

DOI: 10.3969/j.issn.0488-5368.2025.03.001

· 遗传 · 育种 ·

油菜“棒状”主花序种质群体株型和产量性状的综合分析

梁佩莹, 尚丽平, 张莉莉, 曹小东, 张 峯, 李保军, 罗 斌, 赵亚军, 王 灏

(陕西省杂交油菜研究中心, 陕西 杨凌 712100)

摘要:为了研究“棒状”主花序种质群体性状之间的关系,对209份材料的9个株型和产量相关性状进行相关性、通径和主成分分析。结果表明:“棒状”主花序率、分枝高度、茎秆抗折力的变异系数较大,茎秆直径和株高的变异系数较小。“棒状”主花序率与茎秆抗折力和主花序长度呈负相关。通径分析结果表明,单株生物学产量、一次分枝高度、主花序长度对单株经济学产量直接产生正向影响。主成分分析将农艺性状综合为单株经济学产量、一次分枝数、“棒状”主花序率、茎秆抗折力和茎秆直径,累计贡献率达81.26%,基本涵盖了“棒状”主花序油菜性状的总体情况。

关键词:“棒状”主花序;株型性状;相关性分析;通径分析;主成分分析

中图分类号:S512 文献标识码:A 文章编号:0488-5368(2025)03-0001-06

Comprehensive Analysis of Plant Architecture and Yield-Related Traits in a Rod-shaped Main Inflorescence Germplasm Population of *Brassica napus*

LIANG Peixuan, SHANG Liping, ZHANG Lili, CAO Xiaodong, ZHANG Yin,

LI Baojun, LUO Bin, ZHAO Yajun, WANG Hao

(Hybrid Rapeseed Research Center of Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To investigate the relationships among traits in a *Brassica napus* germplasm population characterized by a rod-shaped main inflorescence, correlation analysis, path analysis, and principal component analysis were performed on nine plant architecture and yield-related traits across 209 accessions. The results indicated considerable variation in the rod-shaped main inflorescence rate, branch height, and stem bending resistance, while stem diameter and plant height exhibited relatively low variation. A negative correlation was observed between the rod-shaped main inflorescence rate and both stem bending resistance and main inflorescence length. Path analysis indicated that biological yield per plant, main branch height, and main inflorescence length directly had positive effect to economic yield per plant. Principal component analysis integrated the agronomic traits into five key components: economic yield per plant, number of main branches, rod-shaped main inflorescence rate, stem bending resistance, and stem diameter, accounting for a cumulative variance contribution of 81.26%, thereby capturing the major trait characteristics of the rod-shaped main inflorescence germplasm. This study provides valuable reference for plant architecture breeding programs targeting rapeseed with a rod-shaped main inflorescence.

Key words: Rod-shaped main inflorescence; Plant architecture traits; Correlation analysis; Path analysis; Principal component analysis

油菜是一种经济效益很高的油料作物,对保障我国油料供给安全具有十分重要的战略意义。随

收稿日期:2024-01-31 修回日期:2024-03-23

基金项目:农业专项资金项目(重要作物种质资源研究开发与利用);陕西省科协青年人才托举计划项目(NYKJ202211);西藏阿里地区科技计划(QYXTZX-AL2023-03);陕西省“两链”融合作物育种重点专项(2021LLRH-07-03-01)。

第一作者简介:梁佩莹(1998-),女,硕士,研究实习员,从事油菜分子育种研究。

通信作者:王灏。

着育种技术的发展,我国油菜产量大幅度提升,建国初的 487.5 kg/hm^2 提升了将近 6 倍,但我国油菜自给率仅为消费量的三分之一,非常依赖进口,亟需扩大产能^[1]。目前我国油菜生产机械化水平低,人工效率低且成本高^[2],不利于油菜产业发展,因此培育耐密植抗倒的理想株型油菜是油菜高产育种的一个重要方向。

自 1968 年 Donald 提出“理想株型”育种理论以来,理想株型已在小麦、水稻、玉米、油菜等作物中实现^[3,4]。前人研究表明,油菜种植密度与株型结构密切相关^[5,6]。传统油菜株型松散,种植密度低,油菜花序属于无限花序,开花期长,角果成熟期不一致,不利于机械化收获^[7]。通过种质资源发掘与归类,油菜理想株型被分为华盖式株型、无花瓣株型、低重心株型、紧凑型株型等^[8]。紧凑型油菜在形态上能够提高光能利用率,并且基部空间大,使空气更加流通,抑制病菌生长繁殖,在产量上紧凑型油菜单株产量的杂种优势最强^[9]。目前已选育出很多紧凑型油菜品种,王学芳等^[10]发现随着种植密度的增加,3 种紧凑型油菜品种的产量增加,而以“秦优 7 号”为例的松散型油菜的产量下降,说明紧凑型油菜适合密植和机械化收获。董育红等^[11]从 DH 群体中选育出一个株型紧凑、矮秆的油菜种质“DH09-3048”,在密植条件下可达到 60 万株/hm^2 ,群体产量较高。“棒状”主花序油菜属于紧凑型株型,沈金雄等^[12]发现“棒状”主花序油菜种植密度可达 $45 \sim 75 \text{ 万株/hm}^2$,基本无二次分枝,角果不易炸裂,株型性状受隐性多基因控制。马世杰^[13]对“棒状”花序油菜和沪油 17 做了正反交组合,研究结果表明棒状花序遗传表现为主基因效应,并且环境对油菜主花序性状影响较大。

本研究选用了 209 份“棒状”主花序油菜种质材料,“棒状”主花序率(RMI)介于 $0.00\% \sim 100.00\%$ 之间,并对株型性状和产量性状进行考察,包括茎秆直径(SD)、茎秆抗折力(SBR)、株高(PH)、一次分枝高度(PBH)、主花序长度(MIL)、一次有效分枝数(NPB)、单株经济学产量(EY)和单株生物学产量(BY)。对考察获得的农艺性状进行表型变异、相关性分析和主成分分析,探讨“棒状”主花序油菜株型性状和产量性状之间的关系,为“棒状”主花序相关的株型育种提供理论基础。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试材料为陕西省杂交油菜研究中心生物技

术科室提供的 209 份“棒状”主花序油菜材料。

1.2 试验地概况

2020 年 9 月至 2021 年 6 月将 209 份“棒状”主花序油菜材料种植在陕西省杂交油菜研究中心(杨凌)试验田($108.07^\circ\text{N}, 34.28^\circ\text{E}$)。

1.3 试验设计与考种

试验将 209 份“棒状”主花序油菜材料种植 3 个重复,采用完全随机区组排列,每个重复种植 2 行,行长 2m,行距 0.4m。2021 年 6 月待油菜即将成熟时对油菜株型和产量性状进行考察,统计每个材料“棒状”主花序单株数和总株数,并计算“棒状”主花序率,即“棒状”主花序率 $\% = (\text{“棒状”主花序单株数} / \text{总株数}) \times 100$ 。每个材料随机选取 5 株测量其株高(PH)、一次分枝高度(PBH)、一次有效分枝数(NPB)、主花序长度(MIL),参照赵卫国等^[14]的方法。将基部以上 20 cm 的茎秆剪下,测量剪口处的茎秆直径(SD),并使用 SH-100 数显式推拉力计测量茎秆抗折力(SBR),参照李辉等^[15]的方法。收获 5 个单株整株晾干统计单株生物学产量(BY),然后脱粒统计单株经济学产量(EY)。

1.4 数据分析方法

利用 Excel 2010 计算 9 个性状的平均值、极差、标准差、变异系数、偏度、峰度,利用 IBM SPSS Statistics 26 软件对 209 份“棒状”主花序油菜材料的 9 个性状进行相关性分析、通径分析和主成分分析。其中主成分分析中主成分 1~9 表示贡献率由高到低依次排列的 9 个性状,因子 1~9 表示各主成分下不同性状的特征向量值。

2 结果与分析

2.1 群体表型变异分析

对考察获得的群体的 9 个农艺性状进行变异分析,发现有 3 个性状的变异系数大于 40%,其中 RMI 变异系数最大,为 45.98%,变异范围为 $0.00\% \sim 100\%$,其次是 PBH,变异系数为 44.44%,变异范围为 $0.00 \sim 76.67 \text{ cm}$; SBR 变异系数为 43.48%,变异范围为 $14.46 \sim 124.52 \text{ N}$; EY、BY、NPB 和 MIL 的变异系数依次为 34.58%、28.82%、23.03%、21.59%; SD 和 PH 的变异系数最小,分别为 16.45% 和 12.87%,变异范围分别为 $10.43 \sim 23.44 \text{ mm}$ 和 $100.33 \sim 199.40 \text{ cm}$ (表 1)。RMI、PBH、SBR 等变异系数大的性状,更容易产生变异,具有更多的育种潜力和遗传多样性,而茎秆直径、株高等变异系数较小的性状,其受环境等外界影响

更小,遗传更加稳定,有利于将优良性状遗传给后代。

表1 “棒状”主花序种质群体株型和产量性状变异分析

性状	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数	偏度	峰度
RMI / %	100.00	0.00	100.00	75.57	0.35	45.98	-1.13	-0.29
SD / mm	23.44	10.43	13.01	16.08	2.64	16.45	0.37	-0.09
SBR / N	124.52	14.46	110.06	48.24	20.97	43.48	1.07	1.40
PH / cm	199.40	100.33	99.07	149.56	19.24	12.87	0.10	-0.21
PBH / cm	76.67	0.00	76.67	33.54	14.91	44.44	0.11	-0.24
MIL / cm	126.20	36.20	90.00	63.20	13.65	21.59	0.65	1.47
NPB	14.20	3.00	11.20	7.64	1.76	23.03	0.24	0.41
EY / g	44.88	5.60	39.28	21.68	7.50	34.58	0.54	0.25
BY / g	219.00	42.00	177.00	86.41	24.90	28.82	1.26	3.56

注:RMI:棒状主花序率;SD:茎秆直径;SBR:茎秆抗折力;PH:株高;PBH:一次分枝高度;MIL:主花序长度;NPB:一次有效分枝数;EY:单株经济学产量;BY:单株生物学产量。下同。

2.2 相关性分析

对9个“棒状”主花序株型及产量相关性状进行皮尔逊相关系数分析,发现有11对性状之间呈极显著正相关,2对性状之间呈极显著负相关,1对性状之间呈显著负相关。从供试材料RMI与其他农艺性状的相关性可以看出,RMI与SBR呈极显著负相关,相关系数为-0.225,与MIL呈显著负相关,相关系数为-0.169,由于“棒状”主花序在表型上类似于下部一次分枝和主茎黏连在一起,与常规品种相比茎秆空心比例高,因此抗折力减小,并且“棒状”主花序导致主茎分枝不能正常发育伸长,

所以主花序长度相较正常株型偏短。SD与SBR呈极显著正相关,相关系数为0.212。SBR与NPB呈极显著正相关,相关系数为0.220。PH与PBH、MIL、EY和BY均呈极显著正相关,相关系数分别为0.397、0.605、0.207和0.215。MIL与NPB呈极显著负相关,相关系数为-0.265,与EY和BY呈极显著正相关,相关系数分别为0.201和0.193。NPB与EY和BY呈极显著正相关,相关系数分别为0.206和0.211。EY和BY呈极显著正相关,相关系数为0.761(表2)。

表2 “棒状”主花序种质群体株型和产量性状的相关性分析

	RMI	SD	SBR	PH	PBH	MIL	NPB	EY	BY
RMI	1								
SD	0.13	1							
SBR	-0.225**	0.212**	1						
PH	-0.05	0.01	0.07	1					
PBH	0.08	-0.07	0.03	0.397**	1				
MIL	-0.169*	0.05	-0.05	0.605**	-0.03	1			
NPB	0.05	0.06	0.220**	-0.11	-0.05	-0.265**	1		
EY	-0.12	0.04	0.13	0.207**	0.06	0.201**	0.206**	1	
BY	-0.03	0.05	0.12	0.215**	-0.06	0.193**	0.211**	0.761**	1

注:*、**分别表示差异达到5%和1%显著水平。

2.3 “棒状”主花序株型的单株经济学产量与各性状间的通径分析

通过对“棒状”主花序油菜的EY和可能影响EY的其他性状进行通径分析,发现8个影响EY的性状中,有5个性状对EY产生正向影响,从大到小依次为BY、PBH、MIL、SBR和NPB;有3个性状对EY产生负向影响,负向效应绝对值从大到小依次为PH、RMI和SD。BY对EY的直接正效应

最大,为0.8520,即油菜植株营养体越大,其单株产量越高(表3)。

分析各性状对EY的间接效应发现,“棒状”主花序率通过SD(0.0006)、PBH(0.0104)、NPB(0.0010)对EY的间接正效应较小,通过SBR(-0.0059)、PH(-0.0060)、MIL(-0.0120)和BY(-0.0185)的间接负效应较小。SD通过BY(0.0552)的间接正效应相对较大,通过RMI

(0.012 7)、SBR(0.005 5)、PH(0.001 3)、MIL(0.003 8)和NPB(0.001 2)的间接正效应较小,通过PBH(-0.008 4)的间接负效应较小。SBR通过BY(0.087 8)对EY的间接正效应相对较大,通过SD(0.001 1)、PH(0.009 1)、PBH(0.004 0)、NPB(0.004 6)的间接正效应较小,通过RMI(-0.022 1)和MIL(-0.003 9)的间接负效应较小。PH通过BY(0.235 6)对EY的间接正效应较大,通过PBH(0.048 8)、MIL(0.042 9)、SD(0.000 1)和SBR(0.001 9)的间接正效应较小,通过RMI(-0.004 7)和NPB(-0.002 2)的间接负效应较小。PBH通过PH(0.049 6)、RMI(0.008 3)和SBR(0.000 9)的间接正效应较小,通过SD(-0.000 3)、MIL(-0.002 1)、NPB(-0.001 0)和BY(-0.007 4)的间接负效应较小。MIL通过SD

(0.000 3)、PH(0.075 6)和BY(0.199 0)的对EY的间接正效应较小,通过RMI(-0.016 6)、SBR(-0.001 4)、PBH(-0.003 6)和NPB(-0.005 6)的间接负效应较小。NPB通过RMI(0.004 7)、SD(0.000 3)、SBR(0.005 7)和BY(0.195 1)的间接正效应较小,通过PH(-0.013 3)、PBH(-0.005 6)和MIL(-0.018 8)的间接负效应较小。BY通过SD(0.000 3)、SBR(0.002 7)、PH(0.034 6)、MIL(0.016 6)和NPB(0.004 8)的间接正效应较小,通过RMI(-0.002 1)和PBH(-0.001 1)的间接负效应较小。间接效应中株高通过单株生物学产量对单株经济学产量的正向效应最大,说明株高增加引起单株生物学产量增加,从而使单株经济学产量增加。

表3 “棒状”主花序种质群体株型和产量性状的通径分析

变量	直接通径系数	间接通径系数							
		RMI	SD	SBR	PH	PBH	MIL	NPB	BY
RMI	-0.098 0		0.012 7	-0.022 1	-0.004 7	0.008 3	-0.016 6	0.004 7	-0.002 1
SD	-0.005 0	0.000 6		0.001 1	0.000 1	-0.000 3	0.000 3	0.000 3	0.000 3
SBR	0.026 0	-0.005 9	0.005 5		0.001 9	0.000 9	-0.001 4	0.005 7	0.002 7
PH	-0.125 0	-0.006 0	0.001 3	0.009 1		0.049 6	0.075 6	-0.013 3	0.034 6
PBH	0.123 0	0.010 4	-0.008 4	0.004 0	0.048 8		-0.003 6	-0.005 6	-0.001 1
MIL	0.071 0	-0.012 0	0.003 8	-0.003 9	0.042 9	-0.002 1		-0.018 8	0.016 6
NPB	0.021 0	0.001 0	0.001 2	0.004 6	-0.002 2	-0.001 0	-0.005 6		0.004 8
BY	0.852 0	-0.018 5	0.055 2	0.087 8	0.235 6	-0.007 4	0.199 0	0.195 1	

2.4 “棒状”主花序种质群体农艺性状主成分分析

主成分分析结果表明,9个农艺性状中前5个性状的特征值累计贡献率达81.26%(表4),这5个主成分可以概括9个数量性状的绝大部分信息。

第1主成分特征值为2.19,贡献率为24.32%(表4)。在第1主成分中EY的特征向量值最大(表5),表明EY对第1主成分的影响最大,其次影响较大的是BY、PH、MIL、SBR、PBH等,因此将第1主成分因子称为单株经济学产量因子。增加第1主成分值,可使油菜单株生物学产量增加、株高增加、主花序长度增加、茎秆抗折力增加、分枝高度增加,可以从这几个性状入手来增加油菜经济学产量。

第2主成分特征值为1.68,贡献率为18.64%(表4)。在第2主成分中NPB的特征向量值最大,因此NPB对第2主成分的影响最大,其次影响最大的是SBR、BY、EY和SD(表5),因此将第2主

成分因子称为一次分枝数因子。由第2主成分的分量值可以看出,PH、PBH和MIL为负值,说明增加一次分枝数,会使棒状花序率、茎秆直径、茎秆压力值、单株经济学产量和单株生物学产量增加,但会使株高、分枝高度和主花序长度降低。

表4 9个性状相关矩阵的特征值、贡献率及累计贡献率

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	2.188 4	24.315 4	24.315 4
2	1.677 9	18.643 4	42.958 8
3	1.197	13.299 9	56.258 7
4	1.165 7	12.952 2	69.210 8
5	1.084 3	12.047 8	81.258 6
6	0.678 4	7.537 8	88.796 4
7	0.543 4	6.038 0	94.834 4
8	0.264 7	2.940 8	97.775 3
9	0.200 2	2.224 7	100

第3主成分特征值为1.20,贡献率为13.30%(表4)。在第3主成分中RMI的特征向量值最大(表5),因此第3主成分因子称为“棒状”主花序率因子。除RMI以外,对应的特征向量值从大到小依次为PBH、BPEB、PH和SD,SBR、MIL、EY和BY为负值。表明降低棒状花序率,能够使茎秆压力值、主花序长度、单株经济学产量和单株生物学产量增加,有利于增产,因此在育种中第3主成分因子可以适当降低。

第4主成分特征值为1.17,贡献率为12.95%

(表4)。在第4主成分中SBR特征向量最大,其次为SD、PBH和PH,而RMI、EY和BY的特征向量值为负值(表5),因此第4主成分因子称为茎秆抗折力因子。

第5主成分特征值为1.08,贡献率为12.05%(表4)。在第5主成分中SD的特征向量值最大,其次是RMI和MIL,而SBR、PH、PBH、NPB和EY的特征向量值为负值(表5),因此第5主成分因子称为茎秆直径因子。

表5 主成分各因子对应的特征向量值

	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	因子6	因子7	因子8	因子9
RMI	-0.156 4	0.017 8	0.633 4	-0.338 6	0.408 8	0.123 9	0.507 9	0.149 8	-0.038 5
SD	0.071 3	0.160 4	0.191 9	0.431 5	0.712 7	-0.207 5	-0.435 9	-0.071 7	-0.003 4
SBR	0.182 4	0.295 0	-0.008 4	0.690 9	-0.134 2	-0.054 8	0.605 8	0.116 9	0.027 0
PH	0.442 2	-0.429 9	0.221 5	0.150 3	-0.031 0	0.315 4	0.049 5	-0.527 3	-0.408 6
PBH	0.124 8	-0.270 8	0.629 4	0.152 5	-0.435 0	-0.310 7	-0.251 0	0.218 2	0.300 5
MIL	0.396 0	-0.438 2	-0.245 4	0.034 2	0.276 8	0.346 8	0.027 9	0.524 7	0.341 9
NPB	0.083 9	0.535 5	0.236 9	0.028 7	-0.185 6	0.709 2	-0.313 6	0.094 4	0.068 0
EY	0.537 2	0.262 2	-0.006 5	-0.268 0	-0.040 4	-0.292 7	-0.073 5	0.409 6	-0.557 0
BY	0.523 1	0.285 1	-0.019 0	-0.319 7	0.063 6	-0.183 7	0.122 7	-0.425 5	0.555 6

3 结论与讨论

本研究对209份“棒状”主花序油菜种质群体的9个农艺性状进行了考察,并进行了相关性分析、通径分析和主成分分析,发现“棒状”主花序率、分枝高度、茎秆抗折力的变异系数较大,茎秆直径和株高的变异系数较小。从相关性分析可以看出,“棒状”主花序率与茎秆抗折力和主花序长度呈负相关,主花序长度与一次分枝数之间呈负相关外,其他具有相关性的性状之间均为正相关。通径分析结果单株生物学产量、分枝高度、主花序长度对单株经济学产量直接产生正向影响,增加这几个性状表型值有利于提高单株经济学产量,茎秆直径通过单株生物学产量、主花序长度通过株高、株高通过单株生物学产量对单株经济学产量产生正向间接影响,而茎秆抗折力通过“棒状”主花序率对单株经济学产量产生负向影响。通过主成分分析将农艺性状综合为单株经济学产量、一次分枝数、“棒状”主花序率、茎秆抗折力和茎秆直径,累计贡献率达81.26%,基本涵盖了“棒状”主花序油菜性

状的总体情况,因此要综合考虑相关性、通径和主成分分析结果才能更好地对棒状花序率油菜性状进行改良。

“棒状”主花序株型的油菜作为紧凑型株型的一种,能为基于理想株型与杂种优势利用相结合的超高产育种提供良好基础^[8]。本研究所用“棒状”主花序油菜种质群体的棒状花序率、分枝高度、茎秆抗折力等性状变异系数大,与尚丽平等^[16]的研究结果相似,表明这三个性状变异潜力较大。

相关性分析表明棒状花序率与茎秆抗折力和主花序长度呈极显著负相关,说明“棒状”主花序并不利于植株抗倒伏,在田间考察中发现“棒状”主花序油菜的茎秆空心的概率比常规油菜品种大,这可能是导致与茎秆抗折力负相关的原因。此外“棒状”主花序株型油菜的分枝不明显,整个花序比较密集,伸长程度不高,因此导致与主花序长度呈负相关。而株高与分枝高度、主花序长度、单株经济学产量和单株生物学产量呈极显著正相关,单株经济学产量还与主花序长度、一次分枝数呈极显著正相关,这与倪正斌等^[17]的结果相似。虽然“棒

状”主花序对产量的提升无明显相关性,但通过密植使群体密度提高,尽管单株产量并不高,但群体产量会提高^[18]。

通径分析结果表明,对单株经济学产量直接影响较大的是单株生物学产量和株高,间接影响较大的有茎秆直径通过单株生物学产量、主花序长度通过株高、株高通过单株生物学产量对单株经济学产量等,与郭娜等^[19]和王俊生等^[9]的研究结果相似,这表明更大的营养体,如更长的花序长度、更多的一次分枝更有利于提高单株经济学产量,但营养体不可无限增大,过大将导致植株更易倒伏,种植密度也会降低^[20~22]。

从主成分分析来看,9个性状中前5个性状累计贡献率达81.26%,分别是单株经济学产量、一次分枝数、“棒状”主花序率、茎秆抗折力和茎秆直径。尚丽平等^[16]对7个农艺性状进行主成分分析,发现前4个主成分累计贡献率达到90.9%,分别是株高、一次分枝数、主花序角果数、主花序长度,与本研究结果有出入,分析其原因可能是采用不同的试验材料和不同的种植环境导致的。

对于“棒状”主花序株型,虽然不利于单株经济学产量的提高,但是其株型更有利于增加种植密度,从整体上增加单位面积产量,同时花序上大部分有效分枝排列紧凑,集中排列在顶部,不仅具有一定的观赏价值,更有利于机械化收获,因此“棒状”主花序油菜为以株型为基础的超高产育种提供了良好的理论基础。

参 考 文 献:

[1] 李谷成,牛秋纯,冷博峰,等. 新时代十年:我国油菜产业发展与路径选择[J/OL]. 中国油料作物学报,2024:1-8.

[2] 周广生,左青松,廖庆喜,等. 我国油菜机械化生产现状、存在问题及对策[J]. 湖北农业科学,2013,52(9):2153-2157.

[3] Donald C M. The breeding of crop ideotypes[J]. Euphytica, 1968, 17(3): 385-403.

[4] 赵睿涵,钱建财,张莉,等. 作物理想株型研究进展[J]. 江苏农业科学,2024,52(4):31-40.

[5] 傅寿仲,张洁夫,陈玉卿,等. 油菜株型结构及其理想研究[J]. 中国油料,1996,18(4):23-27.

[6] 李小勇,周敏,王涛,等. 种植密度对油菜机械收获关键性状的影响[J]. 作物学报,2018,44(2):278-287.

[7] 张传胜. 油菜生产机械化配套农艺技术的研究[J].

中国农机化,2008(6):91-94.

[8] 李方一,黄璜,官春云,等. 单株籽粒丰产甘蓝型油菜理想株型构建研究[J/OL]. 中国油料作物学报,2024:1-15.

[9] 王俊生,张文学,田建华,等. 紧凑型油菜数量性状的遗传与杂种优势研究[J]. 西北农业学报,2006,15(3):31-36.

[10] 王学芳,田建华,董育红,等. 不同密度紧凑型油菜的源库特征及与收获指数的相关研究[J]. 中国农学通报,2020,36(18):33-38.

[11] 董育红,关周博,郑磊,等. 自然封顶、矮秆、紧凑型油菜种质资源的选育及应用[J]. 中国农学通报,2018,34(28):17-20.

[12] 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.

[13] 马世杰.“棒状”主花序油菜主花序有效角果数性状的遗传分析及其分子鉴定[D]. 合肥:安徽农业大学,2016.

[14] 赵卫国,王灏,田建华,等. 甘蓝型油菜DH群体若干数量性状的遗传分析[J]. 中国农学通报,2014,30(15):86-91.

[15] 李辉,魏家萍,董小云,等. 北方旱寒区甘蓝型冬油菜产量、品质及抗倒性的分析评价[J]. 干旱地区农业研究,2023,41(4):21-31.

[16] 尚丽平,赵卫国,郭凯红,等. 甘蓝型油菜主要农艺性状的主成分分析[J]. 中国农学通报,2021,37(28):9-13.

[17] 倪正斌,王陈燕,孙雪辉,等. 甘蓝型油菜主要农艺性状相关性及其主成分分析[J]. 江西农业学报,2018,30(3):7-10.

[18] Wang Z K, Wang B, Kuai J E, et al. Planting density and variety intercropping improve organ biomass distribution of rapeseed to alleviate the trade-off between yield and lodging resistance[J]. Crop Science, 2022, 61(4): 2696-2712.

[19] 郭娜,左凯峰,张森,等. 甘蓝型油菜主要株型和产量性状的综合分析[J]. 西北农业学报,2020,29(6):898-906.

[20] 马霓,李玲,徐军,等. 甘蓝型油菜抗倒伏性及农艺性状研究[J]. 作物杂志,2010(6):36-41.

[21] 朱珊,李银水,余常兵,等. 密度和氮肥用量对油菜产量及氮肥利用率的影响[J]. 中国油料作物学报,2013,35(2):179-184.

[22] 李勤,刘小焱,盛紫微,等. 我国油菜适合机械化收获关键农艺性状研究进展[J]. 中国油料作物学报,2023,45(5):1053-1061.