长天数通过其他农艺性状对单株产量的间接效应值均为负。

2.4 农艺性状对单株产量的多元逐步回归分析

以10个甘蓝型油菜农艺性状为自变量,以单株产量(Y)为因变量进行逐步回归分析。经过分析将主序有效长度(X₃)、主序有效角果数(X₅)、角果长度(X₆)、千粒重(X₈)、营养生长天数(X₉)和开花天数(X₁₀)农艺性状剔除,留下对单株产量(Y)影响显著的因子株高(X₁)、每角果粒数(X₇)、一次有效分枝高度(X₂)和一次有效分枝数(X₄),得出逐步回归方程:

$$Y = -13.607 + 0.123X_1 + 0.390X_7 - 0.077X_2 + 0.534X_4$$

($R^2=0.402$, $F=35.012$, $P=0.000$)。

回归方程表明:株高(X₁)、每角果粒数(X₇)、一次分枝高度(X₂)和一次有效分枝数(X₄)是决定单株产量(Y)的主要因子,他们决定了单株产量40.2%的变异;株高(X₁)、每角果粒数(X₇)和一

次分枝高度(X₂)决定了单株产量(Y)38.6%的变异;株高(X₁)和每角果粒数(X₇)决定了单株产量(Y)31.9%的变异;株高(X₁)单独决定了单株产量24.5%的变异。

为进一步确认多元回归分析确定的4个主要农艺性状因子对单株产量的直接效应和间接效应,对株高(X₁)、一次有效分枝高度(X₂)、一次有效分枝数(X₄)和每角果粒数(X₇)与单株产量再次进行通径分析,结果表明(表4),4个作用因子对单株产量的直接效应大小为株高(0.562)>每角果粒数(0.279)>一次有效分枝高度(|-0.263|)>一次有效分枝数(0.145)。株高、一次有效分枝数和每角果粒数对单株产量的效应值为正,且呈极显著正相关,表明提高株高、一次有效分枝数和每角果粒数对于单株产量的提高具有显著作用。分枝高度与单株产量的直接效应值为负,说明分枝高度的增加影响单株产量的提高,但相关系数不显著表明对单株产量的影响不显著。分枝高度通过其他性状对单株产量产生间接效应值最大(0.376),说明分枝高度主要是通过其他性状的相互作用影响单株产量。

表4 甘蓝型油菜单株产量决定因子的通径分析

Table 4 Path analysis of yield determinants of *Brassica napus* L.

变量 Factor	相关系数 Correlation coefficient	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient				间接综合效应 Comprehensive effect
			株高 PH	一次有效分枝高度 BH	一次有效分枝数 NB	每角果粒数 SS	
株高 PH	0.495**	0.562		-0.167	0.033	0.068	-0.067
一次有效分枝高度 BH	0.113	-0.263	0.358		-0.023	0.040	0.376
一次有效分枝数 NB	0.323**	0.145	0.126	0.041		0.011	0.178
每角果粒数 SS	0.384**	0.279	0.137	-0.038	0.006		0.105

2.5 农艺性状主成分分析

为了能更充分反映在成都地区气候条件下,不同地区甘蓝型油菜品种(系)间各性状的变异特征值,对上述10个性状进行主成分分析。由表5可以看出,主成分1、主成分2、主成分3和主成分4对甘蓝型油菜单株产量的贡献率分别为27.476%、17.468%、15.681%和9.962%,其累计贡献率达70.586%,表明这4个主成分已覆盖大部分性状的主要信息。

主成分1中载荷最高且特征向量值为正的因子

是株高。这一主成分为株高控制因子,单株产量的特征向量值为正,说明株高的增加有利于单株产量的提高。

主成分2中载荷最高且特征向量值为正的因子是营养生长天数,特征向量值为负的为开花天数。这一主成分为生育期控制因子,单株产量的特征向量值为负,说明营养生长时间延长不利于单株产量的提高,而生殖生长时间延长有利于单株产量的提高。

表 5 主成分分析表

Table 5 Principal component analysis

指标 Index	主成分 1 PC1	主成分 2 PC2	主成分 3 PC3	主成分 4 PC4
株高 PH	0.504	0.134	-0.179	-0.054
一次有效分枝高度 BH	0.263	0.490	-0.078	-0.218
主序有效长度 MIL	0.400	-0.230	-0.231	-0.252
一次有效分枝数 NB	0.141	-0.213	-0.122	0.780
主序有效角果数 NM	0.388	-0.020	-0.379	-0.110
角果长度 SL	0.193	0.163	0.602	0.014
每角果粒数 SS	0.286	0.047	0.452	0.143
千粒重 1000-SW	0.211	-0.012	0.388	-0.185
营养生长天数 DV	-0.089	0.575	-0.140	0.221
开花天数 DF	0.028	-0.523	0.099	-0.224
单株产量 YPP	0.418	-0.104	0.059	0.335
特征值 c-value	3.022	1.922	1.725	1.096
贡献率(%) Contribution rate	27.476	17.468	15.681	9.962
累计贡献率(%) Cumulative contribution rate	27.476	44.944	60.624	70.586

主成分 3 中载荷最高且特征向量值为正的因子是角果长度,其次是每角果粒数和千粒重。这一主成分为产量性状控制因子,单株产量的特征向量值为正,说明角果长度、每角果粒数和千粒重的增加,有利于单株产量的提高。

主成分 4 中载荷最高且特征向量值为正且最大的因子是一次有效分枝数;特征向量值为负且较大的为株高、一次有效分枝高度、主序有效长度和千粒重。这一主成分为株型性状控制因子,单株产量的特征向量值为正,说明一次有效分枝数的增加,株高的降低有利于单株产量的提高。

3 讨论

高产一直是油菜育种工作追求的目标,油菜产量除直接受产量构成性状的影响外,同时也受其他性状的间接作用。如果仅凭少数几个性状的表现对种质资源进行评价,选择亲本,这样势必存在主观性,通过不同性状与产量间的相关分析和通径分析可以明确对产量影响最大的直接或间接因素;而主成分分析法由于各主成分是一个相对独立的指标体系,各主成分之间不存在相关,并且数值直观,容易分析。

本研究对以长江流域油菜主产区的 213 份甘蓝

型油菜育种亲本为材料,选取 10 个与单株产量相关的性状进行相关分析、通径分析和主成分分析。结果表明,不同地区油菜资源农艺性状存在显著差异,这为优异资源的筛选创造了条件。相关分析表明,单株产量与株高、主序有效长度、一次有效分枝数、主序有效角果数、角果长度、每角果粒数和千粒重呈极显著正相关,这些性状的改善和提高有利于油菜产量的增加,与前人研究结果一致^[3-11]。单株产量与营养生长天数呈显著负相关,与开花天数呈不显著正相关,说明品种选育时要选择营养生长时间较短,开花时间相对较长的品种,栽培上应防止前期徒长缩短营养生长时间,延长生殖生长,利于营养成分从“库”到“源”的转移,这样才有利用高产。这与前人研究结果存在一定的差异^[18],产生差异的原因可能是本研究所用材料为长江流域不同生态区域的甘蓝型油菜亲本,且绝大多数是其他生态区,甚至国外的品种,不适应本生态区,且生育期存在一定的差异;此外,作物的营养生长和生殖生长本来是一个相互矛盾的两个方面,营养生长为生殖生长提供物资和能量,但营养生长过长生殖生长就过短,导致生殖生长物质积累不够,“库”充足,而“源”不足,不能产生正常饱满的种子,自然影响单株产量。此外,前人研究选用的市面上审定推广的品种,为杂种

F_1 , 而本研究选用的是不同育种单位提供的油菜亲本材料。因此, 选择不同的品种就会产生不同结果。对于导致这一结果的原因, 我们将通过进一步的试验进行验证。

在对影响油菜产量的相关研究中, 不同研究其结果不尽相同。关周博等^[4]认为, 单株有效角果数对单株产量影响最大, 其次是主序角果数和每角果粒数。宋稀等^[5]认为, 在高密度种植的油菜中, 结角密度直接作用最大, 其次是分枝高和株高, 在常规密度品种中, 单株有效角果数对产量影响最大, 其次是株高。张锦芳等^[8]认为, 单株有效角果数、每角粒数、千粒重对单株产量的直接、间接影响较大。李宏军等^[10]认为, 在低密度条件下, 株高对产量的影响最大, 其次是产量构成因素, 而在高密度条件下, 每角果粒数对产量影响最大, 其次是角果数和千粒重; 本研究中, 对单株产量直接影响最大的是株高, 其次是每角果粒数和一次有效分枝数, 且与单株产量极显著正相关, 说明提高这3个性状有利于单株产量的增加。而考察性状通过对其他性状的影响对单株产量产生间接作用最大为主序有效长度, 其次是主序有效角果数和一次分枝高度, 这与倪正斌等^[9], 黄益国等^[19]的研究具有相同之处。

主成分分析将原来10个与单株产量相关的性状重新划分为4个新的性状, 第1个性状为株高控制因子, 第2个性状为生育期控制因子, 第3个性状为产量性状控制因子, 第4个性状为株型控制因子, 其贡献率分别为27.476%、17.468%、15.681%和9.962%。

因此, 本研究采用相关分析、通径分析、多元回归分析及主成分分析等方法, 探讨在成都平原气候条件下, 与油菜单株产量相关的10个性状之间的关系, 明确甘蓝型油菜产量形成的主要决定因子不同性状间多存在显著相关关系, 结果表明本生态区域内决定产量形成的关键性状为株高、每角果粒数、一次有效分枝高度和一次有效分枝数, 其结果对于充分利用各育种单位亲本材料优良性状提供了有价值的参考。

参考文献

- [1] 王汉中. 中国油菜品种改良的中长期发展战略. 中国油料作物学报, 2004, 26(3): 98-101
Wang H Z. Long-term development strategy of rape variety improvement in China. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2004, 26(3): 98-101
- [2] 涂金星, 张冬晓, 张毅, 傅廷栋. 我国油菜育种目标及品种审

定问题的商榷. 中国油料作物学报, 2007, 29(3): 350-352
Tu J X, Zhang D X, Zhang Y, Fu T D. Discussion on some standards of variety registration and breeding goals of *Brassica napus* in China. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2007, 29(3): 350-352

- [3] 张芳, 赵永国, 谷铁城, 张冬晓, 刘凤兰, 郭瑞星, 付桂萍, 张学昆. 2001-2010年国家审定冬油菜品种的产量与主要性状分析. 中国油料作物学报, 2012, 34(3): 239-244
Zhang F, Zhao Y G, Gu T C, Zhang D X, Liu F L, Guo R X, Fu G P, Zhang X K. Yield and agronomic traits of winter rapeseed cultivars registered in China from 2001 to 2010. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2012, 34(3): 239-244
- [4] 关周博, 田建华, 郑磊, 姚雪雁, 韦世豪, 李少钦, 董育红, 李殿荣. 适宜机械化栽培的甘蓝型油菜农艺性状与单株产量的相关性分析及耐密油菜育种探讨. 中国农学通报, 2013, 29(18): 79-83
Guan Z B, Tian J H, Zheng L, Yao X Y, Wei S H, Li S Q, Dong Y H, Li D R. Correlation analysis of agronomic traits and yield per plant in *Brassica napus* L. of suitable mechanization planting and study of breeding of tolerance close planting canola. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(18): 79-83
- [5] 宋稀, 刘凤兰, 郑普英, 张学昆, 陆光远, 付桂萍, 程勇. 高密度种植专用油菜重要农艺性状与产量的关系分析. 中国农业科学, 2010, 43(9): 1800-1806
Song X, Liu F L, Zheng P Y, Zhang X K, Lu G Y, Fu G P, Cheng Y. Correlation analysis between agronomic traits and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) for high-density planting. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(9): 1800-1806
- [6] 宋丰萍, 蒙祖庆, 窦胜玮, 刘丹. 春播半冬性甘蓝型油菜光温因子与产量及农艺性状的典型相关分析. 中国生态农业学报, 2015, 23(8): 987-993
Song F P, Meng Z Q, Dou S W, Liu D. Canonical correlations of light and temperature with yield and agronomic traits of semi-winter rapeseed (*Brassica napus* L.) sowed in spring. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(8): 987-993
- [7] 杨安中, 彭春华. 油菜单株产量与若干农艺性状的相关分析. 安徽农学通报, 2006, 12(2): 33-34
Yang A Z, Peng C H. Correlation analysis of yield of oil menu and some agronomic traits. Agricultural Science Bulletin, 2006, 12(2): 33-34
- [8] 张锦芳, 蒲晓斌, 李浩杰, 张启行, 蒋梁材. 不同来源甘蓝型油菜主要农艺性状与产量的相关分析. 西南农业学报, 2007, 20(4): 587-590
Zhang J F, Pu X B, Li H J, Zhang Q X, Jiang L C. Correlation analysis between major agronomil characters and yield per plant in rapeseed (*Brassica nanpus* L.) from different source. Southwest China Journal of Agricultural Science, 2007, 20(4): 587-590
- [9] 倪正斌, 孙红芹, 万林生. 甘蓝型油菜产量与主要农艺性状的灰色关联度分析. 浙江农业科学, 2017, 58(7): 1146-1149
Ni Z B, Sun H Q, Wan L S. Grey relational analysis of yield and main agronomic traits of *Brassica napus* L.. Agricultural Sciences, 2017, 58(7): 1146-1149
- [10] 李宏军, 杨鸿, 朱传霞, 胡金荣, 薛高尚, 黄琳, 朱俊子, 罗晓玲, 张洋, 文奕峰, 魏廷龙. 湖南省油菜品种农艺性状分析. 作物杂志, 2015(3): 41-44

- Li H J, Yang H, Zhu C X, Hu J R, Xue G S, Huang L, Zhu J Z, Luo X L, Zhang Y, Wen Y F, Wei T L. Analysis on agronomic traits of rape varieties in province. *Crops*, 2015 (3): 41-44
- [11] 白桂萍, 刘克钊, 谭永强, 尹羽丰, 余华强, 王汉中. 油菜高产群体各农艺性状对产量的影响. *作物杂志*, 2015 (6): 33-38
- Bai G P, Liu K Z, Tan Y Q, Yin Y F, Yu H Q, Wang H Z. Effect of agronomic traits on seed yield in high-yielding rapeseed populations. *Crops*, 2015 (6): 33-38
- [12] 王建林, 次仁央金, 大次卓嘎, 王忠红. 西藏及周边地区芥菜型油菜农艺性状比较研究. *植物遗传资源学报*, 2011, 12 (4): 562-569
- Wang J L, Cirenayangjin, Dacizhuoga, Wang Z H. Comparative between agronomical traits of brassica juncea species in tibet and the adjacent regions. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2011, 12 (4): 562-569
- [13] 杜家菊, 陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法. *生物学通报*, 2010, 45 (2): 4-6
- Du J J, Chen Z W. Method for path analysis using SPSS linear regression. *Biology Bulletin*, 2010, 45 (2): 4-6
- [14] 杜鹃. 通径分析在 EXCEL 和 SPSS 中的实现. *陕西气象*, 2012 (1): 15-18
- Du J. Path Analysis in EXCEL and SPSS. *Shaanxi Weather*, 2012 (1): 15-18
- [15] 宋小园, 朱仲元, 刘艳伟, 赵宏瑾. 通径分析在 SPSS 逐步线性回归中的实现. *干旱区研究*, 2016, 33 (1): 108-112
- Song X Y, Zhu Z Y, Liu Y W, Zhao H J. Application of path analysis in stepwise linear regression SPSS. *Arid Zone Research*, 2016, 33 (1): 108-112
- [16] 周丽艳, 郭振清, 马玉玲, 东方阳, 林小虎. 春小麦品种农艺性状的主成分分析与聚类分析. *麦类作物学报*, 2011, 31 (6): 1057-1062
- Zhou L Y, Guo Z Q, Ma Y L, Dongfang Y, Lin X H. Principal component and cluster analysis of different spring wheat cultivars based on agronomic traits. *Journal of Triticeae Crops*, 2011, 31 (6): 1057-1062
- [17] 陶爱芬, 祁建民, 林培青, 方平平, 吴建梅, 林荔辉. 红麻优异种质产量和品质性状主成分聚类分析与综合评价. *中国农业科学*, 2008, 41 (9): 2859-2867
- Tao A F, Qi J M, Lin P Q, Fang P P, Wu J M, Lin L H. Cluster analysis and evaluation of elite kanaf germplasm based on principal components. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41 (9): 2859-2867
- [18] 郑本川, 张锦芳, 李浩杰, 蒲晓斌, 崔成, 柴靓, 蒋俊, 牛应泽, 蒋梁材. 甘蓝型油菜生育期天数与产量构成性状的相关分析. *中国油料作物学报*, 2013, 35 (3): 240-245
- Zheng B C, Zhang J F, Li H J, Pu X B, Cui C, Chai L, Jiang Jg Niu Y Z, Jiang L C. Correlation of the growth period characteristics, the grain yield per plant and the yield component characteristics in *Brassica napus* L. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2013, 35 (3): 240-245
- [19] 黄益国, 张学昆, 张毅, 雷利琴. 不同熟期油菜品种农艺性状与产量的相关分析. *作物研究*, 2017, 31 (3): 260-264
- Huang Y G, Zhang X K, Zhang Y, Lei L Q. Correlation analysis about agronomic traits and yield of rape varieties with different maturity stages. *Crop Research*, 2017, 31 (3): 260-264