

大豆主要农艺性状的遗传解析

刘 东^{1,2}, 齐婉冬^{1,2}, 冯 燕³, 赵青松³, 张孟臣³, 杨春燕³, 杨永庆², 廖 红²

(1. 华南农业大学 根系生物学研究中心, 广东 广州 510000; 2. 福建农林大学 根系生物学研究中心/作物科学学院, 福建 福州 350002; 3. 河北省农林科学院 粮油作物研究所/河北省作物遗传育种实验室/国家大豆改良中心石家庄分中心/农业部黄淮海大豆生物学与遗传育种重点实验室, 河北 石家庄 050035)

摘 要:利用亲本冀豆 12(高蛋白)和冀 nf58(高油)及其 175 份 F_{9:11} 重组自交系(RIL)材料,对大豆 12 个主要农艺性状进行了相关性和遗传分析,以期初步解析影响产量的主要因素。结果显示:亲本在株高、主茎节数、分枝数、百粒重、油分含量、蛋白含量和单株粒重 7 个性状上具有显著差异。在 RIL 群体中,12 个农艺性状均表现为典型的数量性状特征,且具有相对较高的遗传率。其中,株高的遗传率最高(0.98),茎干重最低(0.63)。除 3 个性状(油分、蛋白含量和百粒重)外,其它 9 个性状之间呈现极显著的正相关,相关系数为 0.30~0.90;蛋白含量与 6 个性状显著负相关,但与百粒重显著正相关。各性状与单株粒重相关性依次为:单株粒数>单株荚数>叶干重>株高>分枝数>叶片数>茎干重、主茎节数>百粒重>蛋白含量>油分含量。选取 19 个单产最高的家系材料进一步分析表明,所测试的 9 个农艺性状主要遗传于母本冀豆 12,而株高和主茎节数受到父本冀 nf58 的改良,说明通过聚合不同品种优异性状仍有提高品种产量的潜力。本研究结果可为培育高产优质大豆品种提供理论基础。

关键词:遗传率;RIL 群体;相关性;高产家系;数量性状
中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2018.02.0165

Characterization of the Genetic Basis of Main Agronomic Traits in Soybean

LIU Dong^{1,2}, QI Wan-dong^{1,2}, FENG Yan³, ZHAO Qing-song³, ZHANG Meng-chen³, YANG Chun-yan³, YANG Yong-qing², LIAO Hong²

(1. Root Biology Center, South China Agricultural University, Guangzhou 510000, China; 2. Root Biology Center and College of Crop Science, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 3. Institute of Cereal and Oil crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences/Key Laboratory of Crop Genetics and Breeding of Hebei Province/Shijiazhuang Branch of National Soybean Improvement Center/North China Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Soybean, Ministry of Agriculture, Shijiazhuang 050035, China)

Abstract: In order to determine the main factors affecting soybean yield, two soybean genotypes, Jidou 12 (high protein content) and Ji nf58 (high oil content), and their 175 F_{9:11} recombinant inbred lines (RILs) were evaluated for the inheritance and correlation among 12 main agronomic traits. The results indicated that the parents significantly differed in plant height, node number, branch number, grain yield, oil content, protein content and seed weight per plant. Among RILs, 12 agronomic traits showed typical properties as quantitative traits with high heritability, and the h^2_p of plant height was the highest as 0.98, while the h^2_p of stem dry weight was the lowest as 0.63. Except for three traits (protein, oil content and 100-seed weight), the other nine traits significantly positively correlated to each other with the correlation efficiency ranged from 0.30~0.90. Protein content significantly negatively correlated to 6 traits, but significantly positively correlated to 100-seed weight. The traits successively correlated to grain yield were: seed number>pod number>leaf dry weight>plant height>branch number>leaf number>stem dry weight and node number>100-seed weight>protein content>oil content. Further analysis using 19 lines with the highest yield found that nine tested agronomic traits inherited from Jidou 12, but plant height and node number were improved by Ji nf58, suggesting that there were potentials to increase yield by integrating excellent characteristics from different varieties. The results could provide a theoretical basis for breeding high yield and high quality soybean cultivars.

Keywords: Heritability; RIL population; Correlation; High-yielding family; Quantitative traits

大豆[*Glycine max* (L.) Merr],俗称黄豆,原产于中国,在世界各地均有分布^[1],是种植最广泛的油料作物^[2]。大豆种子含有丰富的植物蛋白质和油脂^[3,4],是一种重要的粮油饲兼用作物^[5,6],在人类食物链中起着十分重要的作用。但是,目前我国的大豆生产力水平较低,现状严峻^[7]。据统计,2016-2017 年度我国超过 80% 的大豆依赖于进口,可见我国大豆在生产上面临着巨大的挑战^[8-13]。我国大豆种植历史悠久,地区广泛^[14-15],主要分为三大主产区,其中黄淮海夏大豆生长区作为我国大豆

收稿日期:2017-10-19
基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0100201);国家产业技术体系(CARS-004-PS06);河北省重点研发计划(16227516D)。
第一作者简介:刘东(1990-),男,硕士,主要从事大豆遗传定位研究。E-mail:929564390@qq.com。
通讯作者:杨春燕(1966-),女,学士,研究员,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:chyayang66@163.com;
杨永庆(1985-),男,博士,副教授,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:yyq287346@163.com。

主产区,种植面积约占全国种植面积的30%,同时大豆产量占我国大豆总产量的30%^[16-20]。黄淮海流域地势平坦、气候和温度比较适宜,利于高产大豆的培育^[21-22]。因此,了解黄淮海地区主流品种的遗传特性,培育适合黄淮海地区的优良大豆品种对提高黄淮海地区大豆产量^[23],缓解我国对进口大豆的依赖性具有重要的意义^[24-25]。

目前,我国大豆育种方式仍以传统的杂交育种为主^[26]。因此,了解各个性状对产量的贡献率,对杂交后代单株的选育具有重要的指导作用。研究表明大豆的产量性状是一个综合性状,受多种相关性状的影响,例如株高、分枝数、百粒重等,这些重要的农艺性状多数是由多基因控制的数量性状^[27-28]。国内学者利用不同遗传材料,对影响大豆产量的主要农艺性状的遗传特性及与产量的相关性开展了广泛的研究。仲义等^[29]发现大豆株高、蛋白含量和油分含量的遗传力较高,受环境影响相对较小,适合在低世代进行性状改良;而荚数、百粒重以及节数等,遗传力较低,受环境影响比较大,比较适合在高世代的大豆材料中进行筛选。秦君等^[30]在评价黄淮海地区大豆产量及其稳定性时,发现单株粒重与产量关系最为密切,其次是单株粒数和单株荚数。黄中文等^[31]研究发现株高在90 cm以下,与产量正相关,在100 cm以上与产量负相关。总而言之,产量是一个综合性指标,由各个产量性状(粒数、荚数、粒重和百粒重等)、品质性状(蛋白含量和油分含量^[32]等)以及相关性状(株高、主茎节数、分枝数等)共同决定的,解析这些性状间的相互关系,对高产优质大豆育种具有重要意义。

冀豆12和冀nf58是河北省农林科学院粮油作物研究所利用传统杂交方式培育成的品种。冀豆12具有高产、高蛋白、抗病性好等优良特性;冀nf58具有高产、高油等优良特性,二者均是目前黄淮海地区育种中的主要骨干亲本。因此,研究其衍生后代的遗传特性,对新品种选育具有重要的指导作用。本研究以冀豆12和冀nf58衍生的175个重组自交系为材料,通过解析12个主要农艺性状的遗传规律及其相关性,探究高产优质大豆家系农艺性状的遗传特性,为黄淮海地区的高产优质大豆新品种培育奠定一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为冀豆12和冀nf58,及其衍生的175

个F_{9:11}重组自交系家系。冀豆12和冀nf58是黄淮海地区的优异育成品种^[33]。冀豆12是以油83-14为母本、晋大7826为父本,经有性杂交培育成的高产高蛋白品种,蛋白含量达到46.48%,产量达到3 000 kg·hm⁻²以上;冀nf58是以Hobbit和早5241杂交选育的高油大豆品种,油分含量达到23.91%,产量达到2 700 kg·hm⁻²以上^[34-35]。

1.2 试验设计

田间试验于2016年在河北省农林科学院粮油作物所石家庄藁城堤上试验站开展。试验田土壤基本理化性质是:pH8.53;碱解氮含量81.2 mg·kg⁻¹;速效钾含量159.4 mg·kg⁻¹;速效磷含量14.5 mg·kg⁻¹;有机质含量2.06%。177份材料(含亲本)按随机区组设计播种,每个小区3行,行长1.5 m,行距0.5 m,3个重复,共计531个小区,常规田间水肥管理。

1.3 测定项目与方法

在鼓粒完成和成熟期分别进行2次取样考种,取样时选取每个小区均匀一致的3个单株收获。鼓粒完成期取样后对单株的株高、分枝数、主茎节数、叶干重、叶片数和茎干重进行数据统计;成熟期取样后对单株的荚数、粒数、粒重、百粒重、蛋白质含量和油分含量进行统计。田间农艺性状统计标准和规则参照《大豆种质资源描述规范和数据标准》^[36],蛋白质和油分含量测定利用近红外光谱法进行测定^[37-38]。

1.4 数据分析

利用SPSS 20.0和Excel 2010内置统计公式对各个性状的平均值、最大值、最小值、偏度、峰度等指标进行统计分析。利用QTL ICIMapping软件对农艺性状的遗传力和性状间的遗传相关性进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 亲本主要农艺性状差异分析

通过对亲本冀豆12和冀nf58的12个主要农艺性状的差异分析,发现双亲在百粒重、油分含量、蛋白含量、株高和主茎节数共5个性状具有极显著差异($P < 0.01$);在粒重上具有显著差异($P < 0.05$);而粒数、荚数、叶片数、分枝数、叶干重和茎干重6个性状间差异不显著(表1)。表明冀豆12和冀nf58在产量、品质和株型等方面上具有明显差异,因此以其为亲本构建的RIL群体可以用于后续的遗传分析。

表 1 亲本间主要农艺性状差异分析

Table 1 Analysis of the main agronomic traits between parents

性状 Trait	冀豆 12 Jidou 12				冀 n58 Ji n58				P-Value
	最大值 Max.	最小值 Min.	平均值 Mean	标准误差 SE	最大值 Max.	最小值 Min.	平均值 Mean	标准误差 SE	
粒数 Seed number	239	113	187	13. 07	256	106	170. 63	18. 54	ns
粒重 Grain yield	52. 11	22. 24	39. 81	3. 02	36. 09	11. 39	26. 19	3. 17	*
蛋白含量 Protein content	47. 76	42. 13	44. 32	0. 73	43. 27	37. 53	40. 11	0. 64	**
油分含量 Oil content	20. 18	17. 31	18. 92	0. 32	23. 4	18. 49	21. 68	0. 47	**
叶片数 Leaf number	90	26	48. 33	8. 69	144	12	54. 33	14. 7	ns
主茎节数 Node number	20	12	16. 67	0. 78	23	17	20. 11	0. 7	**
分枝数 Branch number	5	3	3. 89	0. 26	5	1	3. 33	0. 5	ns
株高 Plant height	73	47	61. 44	3. 18	115	83	97. 89	3. 45	**
叶干重 Leaf dry weight	28. 8	8. 25	14. 69	1. 9	13. 26	7. 9	10. 74	0. 8	ns
茎干重 Stem dry weight	87. 3	23. 9	44. 48	6. 32	49. 8	23. 8	34. 51	2. 96	ns
荚数 Pod number	114	54	89. 38	6. 37	104	47	71. 88	7. 96	ns
百粒重 100-seed weight	24. 16	19. 35	21. 23	0. 54	18. 14	10. 26	15. 17	0. 79	**

* 和 ** 分别表示冀豆 12 和冀 n58 在 5% 和 1% 水平上的差异显著性,“ns”表示差异不显著。

* and ** indicate the significant differences between Jidou 12 and Ji n58 at 5% and 1% level respectively, ‘ns’ indicates no significant difference.

2.2 RIL 群体的遗传分析

在 RIL 群体中,大豆 12 个主要农艺性状的表型变异如表 2 所示。12 个性状的表型变异系数为 4% ~ 46%,变异系数最小的为蛋白含量,变异范围为 38.46% ~ 46.55%;变异系数最大的为叶片数,变异范围为 9.33 ~ 108.11。各性状中均存在明显的超亲分离现象,RIL 群体的峰度和偏度绝对值均相对较小,呈现连续变异,表明 12 个农艺性状均表现为典型的数量性状特征。此外,各性状的遗传率均相对较高,其中茎干重遗传率最低,仅为 0.63,表明受环境影响较大;株高的遗传率最高,为 0.98,表明这些性状主要受遗传调控,受环境影响较小,可以利用该群体进行遗传标记定位研究。

2.3 RIL 群体主要农艺性状的相关性分析

对 RIL 群体 12 个主要农艺性状相关性分析结果显示(表 3),除蛋白、油分含量和百粒重外,其它 9 个性状之间呈现极显著的正相关,相关系数为 0.30 ~ 0.90;相关性最低的一对性状是荚数与主茎

节数,相关系数仅为 0.30;相关性最高的 2 对性状分别是粒重与粒数,及株高和主茎节数,相关系数均为 0.90。其中蛋白含量与 6 个性状显著负相关,但与百粒重显著正相关,相关系数为 0.37,蛋白含量与单株粒重的相关系数最低,相关系数仅为 - 0.17,与油分含量负相关系数最高,相关系数达到 - 0.80。油分含量与 5 个性状呈现显著相关,与其中 3 个性状呈正相关,分别是单株粒数(0.29)、单株粒重(0.19)和分枝数(0.16),2 个呈现显著负相关的性状分别是百粒重(- 0.29)和蛋白含量(- 0.80)。百粒重与粒重和荚数不相关,与分枝数相关系数最低,相关系数为 0.18,与粒重相关系数最高,相关系数为 0.52。此外,以往研究表明单株粒重与产量关系密切^[30],本研究结果表明影响单株粒重的主要性状依次为:粒数 > 荚数 > 叶干重 > 株高 > 分枝数 > 叶片数 > 茎干重、主茎节数 > 百粒重 > 蛋白含量 > 油分含量。2 个生物量性状(叶干重和茎干重)相比,叶干重与百粒重相关更紧密。

表 2 RIL 群体的遗传分析

Table 2 Genetic analysis of the RIL population

性状 Trait	最大值 Max.	最小值 Min.	平均值 Mean	SD	CV/%	峰度 Kurt	偏度 Skew	遗传率 h_b^2
粒数 Seed number	242.67	59.11	135.67	38.26	28	0.01	0.37	0.81
百粒重 100-seed weight	26.83	12.78	19.27	2.58	13	-0.16	0.21	0.67
荚数 Pod number	52.55	8.28	26.25	8.37	32	0.13	0.39	0.72
粒重 Grain yield	174.50	28.22	65.97	20.00	30	4.55	1.34	0.81
蛋白含量 Protein content	46.55	38.46	42.94	1.69	4	-0.49	-0.14	0.89
油分含量 Oil content	22.84	17.10	19.86	1.03	5	-0.24	-0.01	0.91
株高 Plant height	124.78	32.56	76.50	21.84	29	-0.73	-0.19	0.98
主茎节数 Node number on main stem	25.11	10.00	17.92	3.37	19	-0.26	-0.38	0.92
叶干重 Leaf dry weight	24.35	2.95	13.27	4.48	34	-0.38	-0.10	0.87
茎干重 Stem dry weight	74.89	16.98	40.47	8.96	22	0.87	0.21	0.63
叶片数 Leaf number	108.11	9.33	46.28	21.22	46	0.05	0.52	0.86
分枝数 Branch number	6.56	0.22	3.42	1.28	37	-0.16	0.09	0.84

表 3 RIL 群体主要农艺性状间相关性分析

Table 3 Correlation analysis between the major agronomic traits in RIL population

性状 Trait	粒数 Seed number	百粒重 100-seed weight	荚数 Pod number	粒重 Grain yield	蛋白含量 Protein content	油分含量 Oil content	株高 Plant height	主茎节数 Node number	叶干重 Leaf dry weight	茎干重 Stem dry weight	叶片数 Leaf number	分枝数 Branch number
粒数 Seed number	1.00***											
百粒重 100-seed weight	0.11ns	1.00***										
荚数 Pod number	0.82***	0.10ns	1.00***									
粒重 Seed yield	0.90***	0.52***	0.75***	1.00***								
蛋白含量 Protein content	-0.41***	0.37***	-0.29***	-0.17*	1.00***							
油分含量 Oil content	0.29***	-0.29***	0.19*	0.10ns	-0.80***	1.00***						
株高 Plant height	0.52***	0.45***	0.33***	0.64***	-0.08ns	0.01ns	1.00***					
主茎节数 Node number	0.48***	0.38***	0.30***	0.57***	-0.12ns	0.05ns	0.90***	1.00***				
叶干重 Leaf dry weight	0.53***	0.47***	0.39***	0.66***	-0.04ns	-0.07ns	0.80***	0.74***	1.00***			
茎干重 Stem dry weight	0.54***	0.27***	0.37***	0.57***	-0.14ns	0.09ns	0.62***	0.57***	0.75***	1.00***		
叶片数 Leaf number	0.56***	0.26***	0.45***	0.59***	-0.20**	0.06ns	0.63***	0.62***	0.71***	0.54***	1.00***	
分枝数 Branch number	0.63***	0.18*	0.53***	0.61***	-0.30***	0.16*	0.58***	0.60***	0.65***	0.49***	0.75***	1.00***

*、**和***分别表示不同性状之间在5%，1%和0.1%水平上的相关性，“ns”表示不相关。
*, ** and *** indicate the significant difference correlation among different traits at 5%, 1% and 0.1% level respectively, ‘ns’ indicates no correlation.

2.4 RIL 群体中高产家系性状分析

通过对 2 个亲本及 19 个单株产量最高的家系在 RIL 群体中的共性进行分析,发现除百粒重、油分含量和蛋白含量外(图 1B、D、E),其它性状大多数高于 RIL 群体的平均值,表明百粒重、油分含量和蛋白含量对单株产量的影响较小,其它 8 个性状对单株产量影响较大。与亲本相比,19 个家系在株高、

叶片数和主茎节数(图 1 F、G、I)上与冀 nf 58 相近,其它性状与冀豆 12 相近(图 1 A、B、C、H、J、K),表明 19 个高产家系遗传了高产亲本冀豆 12 的主要性状,但株高和主茎节数等性状受到冀 nf58 的改良,这可能是部分高产家系单株产量高于冀豆 12 的原因之一。

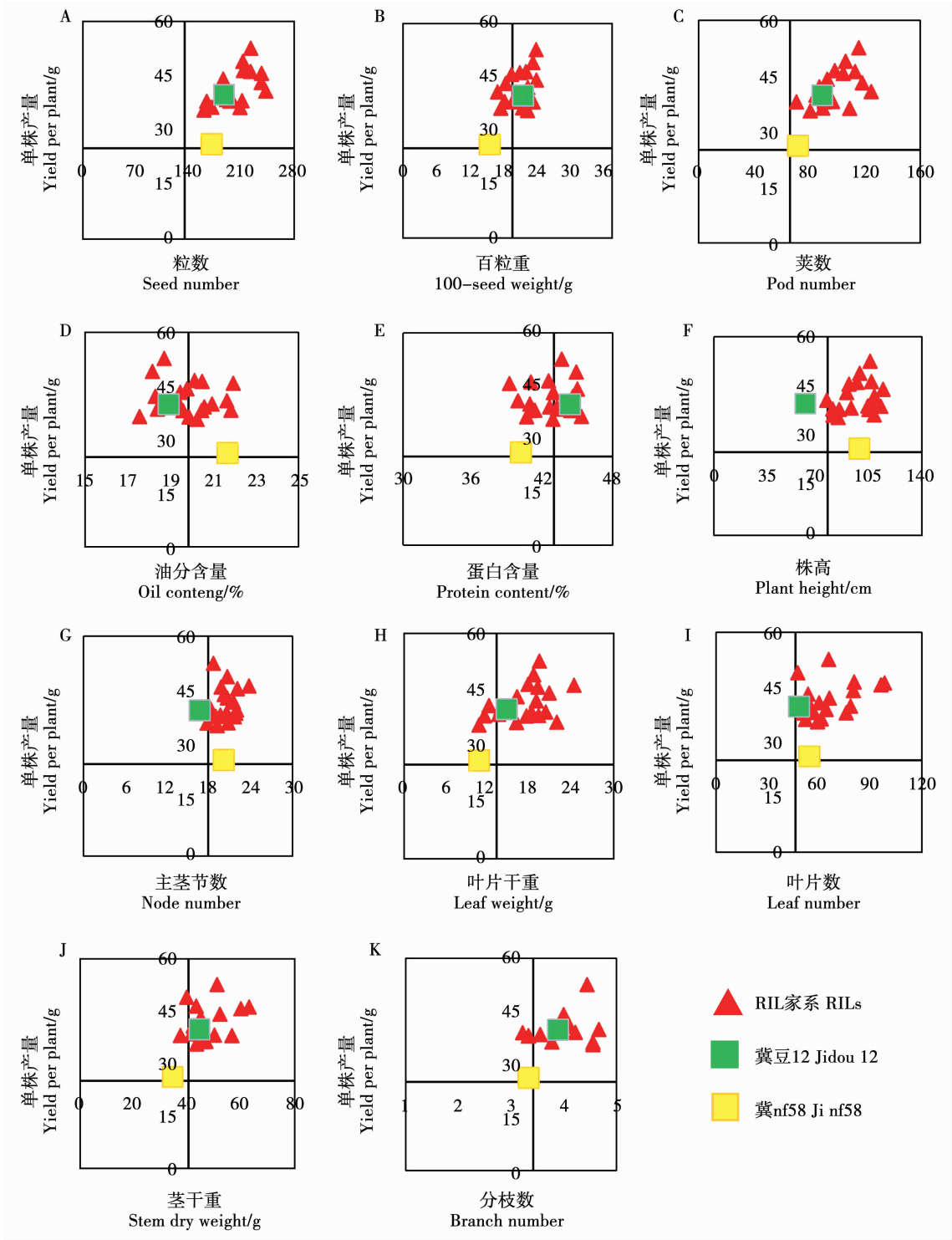


图 1 RIL 群体中高产家系性状分析

Fig. 1 Characteristics of high yield family in the RIL group

3 讨论

以往众多研究结果表明单株粒重对大豆产量性状具有重要影响^[39-43],因此深入解析影响单株粒重的主要因素对提高大豆产量具有重要意义。本研究分析了11个与单株粒重相关的性状后,发现其中9个性状对单株粒重具有显著影响,间接说明了大豆产量是一个综合性状,受多种因素影响。为了探究高产单株家系的共性,提出高产大豆的育种策略。本研究对单株粒重最高的19个家系进行了对比分析。结果发现除了株高、主茎节数和叶片数目外,19个家系的其它农艺性状与冀豆12较为接近。表明这些家系遗传了冀豆12的优异特性,但其株高和主茎节数等性状更接近于冀nf58亲本。该结果暗示在不改变冀豆12主要性状特性的条件下,通过轮回选择的方式适当提高冀豆12的株高,仍有提高产量的潜力。这对未来高产大豆的选育具有一定的参考意义。

在现代育种中,人们不仅仅关注产量性状,品质性状也是育种家考虑的主要因素。之前也相继开展了品质性状与主要农艺性状间的相关性研究,但结果并不完全一致。例如仲义等^[29]分析品质性状(蛋白和油分含量)与主要农艺性状的相关性。发现蛋白含量与株高、荚数及产量呈显著正相关,与分枝数呈负相关性;油分含量与分枝数、荚数、产量呈负相关,与茎粗呈正相关。周恩远等^[44]研究了品质与农艺性状间的相关性,结果则表明蛋白质含量与株高、主茎节数和结荚高度呈极显著正相关;油分含量与蛋白质含量呈极显著负相关,与百粒重呈显著负相关,与其它农艺性状间的相关性不显著。本研究结果显示蛋白含量仅与百粒重呈正相关性,与单株粒重、单株荚数、单株粒数、叶片数及分枝数均呈负相关,与其它性状不相关;油分含量与单株粒数、单株荚数、分枝数呈正相关,与百粒重呈负相关,与其它性状不相关,与上述部分结果不一致。这可能与本研究利用的是RIL群体材料有关,而以往研究中利用的是品种材料或是双列杂交试验材料,不同研究材料间存在一定共性,但也具有差异性,因此在实际育种当中,需要根据具体材料的特性来选育。

本研究还发现,品质性状(油分含量和蛋白含量)相对比较稳定,且与产量性状相关性不高或不相关。因此,在实际育种中,可以将产量和品质作为两个相对独立的性状进行选育。品质受环境影

响较小,可以通过直接选育的方式获得高油或高蛋白品种;产量性状相对比较复杂,除与各农艺性状存在相关性,还受种植地气候和栽培条件等影响,需要根据实际情况和需求进行选育,以达到提升产量的目的。

4 结论

本研究结果表明:大豆产量性状与品质性状的相关性不高,对大豆高产和高品质育种应分开考虑;与大豆单株产量最密切相关的性状是单株粒数、单株荚数、叶干重和株高,在育种过程中应重点考虑;冀豆12可以作为优异骨干亲本应用于黄淮海高产高品质大豆育种中,重点对株高等性状加以改良。

参考文献

[1] Long H B, Feng T Z, Sun Y F, et al. First report of meloidogyne graminicola on soybean (*Glycine max*) in China[J]. Plant Disease, 2017, 101(8).

[2] Babu S R, Meena P K, Dudwal R. Population dynamics of major defoliators (semiloopers and tobacco caterpillar) in soybean crop [J]. Legume Research: An International Journal, 2017, 40(1): 183-186.

[3] 崔宁波. 我国大豆生产技术与应用的经济分析[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008: 13-16. (Cui N B. Economic analysis on soybean production technology and its application in China [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2008: 13-16.)

[4] 周振亚. 中国植物油产业发展战略研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012: 1-10. (Zhou Z Y. Study on the strategy of the vegetable oil industry in China[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Science, 2012: 1-10.)

[5] 朱思柱. 大豆进口对中国种植业的影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014: 1-4. (Zhu S Z. Research on the impact of soybean imports on Chinese cropping production[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014: 1-4.)

[6] Liang Q, Cheng X, Mei M, et al. QTL analysis of root traits as related to phosphorus efficiency in soybean[J]. Annals of Botany, 2010, 106(1): 223-234.)

[7] 李欣欣, 许锐能, 廖红. 大豆共生固氮在农业减肥增效中的贡献及应用潜力[J]. 大豆科学, 2016, 35(4): 531-535. (Li X X, Xu R N, Liao H. Contributions of symbiotic nitrogen fixation in soybean to reducing fertilization while increasing efficiency in agriculture[J]. Soybean Science, 2016, 35(4): 531-535.)

[8] 殷瑞锋. 2016/17 年度大豆压榨加工量稳定增加[J]. 农产品市场周刊, 2017(7): 48. (Yin R F. Soybean crush processing volume increased steadily in 2016/17[J]. Agricultural Products Market Weekly, 2017(7): 48.)

[9] 张振. 大豆生产显著性增加进口增速放缓[J]. 农产品市场

- 周刊, 2017(16):22-23. (Zhang Z. Soybean production significantly increased import growth slow down[J]. Agricultural Products Market Weekly, 2017(16):22-23.)
- [10] 杨瑞姣. 中国大豆进口影响因素的实证分析[J]. 商, 2016(10): 125. (Yang R J. An empirical analysis of the influence factors of Chinese soybean imports[J]. Business, 2016(10): 125.)
- [11] 姜丽丽. 我国大豆加工企业价格风险及其规避研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2012: 1-4. (Jiang L L. Research on the price risk and control of the soybean processing enterprise in our country[D]. Harbin:Northeast Agricultural University, 2012: 1-4.)
- [12] 路子显. 论大豆进口与我国粮食质量安全[J]. 粮食问题研究, 2017(1): 4-9. (Lu Z X. On soybean import and food quality and safety[J]. Grain Issues Research, 2017(1): 4-9.)
- [13] 汪宝卿, 张礼凤, 慈敦伟, 等. 黄淮海地区夏大豆农艺性状与产量的相关性及其灰色关联度分析[J]. 山东农业科学, 2010(3): 20-25. (Wang B Q, Zhang L F, Ci D W, et al. Correlation and grey relation analysis of agronomic traits with yield of summer soybean in the Huang-Huai-Hai area[J]. Shandong Agricultural Science, 2010(3): 20-25.)
- [14] 刘秀玉. 大豆种植技术[J]. 农民致富之友, 2017(3): 16. (Liu X Y. Soybean planting technology[J]. The Farmer's Friend Magazine, 2017(3): 16.)
- [15] 詹福云. 大豆种植技术研究[J]. 黑龙江科技信息, 2015(36): 277. (Zhan F Y. Soybean planting technology[J]. Heilongjiang Technical Information, 2015(36): 277.)
- [16] 王凤菊, 田广吉, 徐淑霞, 等. 黄淮海地区高蛋白夏大豆高产栽培技术[J]. 大豆科技, 2016(6): 45-47. (Wang F J, Tian G G, Xu S X, et al. High yield cultivation technique of high protein summer soybean in Huang-huai-hai area[J]. Soybean Science & Technology, 2016(6): 45-47.)
- [17] 王连铮, 傅玉清, 赵荣娟, 等. 黄淮海地区大豆育种的研究[J]. 大豆科学, 2001, 20(4): 266-269. (Wang L Z, Fu Y Q, Zhao R J, et al. Study on soybean breeding in Huang-Huai-Hai area[J]. Soybean Science, 2001, 20(4): 266-269.)
- [18] 王彩洁. 中国大豆主产区大面积种植品种性状演变规律研究及优异等位变异发掘[D]. 北京:中国农业科学院, 2013: 1-7. (Evolution trend investigation and elite allele exploration of widely-planted soybean varieties from different regions and decades [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013: 1-7.)
- [19] 张兵, 李丹, 张宁. 黄淮海地区大豆主要种植模式及效益分析[J]. 大豆科学, 2011, 30(6): 987-992. (Zhang B, Li D, Zhang N. Soybean planting patterns and benefit analysis of Huang-Huai-Hai region [J]. Soybean Science, 2011, 30(6): 987-992.)
- [20] 成雪峰, 张风云. 黄淮海夏大豆生产现状及发展对策[J]. 大豆科学, 2010, 29(1): 157-160. (Cheng Y F, Zhang F Y. Present conditions and counter measures of soybean production in Huang-Huai-Hai region [J]. Soybean Science, 2010, 29(1): 157-160.)
- [21] 韩天富, 盖钧镒, 邱家驹. 中国大豆不同生态类型代表品种开花前、开花后光周期反应的比较研究[J]. 大豆科学, 1998, 17(2): 35-40. (Han T F, Gai J Y, Qiu J X. A comparative study on pre- and post-flowering photo period response in various ecotype of soybeans [J]. Soybean Science, 1998, 17(2): 35-40.)
- [22] 赵双进, 张孟臣, 杨春燕, 等. 栽培因子对大豆生长发育及群体产量的影响—I. 播期、密度、行株距(配置方式)对产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2002, 24(4): 31-34. (Zhao S J, Zhang M C, Yang C Y, et al. Effect of culture factors on growth and yield of soybean I. Effect of sowing date, density, space in row and plant space on yield[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2002, 24(4): 31-34.)
- [23] Wang H H, Ha K. China's role in world food security [M]//The Eurasian wheat belt and food security. Springer International Publishing, 2017: 259-273.)
- [24] 谷强平. 中国大豆进口贸易影响因素及效应研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2015: 7-18. (Gu Q P. Research on the influence factors and effect of Chinese soybean import trade [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2015: 7-18.)
- [25] 周静, 谷强平, 杜吉到. 中国大豆进口依赖性及其对大豆进口安全的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(3): 503-506, 511. (Zhou J, Gu Q P, Du J L. Soybean import dependence and its effect on soybean import security in China [J]. Soybean Science, 2015, 34(3): 503-506, 511.)
- [26] 赵琳, 宋亮, 詹生华, 等. 大豆育种进展与前景展望[J]. 大豆科技, 2014(3): 36-39. (Zhao L, Song L, Zhan H S, et al. Progress and perspective on soybean breeding [J]. Soybean Science & Technology, 2014(3): 36-39.)
- [27] 马育华, 盖钧镒. 江淮下游地区大豆地方品种的初步研究—(三)数量性状的表型、遗传型相关, 选择指数, 及其育种意义[J]. 作物学报, 1979(4): 1-12. (Ma Y H, Gai J Y. Preliminary research on the local varieties of soybean in the lower reaches of JiangHuai area (3) the phenotype, genotype correlation, selection index, and its breeding significance [J]. Acta Agronomica Sinica, 1979(4): 1-12.)
- [28] 张志民, 周青, 郑丽敏, 等. 大豆蛋白质遗传和生育期间积累规律的研究进展[J]. 大豆科技, 2017(1): 36-39. (Zhang Z M, Zhou Q, Zheng L M, et al. Progress in the study of the accumulation of soybean protein during the period of heredity and reproduction [J]. Soybean Science & Technology, 2017(1): 36-39.)
- [29] 仲义, 鄂成林, 孙发明, 等. 大豆农艺性状和品质性状间相关性分析[J]. 东北农业科学, 2012, 37(2): 1-3. (Zhong Y, E C L, Sun F M, et al. Analysis of correlation between agronomic traits and quality traits of soybean [J]. Northeast Agricultural Sciences, 2012, 37(2): 1-3.)
- [30] 秦君, 杨春燕, 谷峰, 等. 黄淮海地区大豆产量及其稳定性评价[J]. 中国农业科学, 2012, 46(3): 451-462. (Qin J, Yang C Y, Gu F, et al. Evaluation of productivity and stability of soy-

- bean cultivars in China's Huang-Huai-Hai region [J]. Chinese Agricultural Sciences, 2012, 46(3): 451-462.)
- [31] 黄中文, 王伟, 徐新娟, 等. 大豆重组自交家系群体动态株高及其相对生长速率与产量的关系[J]. 作物学报, 2011, 37(3): 559-562. (Huang Z W, Wang W, Xu X J, et al. Relationship of dynamic plant height and its relative growth rate with yield using recombine inbred lines of soybean[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(3): 559-562.)
- [32] Wu T, Yang X, Sun S, et al. Temporal-spatial characterization of seed proteins and oil in wildly grown soybean cultivars across a century of breeding in China[J]. Crop Science, 2017, 57(2): 748-759.)
- [33] 张孟臣, 张磊, 刘学义. 黄淮海大豆改良种质[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014. (Zhang M C, Zhang L, Liu X Y. Soybeans improve the quality of germplasm in Huang-Huai-Hai[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2014.)
- [34] 杨春燕, 张孟臣, 赵双进, 等. 大豆新品种冀豆 12 号主要特性及栽培技术[J]. 大豆科技, 2001(6): 16-17. (Yang C Y, Zhang M C, Zhao S J, et al. The main characteristics and cultivation techniques of soybean variety Jidou 12[J]. Soybean Science & Technology, 2001(6): 16-17.)
- [35] 王静华. 黄淮海大豆冀豆 17 和冀 n58 的遗传基础分析及重要蛋白挖掘[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2015: 2-10. (Wang J H. Genetic basis analysis and the identification of key proteins of Huang-huai-hai soybean cultivars Jidou 17 and Ji nf 58[D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2015: 2-10.)
- [36] 邱丽娟, 常汝镇, 刘章雄. 大豆种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006. (Qiu L J, Chang R Z, Liu Z X. Soybean germplasm resources specification and data standards[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.)
- [37] 陆婉珍, 袁洪福, 徐广通, 等. 现代近红外光谱分析技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2000: 146-156. (Lu W Z, Yuan H F, Xu G T, et al. Modern near-infrared spectrum analysis technology [M]. Beijing: Chinese Petrochemistry Press, 2000: 146-156.)
- [38] 闫海波, 王艳, 赵琳, 等. 大豆蛋白和油分含量的 QTL 分析[J]. 大豆科学, 2016, 35(2): 228-233. (Yan H B, Wang Y, Zhao L, et al. QTL analysis associated with protein and oil content in soybean[J]. Soybean Science, 2016, 35(2): 228-233.)
- [39] 范冬梅, 孙殿君, 马占洲, 等. 多种环境下大豆单株粒重 QTL 的定位与互作分析[J]. 作物学报, 2013, 39(6): 1021-1029. (Fan D M, Sun D J, Ma Z Z, et al. QTL mapping and interaction analysis of seed weight per plant in soybean among different environments[J]. Acta Agronomica Sinica, 2013, 39(6): 1021-1029.)
- [40] 胡振帮, 朱荣胜, 高运来, 等. 黑龙江省大豆品种单株粒重与其他农艺性状的灰色关联度分析[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(11): 57-62. (Hu Z B, Zhu R S, Gao Y L, et al. Grey correlation degree analysis between seed weight per plant and other major agronomic traits with soybean varieties in Heilongjiang province[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 42(11): 57-62.)
- [41] 申忠宝, 王建丽, 潘多锋, 等. 大豆单株产量与主要农艺性状的灰色关联度分析[J]. 中国农学通报, 2002, 28(33): 75-77. (Shen Z B, Wang J L, Pan D F, et al. The grey relation analysis of agronomic traits with per plant yield of soybean[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2002, 28(33): 75-77.)
- [42] 张君, 王丕武, 杨伟光, 等. 大豆主要性状间的灰色关联度分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2004, 35(1): 1-3. (Zhang J, Wang P W, Yang W G, et al. Gray relational analysis on main characters of soybean[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2004, 35(1): 1-3.)
- [43] 王秋玲, 郭凌云, 刘艳, 等. 夏大豆单株产量与主要农艺性状的灰色关联度分析[J]. 大豆通报, 2002(6): 5. (Wang Q L, Guo L Y, Liu Y, et al. Gray relational grade analysis of individual soybean yield and main agronomic traits in summer soybean[J]. Soybean Bulletin, 2002(6): 5.)
- [44] 周恩远, 刘丽君, 祖伟, 等. 春大豆农艺性状与品质相关关系的研究[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(2): 145-149. (Zhou E Y, Liu L J, Zu W, et al. The relationship between agronomic traits and quality of spring soybean[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2008, 39(2): 145-149.)