



甘蓝型油菜主要株型和产量性状的综合分析

郭娜, 左凯峰, 张森, 张冰冰, 秦梦凡, 马宁,

刘翔, 李青青, 黄镇, 徐爱遐

(西北农林科技大学 农学院, 陕西杨凌 712100)

摘要 优化株型、提高产量是当前油菜产业发展的关键。以 130 份甘蓝型油菜育种亲本为研究材料, 对 10 个株型性状和 5 个产量性状进行田间考查, 通过表型相关分析、通径分析、主成分分析研究油菜株型性状与产量及产量性状之间的关系, 明确甘蓝型油菜单株产量形成的主要决定因子。结果表明: 130 份材料主要株型和产量性状存在丰富的变异, 15 个性状变异大小依次为二次分枝数>单株产量>全株角果数>一次有效分枝高度>顶端分枝角>主花序有效角果数>每角粒数=基部分枝角>一次分枝数>中部分枝角=主花序长度>千粒质量>角果长>角果宽>株高。相关分析表明: 15 个性状间多数存在显著相关, 产量性状中全株角果数与单株产量相关性最大(0.834)。株型性状中株高(0.326)、一次分枝数(0.333)、二次分枝数(0.382)和角果宽(0.208)与单株产量关系比较密切。通径分析表明: 对油菜单株产量正向直接效应最大的产量性状是全株角果数(0.786), 对油菜单株产量的正向直接效应最大的株型性状是株高(0.021)和顶端分枝角(0.021)。株高、一次分枝数、二次分枝数、顶端分枝角和基部分枝角通过全株角果数对单株产量的间接效应较大。主成分分析共获得了 6 个主成分, 分别为分枝角度因子、全株角果数因子、株高因子、主花序因子、角果宽因子、角果长因子。主成分综合评价将 130 份材料划分为 4 类, 其中综合性状优良的有 12 份材料, 对育种家改良油菜株型有一定借鉴意义。

关键词 甘蓝型油菜; 株型性状; 产量性状; 相关分析; 通径分析; 主成分分析

中图分类号 S565.4

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2020)06-0898-09

中国作为油菜生产大国, 油菜种植面积和产量在逐年增加, 其中甘蓝型油菜因产量高、适应性强等优点成为中国种植面积最大的油菜品种^[1]。提高油菜产量和培育适合机收品种是油菜育种的主要目标^[2]。单株有效角果数、每角粒数和千粒质量是油菜产量构成的主要因素, 涉及株型的如株高、分枝角度、分枝数等性状通过影响产量性状或作物倒伏间接地影响油菜产量。因此, 在油菜育种中, 油菜性状的考察和分析是进行亲本筛选和配制优良杂交组合的基础^[3]。为解决制约油菜产业发展生产效益低下和机械化水平低的问题, 关键在于株型的选择和优化。理想的株型可以提高叶面积系数, 改良群体的光合效率, 改善油菜的倒伏状况, 增加生物学产量和提高经济系数^[4]。

针对不同甘蓝型油菜性状的分析, 前人已开

展了较多的研究。倪正斌等^[5]对 2016—2017 年度江苏盐城地区 12 个油菜品种进行研究, 结果表明不同甘蓝型油菜品种(组合)的主要农艺性状差异较大, 二次分枝数的变异系数最大, 角果长的变异系数最小; 油菜产量与一次分枝数、二次分枝数、全株角果数均呈显著正相关。郑本川等^[6]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。结果表明, 不同地区油菜农艺性状存在较大差异; 单株产量与株高、主序有效长度、一次分枝数、主序有效角果数、角果长、每角粒数和千粒质量间呈极显著正相关, 与营养生长时间之间呈显著负相关; 对单株产量直接影响最大的是株高, 其次是每角粒数和一次有

收稿日期:2019-11-22 **修回日期:**2020-03-17

基金项目:“长江下游及黄淮油菜高产优质适宜机械化新品种培育”(2018YFD0100600);“十三五”国家重点研发计划(2016YFD0101300);陕西省科技统筹创新工程计划(2016KTCQ02-03)。

第一作者:郭娜, 女, 硕士研究生, 研究方向为油菜遗传改良与种质创新。E-mail:1872620601@qq.com

通信作者:徐爱遐, 女, 博士, 研究员, 研究方向为油菜遗传育种及分子生物学。E-mail:xuaixia@nwsuaf.edu.cn

效分枝数,间接作用最大为主花序有效长度,其次是主花序有效角果数和一次分枝高度。许多研究着重分析了油菜产量与农艺性状的关系,未能揭示株型性状与产量及产量性状的相关,也缺乏对株型性状与产量形成关系的深入分析。

虽然前人对甘蓝型油菜的农艺性状已做了大量的分析研究^[7-11],但采用的分析方法尚不全面,考察指标相对较少,侧重油菜产量性状的考察而忽视了株型性状的分析。理想株型是增加种植密度,培育适合机收油菜新品种的基础,由于油菜株型受株高、分枝角度、分枝数等多个性状的综合影响,所以剖析油菜株型和产量性状的关系,可以为理想株型新品种的选育奠定理论基础。本研究选取 130 份油菜育种亲本材料,在油菜成熟期对其主要株型性状和产量性状进行考察分析,探讨主要株型性状对产量形成的影响,以期为油菜种质的有效利用和油菜株型性状的综合改良提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为西北农林科技大学油菜遗传及分子育种实验室多年培育的 130 份甘蓝型油菜亲本材料,其遗传基础广泛,具有丰富的变异来源,供试材料采用 1-130 编号。

1.2 试验方法

1.2.1 田间种植 试验于 2017—2018 年在陕西杨凌西北农林科技大学曹新庄试验田(34°28'N, 108°07'E)进行,选择有代表性、地势平坦、排灌方便、地力均匀的田块进行区域试验。采用单因素完全随机试验设计,每个株系种植 3 行,每行 16~18 株,行长 2 m,行距 35 cm,种植密度为 15 000 株/667m²。试验地四周设保护行,土壤肥力中等,播前混施底肥磷酸氢铵和尿素,用量分别为 40 kg/667m² 和 10 kg/667m²。9 月下旬播种,三叶期间苗,五叶期定苗,冬前 11 月中旬中耕,12 月下旬冬灌,来年 3 月上旬春耕 1 次。其他田间管理按常规进行。

1.2.2 性状考察 在油菜薹薹期随机选取每小区 5 个代表性单株(除边株和特异株外)挂牌,成熟期田间考种,调查每个挂牌单株的株型和产量性状。株型性状包括株高(PH)、一次有效分枝高度(VBH)、主花序长度(MIL)、一次分枝数(BN)、二次分枝数(SBN)、顶端分枝角(TBA)、中

部分枝角(MBA)、基部分枝角(BBA)、角果长(SL)、角果宽(SW)10 个性状;产量性状包括主花序有效角果数(NSTR)、全株角果数(NSP)、每角粒数(NS)、千粒质量(TSW)和单株产量(SYP)5 个性状,共测量 15 个表型性状。油菜成熟后,剪取连有油菜上部第一分枝(顶枝)、中部第四分枝(中枝)和基部第一分枝(基枝)的茎段,通过数字图像采集法^[12]获取顶端分枝角、中部分枝角和基部分枝角图像文件,将其导入 AutoCAD 软件,利用角度工具标注角度并记录;利用万生软件测千粒质量;其余性状通过工具尺测量。田间记载和考种依照文献^[13]和伍晓明等^[14]的方法。

1.3 数据分析

利用 Excel 2016 统计 130 份甘蓝型油菜的表型数据。采用 SPSS 20.0 分析株型性状和产量性状的相关性。对各性状原始数据进行处理,利用原始数据的平均值进行通径分析。利用 SPSS 因子分析进行主成分分析与综合评价。

2 结果与分析

2.1 甘蓝型油菜株型性状和产量性状表现

130 份亲本材料的 10 个株型性状和 5 个产量性状的表型特征值统计结果见表 1,130 份材料主要性状变异丰富。参试材料 PH 平均值为 156.43 cm,变幅为 111.30~192.40 cm,71.5% 的材料 PH 集中在 145~170 cm;VBH 平均值为 59.09 cm,变幅为 12.30~104.50 cm,85.4% 的材料 VBH 集中在 40~80 cm;MIL 平均值为 50.83 cm,变幅为 17.30~87.50 cm,79.2% 的材料 MIL 集中在 40~60 cm;BN 平均值为 8.38 个,变幅为 4~15 个,80.8% 的材料 BN 集中分布在 6.75~9.75 个;SBN 平均值为 5.44 个,变幅为 0~20 个,88.5% 的材料居于 1.25~9.75;TBA、MBA、BBA 的平均值分别为 39.01°、42.40°、34.13°,变幅分别为 12.00°~75.00°、16.00°~72.50°、10.00°~60.50°,TBA 集中分布在 32.5°~47.5°,MBA 集中分布在 37.5°~50.0°,BBA 集中分布在 25.0°~40.0°;SL 和 SW 平均值分别为 5.93 cm、0.55 cm,变幅分别为 3.61~9.29 cm、0.41~0.80 cm,SL 集中分布在 5.00~6.75 cm,SW 集中分布在 0.49~0.63 cm;NSTR、NSP 平均值分别为 64.21 个、230.30 个,变幅分别为 21.00~130.00 个、230.30~762.93 个;NS、TSW 平均值分别为 20.50 粒、

4.08 g,变幅分别为 5.40~32.00 粒、1.76~7.30 g; SYP 平均值 19.07 g,变幅为 2.79~68.70 g, 83.1%的材料 SYP 集中在 10.00~27.50 g。15 个性状的变异系数顺序为 SBN>SYP>NSP>

VBH>TBA>NSTR>NS=BBA>BN>MBA=MIL>TSW>SL>SW>PH,各性状呈正态或偏正态分布,是典型的数量性状。

表 1 甘蓝型油菜主要性状的表型统计

Table 1 Phenotypic statistics of main traits of *Brassica napus* L.

性状 Trait	平均值 Mean	极差 R	标准差 SD	变异系数 CV	变异幅度 Variation range	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis
PH/cm	156.43	81.10	13.98	0.09	111.30~192.40	-0.26	0.14
VBH/cm	59.09	92.20	17.82	0.30	12.30~104.50	-0.09	-0.46
MIL/cm	50.83	70.20	10.25	0.20	17.30~87.50	0.26	0.45
BN	8.38	11.00	1.77	0.21	4.00~15.00	0.42	0.16
SBN	5.44	20.00	4.17	0.77	0.00~20.00	0.84	0.41
TBA/(°)	39.01	63.00	9.97	0.26	12.00~75.00	0.34	0.47
MBA/(°)	42.40	56.50	8.48	0.20	16.00~72.50	0.22	0.61
BBA/(°)	34.13	50.50	7.65	0.22	10.00~60.50	0.13	0.41
NSTR	64.21	109.00	15.06	0.23	21.00~130.00	0.23	0.68
NSP	230.30	693.61	96.56	0.42	69.32~762.93	1.04	2.19
SL/cm	5.93	5.68	0.79	0.13	3.61~9.29	0.65	1.46
SW/cm	0.55	0.41	0.06	0.11	0.40~0.80	0.59	1.00
NS	20.50	26.60	4.47	0.22	5.40~32.00	-0.35	0.25
TSW/g	4.08	5.54	0.79	0.19	1.76~7.30	0.64	0.93
SYP/g	19.07	65.91	9.40	0.49	2.79~68.70	1.05	1.57

2.2 甘蓝型油菜性状相关分析

对参试材料各性状进行相关性分析(表 2),结果表明,各个性状之间存在不同程度的相关性。PH 除与 SBN 和 TSW 相关不显著外,与其他性状均显著正相关,PH 与 VBH(0.509)相关最密切,其次与 MIL、NSTR、NSP、NS 和 SYP 相关系数在 0.2~0.4,相关比较密切,其余性状相关系数均小于 0.2,相关不密切。VBH 与 MIL、BN 和 SBN 显著负相关,相关系数分别为-0.379、-0.249 和-0.423;VBH 与 TBA、MBA 和 BBA 显著正相关,相关系数分别为 0.265、0.305 和 0.415,说明一次分枝部位越高,分枝角度越小。MIL 除与 SL、SW、NS 和 TSW 不显著相关外,与其他性状均显著相关,其中与 BN、MBA 和 TBA 呈负相关,相关系数分别为-0.200、-0.262 和-0.231,但与 NSTR 正相关,且比较密切(0.384),其余相关不密切。BN 与 TBA、BBA、SL、SW、NSTR、NS 和 TSW 相关不显著,与其余 7 个株型性状相关均显著,其中与 SBN、NSP 和 SYP 相关比较密切,相关系数分别为 0.382、0.350 和 0.333。SBN 与除 BN 显著相关外,与

NSP 和 SYP 也显著正相关,相关比较密切。3 个部位的分枝角 TBA、MBA 和 BBA 除与 VBH 和 MIL 相关密切外,三者之间正相关显著且相关系数较大,分别为 0.486、0.409 和 0.595,表现密切的相关关系,表明不同部位的分枝角度密切相关,但 3 个分枝角度性状与单株产及产量性状相关系数较小。两个角果性状 SL 和 SW 与各株型性状相关不显著或相关性很小。4 个产量性状 NSTR、NSP、NS 和 TSW 均与 SYP 显著正相关,其中 NSP 与 SYP 相关系数最大(0.834),相关最密切;其次是 NS、NSTR 和 TSW,相关系数分别为 0.368、0.343 和 0.236,相关比较密切。NSTR 与 NSP 显著正相关,相关系数 0.367;NS 与 TSW 显著负相关,相关系数-0.257。综上所述:4 个产量性状与单株产量相关性强,尤其全株角果数与单株产量相关性最大;株型性状中株高、一次分枝数、二次分枝数和角果宽与单株产量关系比较密切。

进一步分析各产量性状与株型性状的相关可见:NSTR 与 MIL 和 PH 极显著正相关,相关系数分别为 0.384 和 0.345,表明增加株高和主花

序长度,能够有效增加角果数;NSP 与 PH、BN 和 SBN 极显著正相关且相关系数较大,相关系数分别为 0.246、0.350 和 0.434,关系较密切,说明 PH、BN 和 SBN 增加可以有效提高 NSP。NS 与 PH 和 SL 极显著正相关且相关系数较大,相关系数分别为 0.319 和 0.451,表明增加株高和角果长,能够有效提高角粒数。TSW 与 SW 呈极显著

正相关,相关系数较大为 0.375,表明角果宽度的增加可显著增加油菜千粒质量;SYP 除与 VBH 和 BBA 相关不显著外,与其他性状均呈极显著正相关,其中与 PH、BN、SBN 以及 SW 相关性较强,相关系数分别为 0.326、0.333、0.382 和 0.208,表明高产育种时增加 PH、BN、SBN 和 SW 可有效提高油菜单株产量。

表 2 甘蓝型油菜主要农艺性状间的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of main traits of *Brassica napus* L.

	PH	VBH	MIL	BN	SBN	TBA	MBA	BBA	SL	SW	NSTR	NSP	NS	TSW
VBH	0.509 **													
MIL	0.246 **	-0.379 **												
BN	0.112 **	-0.249 **	-0.200 **											
SBN	-0.020	-0.423 **	0.167 **	0.382 **										
TBA	0.175 **	0.265 **	-0.188 **	0.060	-0.139 **									
MBA	0.152 **	0.305 **	-0.262 **	0.123 **	-0.078 *	0.486 **								
BBA	0.161 **	0.415 **	-0.231 **	-0.040	-0.146 **	0.409 **	0.595 **							
SL	0.091 *	-0.020	0.080	-0.020	-0.010	0.060	0.060	0.030						
SW	0.136 **	0.089 *	-0.020	0.030	-0.010	0.020	0.050	0.020	-0.080 *					
NSTR	0.345 **	-0.010	0.384 **	0.010	0.030	0.099 *	-0.030	0.060	0.010	0.000				
NSP	0.246 **	-0.127 **	0.166 **	0.350 **	0.434 **	0.050	0.040	0.010	-0.083 *	0.020	0.367 **			
NS	0.319 **	0.163 **	0.010	0.070	0.050	0.079 *	0.136 **	0.117 **	0.451 **	0.129 **	0.083 *	0.000		
TSW	-0.070	-0.070	0.020	-0.020	-0.030	0.116 **	0.105 **	0.010	-0.040	0.375 **	0.000	0.010	-0.257 **	
SYP	0.326 **	-0.070	0.152 **	0.333 **	0.382 **	0.132 **	0.138 **	0.070	0.121 **	0.208 **	0.343 **	0.834 **	0.368 **	0.236 **

注: ** 在 0.01 水平上极显著相关, * 在 0.05 水平上显著相关。

Note: ** represents significant correlation at 0.01 level, * represents significant correlation at 0.05 level.

2.3 甘蓝型油菜单株产量与各性状间的通径分析

通过 SPSS 通径分析可建立线性回归方程、获得通径系数。单株产量与各性状间的通径分析(表 3)表明:株型性状对单株产量(SYP)的直接贡献大小依次为 PH(0.021 0)=TBA(0.021 0)>MBA(0.012 0)>SW(0.007 0)>SBN(0.000 0)>BN(-0.008 0)>SL(-0.007 0)>BBA(-0.016 0)>MIL(-0.018 0)>VBH(-0.036 0),可见,各株型性状对 SYP 的直接效应均较小,其中 PH 和 TBA 对 SYP 的直接正效应相对最大,VBH 对 SYP 的直接负效应最大。产量性状对单株产量(SYP)的直接贡献大小依次为 NSP(0.786 0)>NS(0.502 0)>TSW(0.391 0)>NSTR(0.000 0),可见,3 个产量构成性状 NSP、NS、TSW 对 SYP 的直接正效应明显高于各株型性状的直接效应,其中 NSP 的直接正向效应最大。NSP 通过 PH(0.005 2)、VBH(0.001 3)、TBA(0.002 8)、MBA(0.001 1)、SL(0.006 0)对 SYP 的间接正效应较小,通过 MIL(-0.002 1)、BN(-0.002 9)和 BBA(-0.002 2)

的间接负效应较小。NS 和 TSW 的直接通径系数(0.502 0 和 0.391 0)较大且为正值,NS 通过 PH(0.009 1)、TBA(0.003 3)、MBA(0.002 2)等株型性状对 SYP 产生间接正向效应较小;NS 通过 VBH 对 SYP 产生相对较大的负向效应(-0.010 9)。TSW 通过 VBH(0.004 4)、TBA(0.003 3)、MBA(0.001 4)、SW(0.002 9)等株型性状对 SYP 产生间接正向效应较小;通过 PH(-0.002 9)、BBA(-0.000 4)和 SL(-0.000 1)的间接负向效应较小。

分析各个株型性状发现,PH 通过 NSP(0.193 4)和 NS(0.218 4)对 SYP 的间接作用较大。BN、SBN、TBA 和 BBA 通过 NSP 对 SYP 产生间接正向效应值较大,间接通径系数分别为 0.288 5、0.337 2、0.104 5 和 0.107 7。可见,株高、分枝数和分枝角度与全株角果数相互协同提高油菜单株产量。综上可见,NSP、NS 和 TSW 对油菜单株产量的正向直接效应最大,其次是 PH、TBA 和 MBA,VBH 的负向直接效应最大。PH、BN、SBN、TBA 和 BBA 通过 NSP 对 SYP 的间接效应较大。

表 3 甘蓝型油菜单株产量与各性状间的通径分析

Table 3 Path analysis between per-plant yield and relative characters in *Brassica napus* L.

变量 Variable	直接通径 系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient														合计 Total
		PH	VBH	MIL	BN	SBN	NSTR	TBA	MBA	BBA	NSP	SL	SW	NS	TSW	
PH	0.021 0		-0.021 9	-0.003 7	-0.000 7	0.000 0	0.000 0	0.004 9	0.002 0	-0.003 7	0.193 4	-0.000 9	0.001 1	0.218 4	-0.054 0	0.334 8
VBH	-0.036 0	0.012 7		0.007 6	0.000 8	0.000 0	0.000 0	0.007 4	0.004 3	-0.007 4	-0.028 3	-0.000 1	0.001 0	0.151 6	-0.047 7	0.101 9
MIL	-0.018 0	0.004 3	0.015 1		0.002 9	0.000 0	0.000 0	-0.006 1	-0.004 3	0.004 5	0.092 7	-0.000 9	0.007 0	0.029 6	-0.002 3	0.142 6
BN	-0.008 0	0.001 9	0.003 7	0.006 6		0.000 0	0.000 0	0.003 2	0.002 3	-0.001 2	0.288 5	0.000 5	0.000 2	0.011 5	-0.009 4	0.307 7
SBN	0.000 0	-0.002 1	0.014 3	-0.002 3	-0.002 7		0.000 0	-0.003 3	-0.001 3	0.001 3	0.337 2	0.000 5	-0.000 6	-0.024 6	-0.006 3	0.310 1
NSTR	0.000 0	0.007 4	-0.002 3	-0.006 9	0.000 8	0.000 0		0.001 8	-0.000 6	-0.001 1	0.345 8	0.000 0	-0.000 1	0.062 2	-0.013 3	0.393 8
TBA	0.021 0	0.004 9	-0.012 7	0.005 2	-0.001 2	0.000 0	0.000 0		0.008 4	-0.009 3	0.104 5	-0.001 0	0.000 6	0.078 3	0.061 0	0.238 8
MBA	0.012 0	0.003 4	-0.013 0	0.006 4	-0.001 5	0.000 0	0.000 0	0.014 6		-0.012 8	0.069 2	-0.000 6	0.000 5	0.092 9	0.046 9	0.206 0
BBA	-0.016 0	0.004 9	-0.016 6	0.005 0	-0.000 6	0.000 0	0.000 0	0.012 2	0.009 6		0.107 7	-0.000 7	0.000 4	0.127 5	0.008 6	0.258 1
NSP	0.786 0	0.005 2	0.001 3	-0.002 1	-0.002 9	0.000 0	0.000 0	0.002 8	0.001 1	-0.002 2		0.000 6	0.000 0	0.044 7	-0.021 9	0.026 4
SL	-0.007 0	0.002 6	-0.000 6	-0.002 3	0.000 5	0.000 0	0.000 0	0.002 9	0.001 1	-0.001 5	-0.070 0		-0.000 9	0.203 3	0.006 6	0.141 9
SW	0.007 0	0.003 3	-0.004 9	0.000 8	-0.000 3	0.000 0	0.000 0	0.001 9	0.000 8	-0.001 0	-0.003 9	0.000 9		0.056 7	0.163 4	0.217 9
NS	0.502 0	0.009 1	-0.010 9	-0.001 1	-0.000 2	0.000 0	0.000 0	0.003 3	0.002 2	-0.004 1	0.070 0	-0.002 8	0.000 8		-0.117 7	-0.051 3
TSW	0.391 0	-0.002 9	0.004 4	0.000 1	0.000 2	0.000 0	0.000 0	0.003 3	0.001 4	-0.000 4	-0.044 0	-0.000 1	0.002 9	-0.151 1		-0.186 2

2.4 甘蓝型油菜各性状的主成分分析及综合评价

为确定对油菜产量起主导作用的重要指标,对 130 份自然群体的 15 个性状进行主成分分析(表 4),由表 4 可见,特征值大于 1 的主成分有 6 个,其累计贡献率达到 79.45%,表明提取的 6 个主成分包含 15 个性状因子的大多数信息。

第一主成分总遗传贡献率 23.59%,其中与 MBA(0.91)的正相关性最强,其次是 BBA 和 TBA(0.85 和 0.83),这 3 个性状均与分枝角度有关,可将其命名为分枝角度因子。表 4 数据说明,随着第一主成分值的增加,油菜各分枝部位角度增大,第一次分枝部位会一定程度增加,MIL 会一定程度减少。说明在油菜株型育种,这一主成分的指数是最值得关注的。第二主成分总遗传贡献率 16.81%,其中与 NSP(0.80)的正相关最大,其次是 SBN、BN、SYP(0.73、0.72、0.71),这些性状多与全株角果数相关,第二主成分可称为全株角果数因子。说明在进行高产育种时要特别关注第二主成分值,该主成分中负值绝对值最大的是 VBH(-0.24),表明甘蓝型油菜一次有效分枝高度的增加一定程度会减少分枝数、全株角果数和单株产量,高产育种时要适当降低分枝高度。第三主成分总遗传贡献率 13.17%,其中与 PH(0.79)的正相关性最强,其次是 VBH(0.78),可将第三主成分称为株高因子,进行株高改良育种时,要特别关注该主成分;该主成分中负值绝对值

最大为 TSW(-0.36),表明甘蓝型油菜株高和一次分枝部位的增加一定程度会降低千粒质量。第四主成分总遗传贡献率 10.09%,其中与 NSTR(0.83)正相关性最强,其次是 MIL(0.74),这两个性状与主花序相关,可将其命名为主花序因子。表 4 还可以看出,NSTR 和 MIL 的增加会一定程度增加 NSP 和 SYP,说明在油菜高产育种时,要重视主花序这一主成分因子。第五主成分总遗传贡献率 8.25%,与 SW(0.85)的正相关最大,其次是 TSW(0.82),说明增加角果宽度可增加千粒质量,一定程度提高单株产量,该主成分可称为角果宽因子。第六主成分总遗传贡献率 7.54%,其中与 SL(0.88)的正相关最大,其次是 NS(0.67),说明可增加角果长度来提高角粒数,一定程度增加单株产量,该主成分可称为角果长因子。

主成分综合评价见表 5,对甘蓝型油菜的主成分综合指数 T 排名,可被分为 4 级:Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级。130 份材料分为 12 份性状优良($T>1$)、56 份性状较好($0<T<1$)、54 份性状一般($-1<T<0$)、8 份性状较差($T<-1$)。对主成分综合评价筛选出的 12 份综合性状优良的甘蓝型油菜(117、102、30、15、122、48、26、19、116、1、35、129)与其田间多年表现对比分析,表明有 1 份材料(1)抗倒性较差,其余材料均表现良好,具有较好的株型性状和抗倒性,表明主成分综合评价具有一定的代表性。

表 4 甘蓝型油菜主要性状主成分分析

Table 4 Principal component analysis of main characters in *Brassica napus* L.

性状 Trait	主成分 Principal component					
	1	2	3	4	5	6
PH	0.11	0.11	0.79	0.29	0.04	0.13
VBH	0.40	−0.24	0.78	−0.12	−0.01	−0.10
MIL	−0.39	−0.05	−0.14	0.74	0.02	0.26
BN	0.11	0.72	0.05	−0.40	−0.01	−0.09
SBN	−0.17	0.73	−0.30	−0.03	−0.08	0.05
NSTR	0.08	0.12	0.23	0.83	−0.04	−0.11
TBA	0.83	0.04	0.10	0.02	0.11	0.07
MBA	0.91	0.06	0.07	−0.12	0.04	0.07
BBA	0.85	0.04	0.19	−0.01	−0.03	0.07
NSP	0.14	0.80	0.13	0.43	−0.03	−0.13
SL	0.12	−0.08	−0.05	0.04	−0.04	0.88
SW	−0.05	0.03	0.30	−0.09	0.85	−0.05
NS	0.07	0.16	0.57	0.01	−0.06	0.67
TSW	0.18	−0.04	−0.36	0.08	0.82	−0.04
SYP	0.22	0.71	0.24	0.38	0.29	0.23
特征值 Characteristic value	3.54	2.52	1.98	1.51	1.24	1.13
贡献率/% Contribution rate	23.59	16.81	13.17	10.09	8.25	7.54
累计贡献率/% Cumulative contribution rate	23.59	40.40	53.57	63.66	71.91	79.45

表 5 甘蓝型油菜主成分综合评价

Table 5 Comprehensive evaluation of main components of *Brassica napus* L.

分级 Grade	品种 Variety	主成分综合指数 T Principal component index T							
I	性状优良 Excellent	117(2.04)	102(1.75)	30(1.66)	15(1.51)	122(1.39)	48(1.16)	26(1.15)	19(1.12)
		116(1.11)	1(1.08)	35(1.07)	129(1.07)				
II	性状较好 Better	109(0.95)	124(0.90)	123(0.90)	130(0.88)	46(0.84)	33(0.83)	32(0.79)	25(0.73)
		126(0.73)	11(0.65)	98(0.65)	51(0.60)	9(0.57)	53(0.57)	31(0.55)	108(0.55)
		77(0.54)	50(0.53)	89(0.52)	93(0.50)	22(0.49)	28(0.48)	27(0.45)	49(0.44)
		2(0.41)	119(0.37)	16(0.37)	34(0.35)	91(0.34)	95(0.34)	81(0.33)	13(0.32)
		29(0.29)	42(0.29)	112(0.27)	14(0.27)	21(0.25)	101(0.23)	4(0.22)	45(0.21)
		120(0.19)	39(0.18)	87(0.17)	44(0.16)	118(0.14)	125(0.13)	76(0.10)	20(0.09)
		106(0.08)	97(0.05)	127(0.03)	52(0.03)	80(0.02)	71(0.02)	64(0.01)	96(0.01)
III	性状一般 General	40(−0.01)	84(−0.01)	86(−0.05)	43(−0.07)	58(−0.09)	41(−0.15)	99(−0.16)	60(−0.18)
		121(−0.18)	56(−0.18)	18(−0.19)	105(−0.19)	37(−0.21)	5(−0.23)	83(−0.24)	128(−0.26)
		17(−0.26)	111(−0.26)	104(−0.26)	3(−0.30)	57(−0.32)	82(−0.34)	72(−0.34)	90(−0.37)
		94(−0.37)	110(−0.37)	38(−0.38)	66(−0.46)	69(−0.50)	59(−0.50)	70(−0.53)	12(−0.56)
		54(−0.56)	23(−0.56)	67(−0.57)	47(−0.60)	74(−0.61)	79(−0.62)	62(−0.63)	85(−0.69)
		7(−0.71)	10(−0.73)	88(−0.74)	114(−0.75)	24(−0.76)	65(−0.77)	92(−0.84)	107(−0.87)
		6(−0.87)	115(−0.88)	68(−0.91)	36(−0.91)	55(−0.93)	78(−0.97)		
IV	性状较差 Worse	75(−1.00)	103(−1.18)	73(−1.25)	8(−1.33)	100(−1.40)	63(−1.72)	61(−1.86)	113(−2.10)

注:括号外数字代表油菜品种编号;括号内数字代表主成分综合指数 T。
Note:Numbers outside the brackets represent rape varieties; numbers inside the brackets represent main component composite index T.

3 讨论

高产一直是油菜遗传育种的目标,油菜产量除直接受产量构成性状的影响外,株型性状也对油菜产量产生间接的作用^[15]。近年来油菜产业发展缓慢,主要是受机械化生产程度不高的瓶颈

制约,有效途径是改良现有品种株型、增加油菜种植密度,提高单产水平。本研究利用甘蓝型油菜 130 份高代自交系自然群体,对 10 个株型性状和 5 个产量性状的表型、相关性、通径和主成分深入分析。通过对甘蓝型油菜主要性状的表型统计,标准差和变异系数较大,单个性状的变异系数在

0.09~0.77,其中株高的变异系数最小,二次分枝数的变异系数最大,与符明联等^[16]的研究结果相似,具有明显的数量遗传特征。甘蓝型油菜主要性状间的相关性差异较大,单株产量与株高(0.326**)、一次分枝数(0.333**)二次分枝数(0.382**)、主花序有效角果数(0.348**)、全株角果数(0.834**)、每角粒数(0.368**)的相关性较大且均达到极显著正相关,与周泉等^[17]的研究结果相似;单株产量与一次有效分枝高度(-0.07)相关性不显著且为负相关,与郑本川等^[6]的研究结果不一致,表明甘蓝型油菜表型可能与材料的遗传背景、环境及多世代自然群体有关。

单株产量与各性状间的通径分析表明:对单株产量直接影响较大的产量性状是全株角果数、每角粒数和千粒质量;对单株产量影响较大的株型性状是株高和顶枝角。株高、一次分枝数、二次分枝数、顶枝角和中枝角对单株产量的影响是通过直接作用和间接作用实现的,株高通过全株角果数和每角粒数对产量的间接作用较大,与张培竹等^[18]的研究相似。不同之处在于张培竹等^[18]研究认为在早期对一次有效分枝角果数与二次有效分枝角果数两个性状的选择会更加有效,同时进行间接选择会增强效果。符明联等^[16]的研究认为每角粒数对收获指数的直接效应最大。

对性状降维可提炼出较少的比较独立的主成分,为甘蓝型油菜理想株型品种的选育提供科学依据。叶波涛等^[19]考察了来自全国的377份甘蓝型油菜种质材料在贵阳环境条件下种植的7个重要农艺性状,主成分分析表明:前4个主成分因子总共能解释77.38%的表型变异,分别是株高因子、角果长度因子、一次有效分枝数因子、每角果粒数因子。本研究通过主成分分析共获得了6个主成分,其累计贡献率达到79.45%,分别是分枝角度因子、全株角果数因子、株高因子、主花序因子、角果宽因子、角果长因子,基本反映甘蓝型油菜株型与产量性状的全面信息,综上,可从分枝角度、株高、角果等性状改善油菜株型和提高油菜产量,这与前人的结果具有一致性^[20-22]。此外,本研究通过因子分析筛选出12份农艺性状较好的材料,可以为油菜株型育种和基础研究提供有用材料。

4 结 论

本研究采用相关分析、通径分析、主成分分析

3种方法研究株型性状与产量性状的关系,结果表明:甘蓝型油菜决定产量形成的性状间多存在显著相关关系,影响产量性状的关键株型性状为株高、顶枝角、中枝角、角果宽度、有效分枝数。相关分析表明,单株产量除与一次分枝高度和基枝角相关不显著外,与其他性状均呈极显著正相关,其中与全株角果数相关性最强,相关系数达到0.834;通径分析表明对单株产量直接影响较大的产量性状是全株角果数、每角粒数和千粒质量,对单株产量直接贡献最大的株型性状是株高和顶枝角,在油菜育种中应适当提高株高和顶枝角角度实现增产目标;主成分分析共获得6个主成分,分别是分枝角度因子、全株角果数因子、株高因子、主花序因子、角果宽因子、角果长因子,改善油菜株型的关键在于分枝角度、株高及角果性状,累积贡献率达到了79.45%,因子分析筛选出12份性状优良的油菜种质,可为油菜育种提供丰富的种质资源并为育种家改良油菜株型提供理论参考。

参考文献 Reference:

- [1] 傅廷栋. 油菜品种改良的现状与展望[J]. 华中农业大学学报(增刊), 2004(34): 6-11.
FU T D. The present and future of rapeseed quality improvement[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University (Suppl)*, 2004(34): 6-11.
- [2] 段秀建. 油菜株型相关性状的全基因组关联分析[D]. 重庆: 西南大学, 2015.
DUAN X J. Genome-wide association analysis of plant-type related traits in rapeseed (*Brassica napus* L.) [D]. Chongqing: Southwest University, 2015.
- [3] 张东锁, 臧 珊, 胡胜武, 等. 基于农艺性状的甘蓝型油菜三系骨干亲本多样性分析[J]. 西北农业学报, 2019, 28(3): 397-403.
ZHANG D S, ZANG SH, HU SH W, et al. Phenotypic diversity of a panel of elite lines in *Brassica napus* L. [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2019, 28(3): 397-403.
- [4] 沈金雄, 漆丽萍, 杨 军, 等. 甘蓝型油菜"棒状"突变体的发现及初步研究[J]. 中国油料作物学报, 2009, 31(3): 380-382.
SHEN J X, QI L P, YANG J, et al. Discovery and preliminary study of a rod-like mutant in *Brassica napus* L. [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2009, 31(3): 380-382.
- [5] 倪正斌, 王陈燕, 孙雪辉, 等. 甘蓝型油菜主要农艺性状相关性主成分分析[J]. 江西农业学报, 2018, 30(3): 7-10.
NI ZH B, WANG CH Y, SUN X H, et al. Correlation and principal component analyses of main agronomic traits in *Brassica napus* L. [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2018,

- 30(3):7-10.
- [6] 郑本川,崔 成,张锦芳,等.甘蓝型油菜育种亲本单株产量与农艺性状相关性分析[J].植物遗传资源学报,2019,20(1):113-121.
- ZHENG B CH, CUI CH, ZHANG J F, *et al.* Correlation analysis of yield per plant and agronomic traits in breeding lines in *Brassica napus* L. [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(1): 113-121.
- [7] 杜海平,曹孟梁,刘 洁.春甘蓝新材料主要性状偏相关和聚类分析[J].山西农业科学,2017,45(1):6-9.
- DU H P, CAO M L, LIU J. Partial correlation and cluster analysis of main characters of new materials in spring cabbage[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2017, 45(1): 6-9.
- [8] 袁姜莲.不同环境下油菜主要品质性状与含油量的相关及通径分析[J].安徽农业科学,2019,47(10):30-34.
- YUAN J L. Correlation and path analysis between quality traits and oil content of *Brassica napus* L. [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, 47(10): 30-34.
- [9] 孙程明,陈 松,彭 琦,等.甘蓝型油菜角果长度性状的全基因组关联分析[J].作物学报,2019,45(9):1303-1310.
- SUN CH M, CHEN S, PENG Q, *et al.* Genome-wide association study of silique length in rapeseed (*Brassica napus* L.) [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2019, 45(9): 1303-1310.
- [10] 赵海洋,唐伟杰,汪 骞,等.高密度栽培对不同油菜品种农艺性状与产量的影响[J].种子,2019,38(9):146-149.
- ZHAO H Y, TANG W J, WANG Q, *et al.* Effects of high-density cultivation on agronomic traits and yield of different rape varieties [J]. *Seed*, 2019, 38(9): 146-149.
- [11] 陈碧云.全球多样性甘蓝型油菜种质表型性状的评价与全基因组关联分析[D].北京:中国农业科学院,2014.
- CHEN B Y. Evaluation and genome-wide association mapping of phenotypic traits in global collections of *Brassica napus* L. [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.
- [12] 汪文祥,储 文,梅德圣,等.基于 SNP 遗传图谱定位甘蓝型油菜分枝角度 QTL[J].作物学报,2019,45(1):37-45.
- WANG W X, CHU W, MEI D SH, *et al.* Quantitative trait loci mapping for branch angle and candidate gene screening in *Brassica napus* L. [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2019, 45(1): 37-45.
- [13] 全国植物新品种测试标准化技术委员会.植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 甘蓝型油菜:NY/T 2239-2012[S].北京:中华人民共和国农业部,2012:5-14.
- National Technical Committee for the Standardization of Testing of New Plant Varieties. Guidelines for the Conduct of Tests for Distinctness, Uniformity and Stability, Rapeseed (*Brassica napus* L. *oleifera*) [S]. Beijing: The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2012: 5-14.
- [14] 伍晓明,陈碧云,陆光远,等.油菜种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2007:10-15.
- WU X M, CHEN B Y, LU G Y, *et al.* Descriptors and Data Standard for Rapeseed (*Brassica* spp.) [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2007: 10-15.
- [15] WU X, TANG D, LI M, *et al.* Loose plant architecture, an indeterminate domain protein involved in shoot gravitropism, regulates plant architecture in rice [J]. *Plant Physiology*, 2013, 161(1): 317-329.
- [16] 符明联,张云云,原小燕,等.油菜 DH 株系主要性状与收获指数的相关及通径分析[J].西南农业学报,2017,30(10):2179-2184.
- FU M L, ZHANG Y Y, YUAN X Y, *et al.* Correlation and path analysis on main agronomic traits and harvest index of DH Lines in *Brassica napus* [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 30(10): 2179-2184.
- [17] 周 泉,王龙昌,马淑敏,等.西南旱地油菜间作紫云英和秸秆覆盖的生产效应[J].作物学报,2018,44(3):431-441.
- ZHOU Q, WANG L CH, MA SH M, *et al.* Influences of rape intercropping with Chinese milk vetch and straw mulching on productive benefits in dryland of southwest China [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2018, 44(3): 431-441.
- [18] 张培竹,彭少丹,马忠琴,等.云南小油菜主要农艺性状的相关及通径分析[J].甘肃农业科技,2009(8):12-15.
- ZHANG P ZH, PENG SH D, MA ZH Q, *et al.* Correlation and path analysis of major agronomic traits of small rapeseed in Yunnan [J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2009(8): 12-15.
- [19] 叶波涛,余坤江,万 薇,等.甘蓝型油菜种质群体农艺性状变异及相关性分析[J].种子,2019,38(5):64-67.
- YE B T, YU K J, WAN W, *et al.* Variation and correlation analysis of agronomic traits in *Brassica napus* germplasm population [J]. *Seed*, 2019, 38(5): 64-67.
- [20] 赵卫国,王 灏,穆建新,等.甘蓝型油菜 DH 群体主要品质性状相关性主成分分析[J].中国农学通报,2019,35(14):18-24.
- ZHAO W G, WANG H, MU J X, *et al.* The main quality traits of *Brassica napus* L. DH population: correlation analysis and principal component analysis [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35(14): 18-24.
- [21] DARDICK C, CALLAHAN A, HORN R, *et al.* *Pp-eTAC1* promotes the horizontal growth of branches in peach trees and is a member of a functionally conserved gene family found in diverse plants species [J]. *The Plant Journal*, 2013, 75(4): 618-630.
- [22] 文雁成,张书芬,王建平,等.两个甘蓝型油菜裂刻叶缘突变体遗传规律及其农艺性状分析[J].中国油料作物学报,2017,39(1):13-17.
- WEN Y CH, ZHANG SH F, WANG J P, *et al.* Genetics and agronomic traits of 2 mutants with lobbed-leaf margins in *Brassica napus* L. [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2017, 39(1): 13-17.

Comprehensive Analysis of Major Plant-type and Yield Traits in *Brassica napus* L.

GUO Na, ZUO Kaifeng, ZHANG Miao, ZHANG Bingbing, QIN Mengfan,
MA Ning, LIU Xiang, LI Qingqing, HUANG Zhen and XU Aixia

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

Abstract The key bottleneck in rapeseed industry is to urgently optimize plant type and increase yield. In this study, a total of 130 elite *B. napus* accessions were studied, ten plant-type traits and five yield traits were investigated in the field. The phenotypic correlation analysis, path analysis, and principal component analysis were used to reveal the relationship between the plant type, yield and yield related traits for identifying the main determinant of yield per plant in *B. napus*. The results showed that abundant variations of plant type and yield traits were in 130 tested accessions, the order of the variation coefficient of the fifteen traits was: number of secondary branches > yield per plant > silique number per plant > first valid branch height > top branch angle > effective number of main inflorescences > number of seeds per silique = basal branch angle > the numbers of valid branch > middle branch angle = main inflorescence length > thousand-seed mass > silique length > silique width > plant height. Correlation analysis showed that significant correlations among the most of the 15 traits, silique number per plant and the yield per plant of yield traits were the highest (0.834). Among plant type traits, plant height (0.326), the numbers of valid branch (0.333), number of secondary branches (0.382), and silique width (0.208) were closely related to the yield per plant. Path analysis showed that silique number per plant (0.786) of yield traits, plant height (0.021) and the top branch angle (0.021) of plant type traits had the most direct positive effect on the yield per plant in rapeseed. Plant height, number of primary branches, number of secondary branches, top branch angle and basal branch angle had significantly indirect effect on yield per plant through the number of pods per plant. A total of six principal components were obtained by principal component analysis, including branch angle, silique number per plant, plant height, main inflorescence, silique width, and silique length factor. The tested accessions were divided into four groups according to the comprehensive evaluation of principal components, of which twelve accessions had good comprehensive properties, this had a certain reference for breeders to improve plant type in *B. napus*.

Key words *Brassica napus* L.; Plant type trait; Yield trait; Correlation analysis; Path analysis; Principal component analysis

Received 2019-11-22

Returned 2020-03-17

Foundation item Development of New High-yield and High-quality Rape Varieties Suitable for Mechanized Planting in the Lower Reaches of the Yangtze River, Huanghe River and Huaihe River (No. 2018YFD0100600); National Key R&D Plan of the 13th Five-Year Plan “(No. 2016YFD0101300); Shaanxi Provincial Science and Technology Co-ordination Innovation Project (No. 2016KTCQ02-03).

First author GUO Na, female, master student. Research area: rapeseed genetic improvement and germplasm innovation. E-mail: 1872620601@qq.com

Corresponding author XU Aixia, female, Ph. D, research fellow. Research area: rapeseed genetic breeding and molecular biology. E-mail: xuaixia@nwsuaf.edu.cn