

大豆微核心种质蛋白质及脂肪含量的遗传变异

张金巍, 韩粉霞, 孙君明, 韩广振, 于绍轩, 于福宽, 闫淑荣, 杨 华

(中国农业科学院作物科学研究所/农业部北京大豆生物学重点实验室/农作物基因资源与基因改良国家重大科学工程, 北京 100081)

摘要:大豆是人类最重要的植物蛋白和油脂来源。提高大豆蛋白质及脂肪含量一直是大豆品质育种的重要研究方向。采用 NIR 检测方法, 对 77 份大豆微核心种质进行蛋白质及脂肪含量分析, 探讨微核心种质蛋白质及脂肪含量的遗传变异特性及其与主要农艺性状的相关性, 为种质利用及品质育种提供依据。结果表明, 蛋白质含量和脂肪含量在品种间和生态区间均存在极显著的差异, 变异丰富; 蛋白质含量和脂肪含量的变异幅度为 40.68% ~ 50.03% 和 13.81% ~ 21.51%, 平均含量为 45.95% 和 17.42%, 变异系数为 4.42% 和 7.96%; 不同生态区品种蛋白质含量为南方品种 > 黄淮海品种 > 北方品种 > 国外品种, 脂肪含量则相反。蛋白质含量与脂肪含量呈极显著负相关 ($r = -0.825^{**}$), 与单株粒数和单株荚数呈极显著和显著负相关 ($r = -0.205^{**}$, $r = -0.156^{*}$), 与底荚高度呈极显著正相关 ($r = 0.240^{**}$)。主成分分析显示, 4 个主成分可解释 82.25% 信息, 分别为产量构成因子、品质因子、株型因子和粒重因子。

关键词:大豆; 蛋白质含量; 脂肪含量; 遗传变异; 相关性

Genetic Variation of Protein and Fat Content in Soybean Mini Core Collections

ZHANG Jin-wei, HAN Fen-xia, SUN Jun-ming, HAN Guang-zhen, YU Shao-xuan, YU Fu-kuan,
YAN Shu-rong, YANG Hua

(Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/MOA Key Laboratory of Soybean Biology
(Beijing)/National Key Facility for Crop Gene Resources and Genetic Improvement, Beijing 100081)

Abstract: The soybean is one of main sources of plant protein and fat for human diet. Increasing protein and fat contents has become an important breeding target in soybean breeding program. In this study, protein and fat contents of 77 soybean mini core germplasms were analyzed using NIR technique. Genetic variation of protein and fat content and their relationship with main agronomic traits were evaluated. The results were as follows: there was significant difference in protein and fat contents among varieties and ecological regions, which explained the abundant genetic variation of protein and fat contents in the soybean germplasm; protein content ranged from 40.68% to 50.03%, with the mean of 45.95%, coefficient of variation was 4.42%; fat content ranged from 13.81% to 21.51%, with the mean of 17.42%, coefficient of variation was 7.96%. Protein content showed different trend in varieties from different ecological area, southern varieties > varieties from Huanghuaihai area > northern varieties > foreign varieties, and it was reverse for fat content. The protein content was negatively correlated with fat content, no. of grains per plant, and no. of effective pods per plant ($r = -0.825^{**}$, $r = -0.205^{**}$, $r = -0.156^{*}$); while protein content was positively correlated with height of the lowest pod ($r = 0.240^{**}$). Principal analysis showed that four factors involving yield structure, quality plant type, and grain weight could explain 82.25% genetic information.

收稿回期: 2013-08-29 修回日期: 2013-10-29 网络出版日期: 2014-01-24

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/10.13430/j.cnki.jpgr.2014.02.027.html>

基金项目:转基因生物新品种培育重大专项(2013ZX08004-004; 2011ZX08004-004); 国家科技支撑计划(2011BAD35B06); 中国农业科学院科技创新工程; 国家“863”计划(2012AA101106)

第一作者研究方向为作物遗传育种研究。E-mail: zhjw0122good@126.com

通信作者: 韩粉霞, 研究方向为作物遗传育种研究。E-mail: hanfenxia@caas.cn

Key words: soybean;protein content;fat content;genetic variation;correlation

大豆是人类最重要的植物蛋白和油脂来源,提高大豆蛋白质含量和脂肪含量一直是大豆品质育种工作的重点。大豆蛋白质及脂肪含量是受多基因控制的数量性状,易受环境条件的影响而发生变异^[1-3],因此开展大豆蛋白质和脂肪含量育种必须综合考虑各种因素的影响。不同蛋白质、油分含量类型品种间的杂交均以双亲或单亲含量高的,其后代各世代的表现较好^[4-7]。国内外学者对不同国家和地区的大豆品种和种质的蛋白质和脂肪含量进行分析,发现不同大豆品种间蛋白质含量及脂肪含量显著不同,存在遗传差异^[8-15],我国大豆种质资源丰富,拥有大豆种质 3 万余份,但其利用率却相对很低。目前,已完成了 23587 份大豆种质资源农艺性状及其他性状的鉴定,并从中筛选出 196 份高蛋白和 43 份高脂肪含量种质^[16-17],这些优异种质资源是大

豆品质育种的重要基础。大豆核心种质构建的目的是以最小的资源数量和遗传重复,最大限度地代表整个资源的遗传多样性,由于其规模小,代表性强,更有利于开展种质资源的有效鉴定和评价,具有较大的实用价值^[18]。本研究对 77 份大豆微核心种质的蛋白质和脂肪含量的遗传变异特性及其与主要农艺性状的相关性进行分析,筛选高蛋白质和脂肪含量的优异种质,为微核心种质利用和品质育种提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

77 份大豆微核心种质由中国农业科学院作物科学研究所大豆基因资源发掘与利用课题组提供。其中,国内种质 64 份,包括北方区 4 份、黄淮海区 45 份、南方区 15 份;国外品种 13 份(表 1)。

表 1 微核心种质的生态区来源
Table 1 Soybean mini core donors from the various regions

生态区 Region	品种数 Variety number	品种名称 Variety name
北方区 North region	4	青豆、白城秣食豆、小白脐、黄脐
黄淮海区 Huanghuaihai valley region	45	商 951099、郑 8516、绿草豆、胜利 3 号、平顶黑、平顶黄豆、青 6 号、鲁豆 4 号、烟黄 3 号、大黄豆、密云老爷脸、中黄 20、小黑豆-1、小黑豆-2、白露豆、白皮黄豆、夏黑豆、黄秆豆、小黄豆-1、小黄豆-2、南关小皮青、大屯小黑豆、冀豆 12、赤城绿黄豆、梓田小黄豆、猫眼豆、倪丁花眉豆、大天鹅蛋、小米豆、天鹅蛋-1、天鹅蛋-2、四粒圆、青稞圆豆、第六黄豆-2、早熟 18、邳县大紫花糙、邳县四粒糙、滨海大黄壳子甲、铜山青大豆、泗豆 2 号、元豆、绿皮黄豆、7651-1、气死洼、盘石豆
南方区 South region	15	中豆 32、东山白马豆、六月黄、厦门藤仔豆、同安紫红豆、犍为泉水豆、大黄豆-1、大黄豆-2、皂角豆、泉变 11、8307-8-1、泰兴牛毛黄乙、泥豆、迟黄豆-1、莆豆 451
国外 Aboard region	13	PI486355、PI594399、PI567479、PI593949、PI594455、Nova、Amsoy、多玛卡、托利萨、杜纳吉卡、东山 69、中特 1 号、十胜长叶、艾卡 166

1.2 试验设计

2009 年和 2010 年在中国农业科学院作物科学研究所北京昌平试验基地种植供试材料,随机区组设计,3 次重复,单行区,行长 2 m,行距 0.45 m,株距 0.1 m。采用大豆田间常规管理方法。

1.3 试验方法

1.3.1 农艺性状调查 成熟期每个材料从每行中间连续取样 10 株,风干后考种,考察株高、底荚高度、主茎节数、有效分枝、单株荚数、单株粒数、百粒

重等主要农艺性状。

1.3.2 品质性状测定 利用德国 Bruker 公司的傅立叶变换近红外光谱仪(MPA Near Infrared Spectrum System)扫描样品的近红外吸收光谱,利用 OPUS4.2 软件的 Quant2 方法,以蛋白质干基和脂肪干基模型,获得样品的蛋白质和脂肪含量数据。

1.4 数据分析 利用 SAS 统计分析软件,对主要品质和农艺性状进行方差分析、显著性测验及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 微核心种质品质性状分析

77份大豆微核心种质的主要品质及农艺性状存在丰富的遗传变异(表2),蛋白质含量的变异幅度为40.68%~50.03%,平均值为45.95%,变异系数为4.42%;脂肪含量的变异幅度为13.81%~21.51%,平均值为17.42%,变异系数为7.96%;蛋脂总含量的变异幅度为60.76%~66.33%,平均值为63.37%,变异系数为1.87%,微核心种质蛋白质

含量和脂肪含量的变异幅度和变异系数较大。株高、底荚高度、主茎节数、有效分枝数、单株荚数、单株粒数和百粒重等主要农艺性状的变异幅度分别为53.42~173.63 cm、10.69~38.22 cm、12.93~22.84个、1.79~5.55个、17.72~77.73个、34.14~151.96粒、8.10~26.86 g;变异系数分别为20.94%、30.97%、11.30%、25.66%、32.96%、34.88%和26.65%,可见,微核心种质的主要农艺性状均有较大差异。

表2 77份大豆微核心种质主要农艺和品质性状基本表现(2009-2010)

Table 2 Performance of the main agronomic and quality traits of different varieties(2009-2010)

性状 Trait	变异幅度 Variation range	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	方差 Variance	变异系数(%) Coefficient of variation
株高(cm) Plant height	53.42~173.63	102.19	21.40	458.07	20.94
底荚高度(cm) Height of lowest pod	10.69~38.22	22.18	6.87	47.18	30.97
主茎节数 No. of main stem nodes	12.93~22.84	18.87	2.13	4.55	11.30
有效分枝数 No. of effective branches	1.79~5.55	3.60	0.92	0.85	25.66
单株荚数 No. of pods per plant	17.72~77.73	44.47	14.65	214.75	32.96
单株粒数 No. of grains per plant	34.14~151.96	84.90	29.61	877.01	34.88
百粒重(g) 100-grain weight	8.10~26.86	15.52	4.14	17.11	26.65
蛋白质含量(%) Protein content	40.68~50.03	45.95	2.03	4.13	4.42
脂肪含量(%) Oil content	13.81~21.51	17.42	1.38	1.89	7.96
蛋脂总含量(%) Total content of protein and oil	60.76~66.33	63.37	1.19	1.41	1.87

蛋白质含量、脂肪含量和蛋脂总含量的方差分析(表3)表明,蛋白质含量和脂肪含量在品种间、不同生态区间均存在极显著的差异,蛋脂总含量在品种间差异极显著,在不同生态区间差异不显著,蛋白质含量、脂肪含量及蛋脂总含量在重复间差异不显

著,说明试验重复性较好。

2009年和2010年蛋白质含量、脂肪含量差异显著性检验(t检验)显示,蛋白质含量在2年间差异极显著,脂肪含量2年间差异不显著,说明蛋白质含量受年际效应的影响大于脂肪。

表3 品质性状品种间、重复间和生态区间方差分析

Table 3 ANOVA of quality traits in different varieties, duplications and regions

品质性状 Quality trait	变异来源 Variation source	自由度 df	平方和 ANOVA SS	均方 Mean square	F	Pr > F
蛋白质含量(%) Protein content	品种 Variety	76	1624.98	21.38	16.25	< 0.0001
	重复 Repeat	2	1.07	0.53	0.11	0.8973
	生态区 Region	3	58.80	19.60	5.61	0.0016
脂肪含量(%) Oil content	品种 Variety	76	742.24	9.77	27.97	< 0.0001
	重复 Repeat	2	0.65	0.33	0.14	0.8673
	生态区 Region	3	20.75	6.92	4.10	0.0095
蛋脂总含量(%) Total content of protein and oil	品种 Variety	76	542.65	7.14	10.48	< 0.0001
	重复 Repeat	2	0.85	0.42	0.27	0.7618
	生态区 Region	3	9.79	3.26	2.44	0.0708

不同品种蛋白质含量差异显著性测验(表4)表明,77份大豆微核心种质中,PI594455蛋白质含量最大,为50.03%,Nova的蛋白质含量最小,为40.68%,相差9.35%。其中,PI594455、泰兴牛毛黄乙、小黑豆-1、大屯小黑豆、平顶黄豆、小黑豆-2和皂角豆等7个品种的蛋白质含量高,Nova、中黄20、中

特1号、Amsoy、小黄豆-2、样田小黄豆和东山69等7个品种的蛋白质含量低;脂肪含量与蛋白质含量相反,脂肪含量较高的品种为Nova、中黄20、Amsoy、样田小黄豆、艾卡166、东山69和小黄豆-2。上述高蛋白和高脂肪种质可作为大豆品质育种的亲本材料。

表 4 不同品种间蛋白质含量的 Duncan’s 变量多重比较

Table 4 Duncan’s multiple range test for quality traits in different varieties

品种 Variety	蛋白质含量(%) Protein content	品种 Variety	蛋白质含量(%) Protein content	品种 Variety	蛋白质含量(%) Protein content
PI594455	50.03a	冀豆12	47.08efghijklmnop	商951099	45.11rstuvwxyzabc
泰兴牛毛黄乙	49.92ab	烟黄3号	47.03efghijklmnopq	青豆	45.04stuvwxyzabc
小黑豆-1	49.68abc	东山白马豆	47.00efghijklmnopq	泗豆2号	45.03stuvwxyzabc
大屯小黑豆	48.96abcd	十胜长叶	46.95efghijklmnopqr	天鹅蛋-2	44.77tuvwxyzabc
平顶黄豆	48.77abcdef	绿草豆	46.81fghijklmnopqrs	白皮黄豆	44.65uvwxyzabc
小黑豆-2	48.65abcdef	邳县四粒糙	46.81fghijklmnopqrs	黄秆豆	44.47vwxyzabc
皂角豆	48.60abcdef	密云老爷脸	46.77fghijklmnopqrs	黄脐	44.44vwxyzabcd
四粒圆	48.31bcdefg	滨海大黄壳子甲	46.70ghijklmnopqrs	杜纳吉卡	44.29vwxyzabcde
平顶黑	48.23bcdefg	南关小皮青	46.66ghijklmnopqrs	PI486355	44.20wxyzabcdef
猫眼豆	48.23bcdefg	倪丁花眉豆	46.61ghijklmnopqrst	8307-8-1	44.20wxyzabcdef
六月黄	48.22bcdefg	邳县大紫花糙	46.59ghijklmnopqrst	多玛卡·托利萨	44.19wxyzabcdef
第六黄豆-2	48.21bcdefg	夏黑豆	46.43ghijklmnopqrstu	艾卡166	44.05wxyzabcdefg
泉变11	48.14bcdefg	莆豆451	46.09hijklmnopqrstuv	盘石豆	43.72xyzabcdefg
大黄豆-1	48.09bcdefg	青6号	45.89ijklmnopqrstuvw	小白脐	43.68yzabcdefg
迟黄豆-1	47.89bcdefg	青稞圆豆	45.83jklmnopqresuvw	中豆32	43.60zabcdefg
犍为泉水豆	47.86bcdefgh	厦门藤仔豆	45.74klmnopqrstunw	7651-1	43.50abcdefg
大天鹅蛋	47.76cdefghi	赤城绿黄豆	45.63lmnopqresuvw	小黄豆-1	43.36bcdefgh
元豆	47.70cdefghij	PI593949	45.58mnopqrstuvwxy	PI594399	43.28cdefgh
泥豆	47.61cdefghijk	郑8516	45.48nopqrstuvwxy	东山69	43.13defgh
大黄豆	47.58cdefghijk	鲁豆4号	45.48nopqrstuvwxy	样田小黄豆	42.65efgh
大黄豆-2	47.48cdefghijkl	胜利3号	45.47nopqrstuvwxy	小黄豆-2	42.56efgh
气死洼	47.46cdefghijklm	铜山青大豆	45.44nopqrstuvwxy	Amsoy	42.40efgh
同安紫红豆	47.39cdefghijklm	天鹅蛋-1	45.25opqrstuvwxyza	中特1号	42.28fgh
白露豆	47.29cdefghijklmn	小米豆	45.22pqrstuvwxyza	中黄20	42.01h
绿皮黄豆	47.22cdefghijklmn	PI567479	45.21pqrstuvwxyzab	Nova	40.68i
白城秣食豆	47.13defghijklmno	早熟18	45.16qrstuvwxyzzab		

数据后字母不同示5%显著性差异,相同字母示差异不显著,下同
Means within each column followed by the different and same letter are not significantly and significantly different at the 0.05 probability level,the same as below

不同生态区品种蛋白质含量和脂肪含量的差异显著性测验(表5)表明,蛋白质含量为南方品种(46.97%)>黄淮海品种(46.22%)>北方品种(45.07%)>国外品种(44.22%),其中,南方品种与黄淮海品种蛋白质含量无显著差异,但显著高于北方品种和国外品种蛋白

质含量;脂肪含量则相反,为国外品种(18.43%)>北方品种(17.91%)>黄淮海品种(17.28%)>南方品种(16.76%),国外品种与北方品种和黄淮海品种脂肪含量无显著差异,但显著高于南方品种脂肪含量;蛋脂总含量在不同生态区间差异不显著。

表 5 不同生态区品质性状的 Duncan’s 变量多重比较

Table 5 Duncan’s multiple range test for quality traits in different regions

生态区 Region	蛋白质含量 (%) Protein content	脂肪含量 (%) Oil content	蛋脂总含量(%) Total content of protein and oil
南方区 South region	46.97 a	16.76 b	63.73 a
黄淮海区 Huanghuaihai region	46.22 ab	17.28 ab	63.50 a
北方区 North region	45.07 bc	17.91 ab	62.98 a
国外 Aboard region	44.22 c	18.43 a	62.65 a

表 6 品质性状与主要农艺性状的相关分析

Table 6 Correlation analysis among quality traits and agronomic traits

性状 Trait	蛋白质含量 Protein content	脂肪含量 Oil content	百粒重 100-grain weight	株高 Plant height	底荚高度 Height of lowest pod	主茎节数 No. of main stem nodes	有效分枝数 No. of effect ive branches
脂肪含量 Oil content	-0.825 **						
百粒重 100-grain weight	-0.168	0.359 **					
株高 Plant height	0.146	-0.342 **	-0.295 **				
底荚高度 Height of lowest pod	0.240 *	-0.345 **	-0.058	0.144			
主茎节数 No. of main stem nodes	-0.031	-0.134	-0.100	0.509 **	0.170		
有效分枝数 No. of effective branches	0.085	-0.199	-0.134	0.326 **	-0.016	0.366 **	
单株荚数 No. of pods per plant	-0.156 *	0.092 **	-0.223 *	0.431 **	-0.287 *	0.466 **	0.401 **
单株粒数 No. of grains per plant	-0.205 **	0.258 **	-0.210	0.392 **	0.330 **	0.435 **	0.358 **

* 和 ** 分别代表 5% 和 1% 显著水平
* and ** represent significance at 5% and 1% probability level, respectively

2.3 大豆品种主要农艺性状及品质性状的主成分分析

对大豆微核心种质的株高、底荚高度、主茎节数、有效分枝数、单株荚数、单株粒数、百粒重、蛋白质含量和脂肪含量等 9 个农艺性状及品质性状进行主成分分析(表 7),从主成分分析的初始化特征值

表 7 协方差矩阵的特征根

Table 7 Eigenvalues of the covariance matrix

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	差数 Difference	方差贡献 Proportion	累计方差贡献率 Cumulative
1	2.8982	0.4126	0.3220	0.3220
2	2.4856	1.3393	0.2762	0.5982
3	1.1464	0.2736	0.1274	0.7256
4	0.87287	0.2463	0.0970	0.8225
5	0.6265	0.1826	0.0696	0.8922
6	0.4439	0.1008	0.0493	0.9415
7	0.3431	0.1885	0.0381	0.9796
8	0.1547	0.1257	0.0172	0.9968
9	0.0289		0.0032	1

2.2 品质性状与主要农艺性状的相关性分析

品质性状与主要农艺性状的相关分析见表 6。蛋白质含量与脂肪含量呈极显著负相关,与单株粒数呈极显著负相关,与单株荚数呈显著负相关,与底荚高度呈显著正相关;脂肪含量与百粒重、单株粒数和单株荚数呈极显著正相关,与底荚高度和株高呈极显著负相关。说明单株粒数和单株荚数可作为蛋白质含量和脂肪含量间接选择的参考指标,百粒重可作为脂肪含量的间接选择参考指标。

和因子提取后的特征值可看出,初始化特征值中 9 个成分的累计贡献率达到 100,提取前 4 个主成分基本可解释 82.25%,可以概括不同大豆品种农艺性状及品质性状的大部分信息。

主要农艺性状和品质性状的主成分矩阵显示了各性状在各个主成分矩阵中的权重系数(表 8)。第 1 主成分中单株荚数和单株粒数等性状的权重系数较大,主要反映产量构成因子;第 2 主成分中以蛋白质含量的权重系数较大,可归结为品质因子;第 3 主成分中,有效分枝数、底荚高度和主茎节数的权重系数较大,可以认为反映的是株型因子;第 4 主成分中百粒重权重系数较大,反映的是粒重因子。

3 讨论

大豆微核心种质蛋白质含量、脂肪含量和蛋脂总含量存在极显著的差异,变异幅度和变异系数较大;变异系数大小依次为脂肪含量、蛋白质含量和蛋脂总含量,即脂肪含量变异最大,蛋白质含量的变异次之,蛋脂总含量变异最小,这与朱志华等^[10]研究结果一致;大豆的品质性状主要由遗传因素决定,但

表 8 主要农艺性状及品质性状的主成分矩阵

Table 8 Principal component matrix for the main agronomic and quality traits

性状 Trait	主成分 Principal component			
	1	2	3	4
株高 Plant height	0.18	0.36	0.24	-0.15
底荚高度 Height of lowest pod	-0.18	0.25	0.53	0.26
主茎节数 No. of main stem nodes	0.34	0.29	0.43	0.25
有效分枝数 No. of effective branches	0.32	0.14	0.33	0.51
单株荚数 No. of pods per plant	0.55	0.04	-0.16	-0.05
单株粒数 No. of grains per plant	0.55	-0.01	-0.14	-0.07
百粒重 100-grain weight	-0.07	-0.38	0.08	0.73
蛋白质含量 Protein content	-0.23	0.39	-0.48	0.22
脂肪含量 Oil content	0.23	-0.51	0.30	-0.04

年际和环境等因素对其的影响也很大,本研究中蛋白质含量 2 年间差异极显著,但脂肪含量 2 年间差异不显著,说明蛋白质含量受年际效应的影响大于脂肪,因此蛋白质含量需多年重复鉴定;不同生态区种质在北京种植时,蛋白质含量、脂肪含量和蛋脂总含量仍存在极显著的差异,表明虽然环境因素发生了改变,品种的遗传基因仍然是影响其品质性状的主要因素,遗传多样性不会受太大影响。

主成分分析主要用于研究多个数量性状之间的关系,可以将多个相互关联的数量性状综合为少数几个主成分。通过对变量之间的相关系数矩阵内部结构的研究,找出数目较少且能控制所有变量的主成分。对株高、底荚高度、主茎节数、有效分枝数、单株荚数、单株粒数、百粒重、蛋白质含量和脂肪含量等 9 个农艺性状及品质性状进行主成分分析数,提取了 4 个可以概括不同大豆品种农艺性状及品质性状的大部分信息的主成分,第 1 主成分主要反映产量构成因子,第 2 主成分可归结为品质因子,第 3 主成分可以认为反映的是株型因子,第 4 主成分反映的是粒重因子。

4 结论

77 份微核心种质的蛋白质含量和脂肪含量遗传变异广泛,蛋白质含量变异幅度为 40.68% ~ 50.03%,平均含量为 45.95%,变异系数为 4.42%,脂肪含量变异幅度为 13.81% ~ 21.51%,平均含量为 17.42%,变异系数为 7.96%;高蛋白质种质 PI594455、泰兴牛毛黄乙、小黑豆-1 和高脂肪含量种质 Nova、中黄 20、Amsoy 可作为大豆品质育种的亲本材料;蛋白质含量依次为南方品种 > 黄淮海品种 > 北方品种 > 国外品种,脂肪含量则相反;蛋白质含量受年际效应的影响大于脂肪含量,因此蛋白质含

量需多年重复鉴定。

参考文献

[1] 单大鹏,朱荣胜,陈立君,等. 大豆蛋白质含量相关 QTL 间的上位效应和 QE 互作效应[J]. 作物学报,2009,35(1):41-47

[2] 陈霞. 不同生态区域环境对大豆蛋白质、脂肪含量的影响[J]. 大豆科学,2001,20(4):280-284

[3] 赵政文,马继凤,李小红,等. 南方春大豆春、秋播与籽粒蛋白质脂肪含量关系的研究[J]. 大豆科学,1999,18(3):183-189

[4] Brim C A, Cockerhan C C. Inheritance of quantitative characters in soybeans[J]. Crop Sci,1961,1:187-190

[5] Chauhan V S, Singh B B. Genetic analysis of protein and oil protein in soybean[J]. Indian J Agr Sci[J]. 1983,53(8):634-637

[6] 宋启建,盖钧镒,马育华. 大豆品种蛋白质、油份含量的遗传特点[J]. 中国农业科学,1989,22(6):24-29

[7] 张金巍,韩粉霞,孙君明,等. 大豆蛋白质含量的遗传变异及其与主要农艺性状的相关性分析[J]. 植物遗传资源学报,2011,12(4):501-506

[8] Weber C R. Interrelation of some agronomic and chemical traits in an interspecific cross in soybean *Glycine max* × *G. Soja* [J]. Alasca Agr For Exp Sta Bull,1950,347:767-816

[9] 海妻矩彦,平和和,平春枝,等. 大豆品种间的蛋白质含量变异、遗传力及含硫氨基酸含量的分析[J]. 育种学杂志,1974,24(2):81-87

[10] 朱志华,李为喜,刘三才,等. 2002 年我国大豆 (*Glycine max*) 品种及种质资源的蛋白质和脂肪含量分析[J]. 植物遗传资源学报,2003,4(2):157-161

[11] 戴陋和,周守年,刘春来,等. 安徽省夏大豆籽粒蛋白质、氨基酸含量的变异和遗传的研究[J]. 中国农业科学,1986(4):34-39

[12] 游明安,盖钧镒,马育华. 长江下游夏大豆地方品种群体蛋白质含量、油分含量及产量等性状的遗传变异和相关研究[J]. 大豆科学,1989,8(1):11-20

[13] 钱大奇,盖钧镒,马育华. 苏浙春大豆地方品种群体蛋白质含量油分含量及产量遗传变异的初步研究[J]. 南京农业大学学报,1989,12(4):119-121

[14] 齐宁. 东北春大豆推广品种蛋白质脂肪含量变化分析[J]. 大豆科学,2001,20(1):45-48

[15] 郭泰,刘忠堂,齐宁,等. 黑龙江省大豆主要推广品种蛋白质和脂肪含量的分析[J]. 黑龙江农业科学,1998(3):1-3

[16] 邱丽娟,常汝镇,陈可明,等. 中国大豆品种资源保存与更新状况分析[J]. 植物遗传资源科学,2002,3(2):34-39

[17] Chang R Z, Xie H, Qiu L J, et al. Utilization of genetic diversity on establishing chinese soybean (*G. max*) core collection [C]// Beijing:Proceedings of China & International Soybean Conference & Exhibition,2002:21-22

[18] 邱丽娟,曹永生,常汝镇,等. 中国大豆 (*Glycine max*) 核心种质构建 I. 取样方法研究[J]. 中国农业科学,2003,36(12):1442-1449