

中国野生和栽培大豆蛋白质及油脂含量的比较分析

刘顺湖^{1,3},周瑞宝²,盖钧铭¹

(¹南京农业大学大豆研究所 国家大豆改良中心 作物遗传与种质创新国家重点实验室,江苏 南京 210095;²河南工业大学大豆精深加工研究所,河南 郑州 450052;³济宁学院,山东 曲阜 273155)

摘 要:蛋白质和油脂是大豆的主要营养成分,掌握大豆种质蛋白质和油脂含量的遗传变异是专用型品种选育的基础。以全国各生态区的野生豆 138 份、地方品种 408 份、国内育成品种 145 份、国外育成品种 77 份,合计 768 份大豆种质为材料,测定蛋白质和油脂含量,研究其遗传变异特点。结果表明:在南京同一环境下全国野生豆蛋白质含量、油脂含量和蛋脂总含量变幅分别为 39.2%~54.2%、7.5%~17.5% 和 47.3%~64.6%,地方品种 38.8%~51.5%、11.5%~22.5% 和 55.6%~69.0%,国内育成品种 41.7%~49.4%、12.9%~22.9% 和 55.6%~68.6%。野生豆驯化为栽培豆并经人工选育后油脂含量和蛋脂总含量有大幅增加,而蛋白质含量平均数和变异度则有减小,说明以往人工进化着重在油脂含量的改进。三个性状各群体在各生态区内均有较大变异,区平均间差异并不大,各区都有优良变异。野生豆蛋白质含量、油脂含量和蛋脂总含量与来源地纬度并未发现相关;栽培豆地方品种和育成品种的油脂含量与地理纬度出现显著正相关;育成品种蛋白质含量与地理纬度还出现显著负相关;野生自然状态下蛋白质含量和油脂含量之间无相关,而栽培豆地方品种和育成品种依次增强了负相关;形成这种相关的原因在于地区间油脂含量人工进化程度的差异。

关键词:野生大豆 (*Glycine soja* Sieb. et Zucc.);栽培大豆 (*Glycine max* (L.) Merr.);蛋白质含量;油脂含量;遗传变异;生态区域

中图分类号:S565.1 文献标识码:A 文章编号:1000-9841(2009)04-0566-08

A Comparative Analysis of Protein and Fat Content between Wild and Cultivated Soybeans in China

LIU Shun-hu^{1,3}, ZHOU Rui-bao², GAI Jun-yi¹

(¹Soybean Research Institute of Nanjing Agricultural University; National Center for Soybean Improvement; and National Key Laboratory for Crop Genetics and Germplasm Enhancement, Nanjing 210095, Jiangsu; ²Soybean Processing Research Institute, Henan University of Technology, Zhengzhou 450012, Henan; ³Jining College, Qufu 273155, Shandong, China)

Abstract: It is a basic work to explore the genetic variability and selection potential of protein and fat content existed in soybean germplasm for the improvement of the two components. In the present study, total 768 accessions, including 138 wild entries (*Glycine soja* Sieb. et Zucc.), 408 cultivated landraces (*Glycine max* (L.) Merr.) and 145 released domestic cultivars sampled from various eco-regions as a representative in China, along with 77 released foreign cultivars, were tested for their protein and fat content by using Kjeltex and Soxhlet technique in order to characterize the genetic variability of protein and fat content in respective kinds of germplasm. The data obtained were analyzed with the software of SAS 9.0 and SPSS 13.0. The results obtained under the environmental conditions in Nanjing showed that the range of protein content, fat content and total of both in wild soybean were 39.2-54.2%, 7.5-17.5%, 47.3-64.6%, those in cultivated landraces 38.8-51.5%, 11.5-22.5%, 55.6-69.0%, those in released domestic cultivars 41.7-49.4%, 12.9-22.9%, 55.6-68.6%, respectively. The increase of fat content and protein plus fat content after domestication and the decrease of protein content as well as its range implied that the improvement of fat content happened during the artificial improvement process. There existed large amount of genetic variation of protein content, fat content and total of both contents in various eco-regions in different kinds of mate-

收稿日期:2009-05-06
基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(2004CB7206,2006CB101708,2009CB118404);国家自然科学基金资助项目(30671266);国家高新技术研究发展计划资助项目(2006AA100104);教育部高等学校创新引智计划资助项目(B08025);农业部公益性行业专项资助项目(200803060)。
作者简介:刘顺湖(1960-),男,副教授,博士研究生,现从事大豆遗传与育种研究与教学。
通讯作者:盖钧铭,教授,中国工程院院士。E-mail:sri@njau.edu.cn;周瑞宝,教授。E-mail:rbzhou0615@163.com。南京农业大学和河南工业大学均为第一完成单位。

rials, with elite accessions in each eco-regions, but the variation was not large enough among eco-region means. No significant correlation between the three contents and the original latitude of the materials was found in wild accessions, while significant positive correlation between fat content and latitude existed in cultivated landraces and released cultivars and significant negative correlation between protein content and latitude was found only in released cultivars. There was no significant correlation between protein content and fat content in wild soybeans, but significant negative correlation between the two contents found in cultivated land races and released cultivars. The reason for this kind of change should be the differential artificial selection among the eco-regions.

Key words: Wild soybean(*Glycine soja* Sieb. et Zucc.); Cultivated soybean(*Glycine max*(L.) Merr.); Protein content; Fat content; Genetic variability; Eco-region

蛋白质和油脂是大豆的主要营养成分和重要品质性状,长期以来一直是种质资源研究的重点。野生豆(*Glycine soja* Sieb. et Zucc.)中蕴藏着许多优异的蛋白质和油脂基因,是宝贵的种质资源。李福山^[1]对全国 5 200 余份野生豆蛋白质含量测定分析表明原产地间有很大差异,以 30~34°59'N 的江淮之间和 40°N 以北的松辽平原地区蛋白含量最高(分别为 45.9% 和 46.5%)。王文真等^[2]测定了 6 115 份野生豆蛋白质含量平均为 45.36%,没有发现与纬度、海拔高度有线性关系。我国对栽培大豆(*Glycine max*(L.) Merr.)资源的蛋白质和油脂含量遗传变异曾有大量研究,可概括为 2 个主要方面:(1)按行政省市(区)的资源研究。王文真等^[2]利用近红外线测定 28 个省市(区)的 21 050 份栽培种质蛋白质含量,结果平均值最高为新疆(47.36%),最低为山西(41.12%),但含量高于 50% 的种质从吉林到云南各地都有。林荣辉^[3]分析福建省 189 份春大豆种质的蛋白质含量变幅 41.1%~47.0%,油脂含量变幅 14.4%~23.3%。赵双进等^[4]对河北省 314 个大豆栽培种质测定结果蛋白质含量 36.23%~49.26%,油脂含量 14.42%~24.10%。张礼凤等^[5]对山东省 1 069 份栽培种质分析结果蛋白质 35.4%~49.9%,油脂 12.7%~24.0%。刘萌娟等^[6]对陕西省 1 009 份栽培种质测定结果蛋白质含量 34%~48%,油脂含量 11.4%~22.0%。前人研究结果说明相邻近的省市(区)蛋白质和油脂有相似的变异范围,而相离远的存在差异。(2)按品种生态区的资源研究。全国大豆品种生态区域划分主要有吕世霖等^[7]划分的 3 大品种生态区和盖钧镒等^[8]划分的 6 大品种生态区两种区划。根据吕世霖等的区划,朱志华等^[9]分析了北方与黄淮海生态区栽培种质蛋白质平均含量(40.4%,42.4%)、蛋脂总含量(60.4%,64.3%),两区之间均差异显著,而油脂平均含量(19.97%,19.85%)差异不显著。李

为喜^[10]等分析了 3 个生态区的栽培种质,北方与黄淮海生态区结果与朱志华等的相似,而南方与黄淮海生态区的差异不显著。根据盖钧镒等的区划,郑永战^[11]分析了 6 大生态区的 265 份栽培种质油脂含量,其中 I 区(北方一熟制春作区)平均含量最高(18.81%),III 区(长江中下游二熟制春夏作区)次之(18.02%),其余 4 个生态区平均含量差异不大(16.26%~16.81%)。

另外,也有研究者提出品质生态区划,如胡国华等^[12]将黑龙江省划分 3 大品质生态区,宁海龙等^[13]将东北三省划分为 5 大品质生态区。大豆品质生态区划主要依据近年来大豆育成品种的蛋白质和油脂含量的地点效应和品种效应的加权平均数划分,尚待寻求进一步的科学依据支持。

鉴于前人虽对不同地区种质资源的蛋白质和油脂含量水平和变异范围做了测定,但还未涉及包括野生豆、地方品种和育成品种在内种质资源的整体研究,而且蛋白质和油脂测定方法有的用直接法有的用近红外间接法,结果间可比性差。以原产于我国各个生态区的代表性野生种质、地方品种和育成品种为材料,在同一试验条件和同一直接测定方法下研究自然进化和人工进化对蛋白质含量、油脂含量、蛋脂总含量的影响,分析不同生态区不同类型资源遗传变异的特点,并从中优选特异资源供蛋白质和油脂育种利用。

1 材料与方法

1.1 材料与田间试验

从南京农业大学国家大豆改良中心种质资源库保存的全国大豆种质资源中,抽取各类各地材料 768 份,构成大豆种质资源总体的一个样本。其中中国野生材料 138 份(来自于全国 5 个生态区,见表 1)、地方品种 408 份(来自于全国 6 个生态区)、20 世纪 80 和 90 年代育成品种 145 份(来自于全国 5

个生态区),外国引进的育成品种 77 份。于 2003 ~ 2004 年在南京农业大学江浦试验站进行田间试验,其中,2003 年(6 月 8 日播种)为预备试验,目的在于繁殖试验用种,2004 年为正式试验(6 月 11 日播种)。栽培种质材料完全随机区组设计,2 次重复,3 行区,行长 4 m,行距 0.5 m,条播;野生种质材料穴播,穴距 0.5 m。田间管理与一般大田相似。重复间田间表现相对一致,取其中 1 次重复的种子做蛋白质和油脂含量分析。

对于不同来源地大豆资源的研究一般采用两种方法,其一是对不同来源地的种子材料直接进行分析比较,其优点是能够反映不同生态区域的现实情况,但由于环境差异,不同生态区域之间的结果缺乏可比性,对基因型间的差异不能直接比较;其二是在同一地点对不同来源的材料进行试验,其优点是能够消除大环境差异,分析结果具有相对可比性,可据以估计基因型间的差异,缺点是不能代表各材料的原生境情况,不能考察基因型与环境互作。较为理想的方法是将同一套材料在不同生态区域同时进行试验,既能了解不同基因型的差异,也能探讨基因型与环境的互作,但在大量资源研究时,工作量剧增。研究的第一步是进行同一生态环境试验,在此基础上今后将选用代表性材料进行多生态区试验,以考察多环境下基因型的反应范围。

1.2 蛋白质和油脂含量测定

种子干燥后在河南工业大学大豆精深加工研究所测定供试材料的含水量、蛋白质含量和油脂含量。为保证结果的可比性,采用标准测定方法,不使用近红外法,以免除种皮色的干扰。方法与标准参照我国国家标准(GB. 5511-85)和美国的国家标准(AOAC),每份材料取 20 g 干种子,用样品磨(1095 Knifetec sample mill, Foss Tecator, Sweden)粉碎,取通过 100 目(mesh sieve)筛子的豆粉颗粒为试样(粉)。

1.2.1 样品含水量 分析天平(岛津电子天平 AX120,称量范围为 120 g~0.1 mg,下同)精确称量试样(粉)(≤5 g),置于烘箱中烘干至恒重(即在 105℃时,烘干 3h,下同),计算含水量。

1.2.2 油脂含量 利用自动索氏抽提仪(2050 SOXTEC Auto Extraction Unit, Foss Tecator, Sweden)提取油脂,测定油脂含量。工作参数:抽提温度 75℃,浸泡时间 2.3 h,溶剂回流时间 2.3 h,蒸发溶剂时间 56 min,干燥时间 5 min。

1.2.3 蛋白质含量 常用测定方法有凯氏定氮和近红外线等,因大豆种质的种皮颜色种类繁多差异很大,影响了近红外线测定效果,故利用 Kjeltec 2300 自动凯氏定氮分析仪(Foss Tecator, Sweden)测定蛋白质含量,蛋白质转换系数 6.25,所测定的为全豆(包括种皮在内的种子各部分)蛋白质含量(又称为粗蛋白质含量)。

以上各项测定均作 2 次平行试验,2 次平行试验的误差≤0.1%,取其平均值作为测定值。若 2 次测定差异大于 0.1%,则再做测定,直至平行样间差异小于 0.1%为止,但此种补充测定情况不多。

1.3 数据分析

利用 Excel 2003 软件进行蛋白质、油脂含量和蛋脂总含量的描述性统计分析。参考《试验统计方法》^[14-15],采用 SAS 9.0 GLM 程序进行方差分析, CORR 程序进行相关分析。

2 结果与分析

按照参考文献[8],将 408 份地方品种与 145 育成品种归入 6 个大豆品种生态区,138 份野生大豆归入 5 个生态区(第 6 区无一年生野生大豆)。

2.1 中国大豆种质资源蛋白质含量、油脂含量和蛋脂总含量的变异

2.1.1 蛋白质含量的变异 表 1 表明全国野生豆的蛋白质含量平均 46.0%,变幅 39.2%~54.2%。全国地方品种蛋白质平均含量 45.0%,比野生豆的变幅小且上下限值均降低,这种降低可能与历史上农民的选择有关。育成品种蛋白质平均含量与地方品种几乎相同,为 44.6%,变异范围进一步缩小,变幅上限显著下降,说明数十年来的科学育种并未将提高大豆蛋白质含量作为重要目标。参试国外品种的情况与我国育成品种相比,平均含量更低(41.9%)。表 1 中的变异系数结果,野生豆、地方品种略高于育成品种的变异度,但国外品种的变异度略高。

2.1.2 油脂含量的变异 表 2 表明全国野生豆油脂含量平均 11.1%,变幅 7.5%~17.5%。地方品种油脂平均含量比野生豆提高约 6%,变异范围提高为 11.5%~22.5%,变幅上下限值都提高。说明野生豆栽培化以后,前人的选择朝向提高油脂含量。育成品种油脂含量在地方品种基础上继续提高,平均 19.1%,变异范围进一步扩大为 12.95%~22.9%,下限和上限也随之提高,这是数十年来科学

育种的结果。参试国外品种的情况与我国育成品种相似,平均含量略高(20.6%),选育高油脂品种也是国外的主要育种目标。表2中的变异系数结果,

野生豆的变异度最高、地方品种的显著下降,但略高于育成品种和国外品种。

表1 大豆资源蛋白质含量的次数分布与统计分析

Table 1 Frequency distribution and statistical analysis of protein content in soybean germplasm/%														
材料类型 Material	生态区 Eco-region	组限 Class limit									Σf	变幅 Range	\bar{X}	CV%
		38-40	40-42	42-44	44-46	46-48	48-50	50-52	52-54	54-56				
野生 Wild soybean	I	1	4	5	17	5	4	1			37	39.3-50.2	45.0	5.42
	II	1	6	13	13	6	3				42	39.2-49.6	44.3	5.59
	III			1	2	3	1	4		1	12	43.8-54.2	48.8	5.44
	IV		2	2	5	16	4	2			31	40.7-50.7	46.6	4.88
	V		2	4	6	3	1				16	41.0-48.5	44.8	4.84
	Σ	2	14	25	43	33	13	7		1	138	39.2 -54.2	46.0	5.23
地方 Landrace	I		5	13	26	5	5	1			55	40.9-50.3	44.7	4.60
	II	3	14	24	25	22	9				97	39.1-49.4	44.6	5.60
	III	1	1	9	31	20	5	1			68	39.8-50.1	45.7	4.50
	IV	1	6	22	34	25	8	2			98	39.5-51.0	45.3	5.13
	V		3	10	10	5	3	1			32	40.8-50.6	44.9	5.55
	VI	1	10	8	20	12	6	1			58	38.8-51.5	44.8	5.99
育成 Released cultivar	Σ	6	39	86	146	89	36	6			408	38.8-51.5	45.0	5.25
	I	1	7	11	10	5					34	38.6-47.7	43.7	4.81
	II	6	14	26	27	6	2				81	39.3-49.0	43.5	5.06
	III			1	6	7	4				18	43.6-49.4	46.3	3.89
	IV		1	1	5	3	1				11	41.7-48.8	45.2	4.78
	V				1						1		44.3	
引进 Abroad	Σ	7	22	39	49	21	7				145	41.7-49.4	44.6	4.64
		15	29	19	8	4	2				77	36.9-49.2	41.9	5.73

I:北方一熟春豆生态区;II:黄淮海二熟春夏豆生态区;III:长江中下游二熟春夏生态区;IV:中南多熟春夏秋豆生态区;V:西南高原二熟春夏豆生态区;VI:华南热带多熟四季大豆生态区。VII区无野生种。下同。

I:Northern single cropping,spring planting eco-region;II:Huanghuaihai double cropping,spring and summer planting eco-region;III:Middle and lower Changjiang valley double cropping,spring and summer planting eco-region;IV:Central south multiple cropping,spring,summer and autumn planting eco-region;V:Southwest plateau double cropping ,spring and summer planting eco-region;VI:South China tropical multiple cropping ,all season planting eco-region.No wild soybean existed in Eco-region VII.The same is true for later tables.

2.1.3 蛋脂总含量的变异 表3表明全国野生豆蛋脂总含量平均57.0%,变幅47.3%~64.6%。全国地方品种蛋脂总含量比野生豆有较大幅度提高,平均62.1%,变幅的上下限值提高,但变异范围略有下降。说明野生豆栽培化以后,尽管蛋白质含量下降了约1%但由于油脂含量提高约6%,使蛋脂总含量仍然有较大幅度提高。育成品种蛋脂总含量在地方品种基础上平均值和变异范围的上下限都有了进一步提高,变异范围没有明显变化。参试国外品种的平均含量与我国育成品种相似。表3中的变异系数结果,野生豆的变异度较高、我国的栽培种质和国外品种都很低。

野生豆驯化为栽培豆并经选育后蛋白质含量平均数和变异度有逐步减小的趋势,油脂和蛋脂总含量则相反,说明以往人工进化着重在油脂含量的

改进。

2.2 各生态区域大豆种质资源蛋白质、油脂含量和蛋脂总含量的遗传变异

2.2.1 蛋白质含量的变异 表1显示,各生态区野生豆蛋白质含量变异和全国相似。各个生态区的蛋白质平均含量有较大差异,III区最高(48.8%)、II区最低(44.3%),相差4.5%,含量最高的种质出在III区。各生态区地方品种蛋白质平均含量差异很小(最高与最低仅差1%),比野生种质的差异明显下降,平均含量以长江中下游二熟(III)区的最高(45.7%),最高含量的地方品种出现在VI区(51.5%),I区的地方品种含量变异幅度最小(9.4%),但也远远大于区域平均数之间的差异,说明区域内的变异相当丰富。4个生态区育成品种(VI区只有1个品种参试,V区没有参试品种,以下

性状相同)蛋白质平均含量的情况与全国有一定差异,含量最高区(Ⅲ)比最低区(Ⅱ)高2.7%,这比地方品种的差异大,平均含量以长江中下游二熟(Ⅲ)、中南多熟(Ⅳ)生态区育成品种的较高,最高含量育成品种出现在Ⅲ区(49.4%)。区域内变异(最小为Ⅲ区5.8%)比区域平均间的变异大。

表2 大豆资源油脂含量的次数分布与统计分析

Table 2 Frequency distribution and statistical analysis of fat content in soybean germplasm/%														
材料类型	生态区	组限 Class limit									Σf	变幅	\bar{X}	CV%
Material	Eco-region	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24		Range		
野生 Wild soybean	I	4	18	8	5	2					37	7.5-15.9	10.2	20.54
	II		5	20	12	4	1				42	9.3-17.0	12.0	13.92
	III		1	5	5	1					12	9.9-15.5	12.1	13.98
	IV	4	13	9	4	1					31	7.6-15.9	10.4	19.99
	V	1	8	3	2	1	1				16	7.9-17.5	10.8	24.37
	Σ	9	45	45	28	9	2				138	7.5-17.5	11.1	18.56
地方 Landrace	I			1	1	7	14	18	12	2	55	11.5-22.5	18.2	13.19
	II				6	18	35	30	7	1	97	13.0-22.4	17.3	11.79
	III				1	10	33	22	2		68	12.7-21.0	17.5	9.16
	IV				8	30	42	17	1		98	13.0-20.4	16.5	9.92
	V				1	9	15	6	1		32	13.9-20.6	16.7	9.52
	VI				3	21	25	7	1	1	58	12.8-22.4	16.5	11.12
育成 Released cultivar	Σ			1	20	95	164	100	24	4	408	11.5-22.5	17.2	10.79
	I						2	9	18	5	34	16.6-22.7	20.6	7.28
	II				1	5	14	27	27	7	81	12.9-22.9	19.3	10.88
	III						8	8	2		18	16.6-20.4	18.3	6.56
	IV					1	4	5		1	11	15.7-22.8	18.1	10.18
	V								1		1			
引进 Abroad	Σ				1	6	28	49	48	13	145	12.9-22.9	19.1	8.73
						1	10	11	35	20	77	15.2-22.9	20.6	9.22

表3 大豆资源蛋白总含量的次数分布与统计分析

Table 3 Frequency distribution and statistical analysis of total content of protein and fat in soybean germplasm/%													
材料类型	生态区	组限 Class limit								Σf	变幅	\bar{X}	CV%
Material	Eco-region	45-48	48-51	51-54	54-57	57-60	60-63	63-66	66-69		Range		
野生种 Wild soybean	I	1	2	10	16	4	1	2		36	47.3-64.3	55.2	6.16
	Ⅱ		2	4	21	11	4			42	50.1- 63.0	56.2	5.11
	Ⅲ					5	3	4		12	57.0-64.6	60.9	4.23
	Ⅳ		2	3	11	9	6	1		32	49.3-63.1	57.0	5.63
	V		1	7	2	4	2			16	50.3-63.2	55.6	6.78
	Σ	1	7	24	50	33	16	7		138	47.3-64.6	57.0	5.58
地方品种 Landrace	I					10	16	21	8	55	57.1-68.3	62.9	4.29
	Ⅱ				5	17	42	27	6	97	55.9-68.6	61.9	4.37
	Ⅲ					6	25	29	8	68	57.6-68.4	63.2	3.61
	Ⅳ				3	23	42	27	3	98	55.8-69.0	61.8	4.00
	V				1	5	14	10	2	32	56.6-66.7	61.6	4.37
	Ⅵ				5	12	23	16	2	58	55.6-67.3	61.3	4.45
	Σ				14	73	162	130	29	408	55.6-69.0	62.1	4.25
育成品种 Released cultivar	I						9	18	5	32	60.2-67.4	64.0	2.97
	Ⅱ				1	7	35	31	8	82	56.6-68.6	62.9	4.57
	Ⅲ						5	9	5	19	61.3-68.2	64.8	3.98
	Ⅳ						4	6	1	11	60.1-66.6	63.3	5.07
	Ⅵ								1	1			
	Σ				1	7	53	65	19	145	56.6-68.6	63.7	4.15
外国 Abroad					1	3	40	33		77	56.3-65.5	62.7	2.71

2.2.2 油脂含量的变异 表2显示,各生态区野生豆油脂平均含量和全国的差异不大,生态区之间最高与最低相差1.7%,以Ⅱ和Ⅲ区较高,最高的油脂含量出在Ⅴ区(17.5%)。各生态区地方品种油脂平均含量的最大差异为1.8%,以北方一熟春豆生态区(I)的较高,最高含量出现在Ⅰ区(22.5%),区域内变异最小的Ⅳ区变幅为7.4%,远远大于区域平均间的差异。各生态区育成品种油脂平均含量最大差异为2.5%,大于地方品种的区域间差异,区域内变异最小的Ⅲ区变幅为3.8%,说明区域内的变异比区域平均间的大,但区域内变异幅度比地方品种略有下降。以北方一熟春豆生态区(I)育成品种的较高,最高含量出现在Ⅱ区(22.9%)。

2.2.3 蛋脂总含量的变异 表3显示,全国和各生态区野生豆蛋脂总含量次数分布相似,区域间平均含量最大差异为5.7%,Ⅲ区内的变异幅度最小为7.5%,仍比区域平均间的差异大,平均含量以Ⅲ区最高,最高的蛋脂总含量出在Ⅲ区(64.3%)。各生态区地方品种蛋脂总含量次数分布的情况与全国相似,各生态区之间的平均含量最大差异为1.9%,比野生种质的差异明显降低。平均含量以长江中下游二熟(Ⅲ)生态区地方品种的最高,最高含量出现在Ⅳ区(69.0%),区域内变异最小的Ⅴ区其变幅为10.1%,大于区域平均间的差异。全国和各生态区育成品种蛋脂总含量次数分布与地方品种相同,生态区之间平均含量最大差异为1.9%,与地方品种的区域间差异相同,平均含量以长江中下游二熟(Ⅲ)生态区地方品种的最高,最高含量出现在Ⅱ区(68.6%),区域内变异最小的Ⅳ区变幅为6.5%,说明区域内的变异比区域平均间的变异大,但比地方品种的变异幅度下降。

综上,三个性状各群体在各生态区内均有较大变异,区平均间差异较小,各区都有优良变异,Ⅲ区野生豆蛋白质含量、Ⅰ区育成品种油脂含量、Ⅲ区育成品种蛋脂总含量出现最高材料。

2.3 蛋白质和油脂含量有关的相关分析

2.3.1 蛋白质和油脂含量与地理纬度的相关 鉴于以上区域间有一些趋势性变异的情况,分析了大豆种质蛋白质、油脂含量和蛋脂总含量与种质来源地纬度的相关性(表4)。野生豆(25.60°~48.81°N)蛋白质、油脂含量和蛋脂总含量与纬度未发现显著相关性;而地方品种(18.25°~58.63°N)油脂含量与纬度呈极显著正相关(相关系数 $r=0.289$,

下同),蛋白质和蛋脂总含量与纬度均未见显著相关性;育成品种的蛋白质含量与纬度呈极显著负相关($r=-0.265$),油脂含量与纬度呈极显著正相关($r=0.366$),蛋脂总含量与纬度无显著相关性。说明自然条件下大豆蛋白质、油脂含量和蛋脂总含量与来源地的地理纬度不存在相关性,但随着农家对油脂含量的选择形成了区域间的差异,因而地方品种出现有正相关。从地方品种到育成品种,伴随人们,尤其北方地区,对油脂含量选择强度的加大而使油脂和地理纬度间的正相关程度增强,并导致了蛋白质含量与地理纬度间的显著负相关。

表4 蛋白质和油脂含量有关的相关分析
Table 4 Correlation analysis related with protein and fat content

材料类型 Material	性状 Trait	纬度 Latitude	蛋白质 Protein	油脂 Fat
野生种 Wild	蛋白质 Protein	-0.181		0.019
	油脂 Fat	-0.025		
soybean	蛋脂总含量 PF	-0.157	0.791 **	0.627 **
地方品种 Landrace	蛋白质 Protein	-0.059		-0.245 **
	油脂 Fat	0.289 **		
育成品种 Released cultivar	蛋脂总含量 PF	0.161	0.704 **	0.518 **
	蛋白质 Protein	-0.265 **		-0.431 **
	油脂 Fat	0.366 **		
	蛋脂总含量 PF	0.065	0.596 **	0.473 **

* 表示相关显著($P < 0.05$); ** 表示相关极显著($P < 0.01$)。
纬度范围:野生种 25.60°N~48.81°N,栽培种 18.25°N~58.63°N。

* denotes significant at $P \leq 0.05$; ** denotes significant at $P \leq 0.01$. The range of latitude are 25.60°N-48.81°N for wild soybean and 18.25°N-58.63°N for landrace and released cultivar. PF = Total content of protein and fat.

2.3.2 蛋白质含量和油脂含量的相关 对蛋白质、油脂含量的相关性分析表明(表4),蛋白质、油脂含量之间在野生豆中无显著的相关性,地方品种中有极显著的负相关($r=-0.245$),在育成品种中负相关程度更强($r=-0.431$),这可能是人们的选择使油脂含量不断提高(野生豆11.1%,地方品种17.2%,育成品种19.1%),导致了蛋白质含量下降的结果(野生豆46.0%,地方品种45.0%,育成品种44.6%)。

3 讨论

3.1 关于大豆蛋白质含量和油脂含量的自然变异与人工进化

研究发现全国与各生态区野生豆蛋白质和蛋脂总含量的变异大于地方品种和育成品种,说明大豆驯化为栽培种的初衷是利用其蛋白质,农家后续的

选择使油脂含量得到很大提高。野生豆的种子很小,百粒重为1~3 g,少数4~6 g,最高的不到9 g。相关分析结果种子大小与蛋白质含量及蛋脂总含量显著相关,但相关系数很低($r=0.147,r=0.128$),而与油脂含量显著相关,相关系数较高($r=0.731$)。因而前人在增大种子的选育过程中同时主要地增加了油脂的含量。

3.2 关于大豆驯化后蛋白质含量、油脂含量和蛋脂总含量的遗传变异

大豆驯化后全国和各生态区地方品种蛋白质和蛋脂总含量的变异发生较大变化,变异范围小幅度下降,蛋白质平均含量下降,油脂含量的变异范围扩大,平均值和上下限都较大幅度提高。造成这些变异的原因除了与人们的直接选择有关外,也可能与种子百粒重增大的相关选择效应有关。但近代育成品种的蛋白质含量、蛋脂总含量的变异幅度进一步缩小,蛋白质平均含量下降,油脂含量的变异范围继续扩大(12.9%~22.9%),平均值和上下限也都有提高。这说明近代大豆育种突出了对油脂含量的改良,也开始注意对蛋白质含量的改良;而历代农家留种的方向多种多样,其中包含蛋白质、蛋脂总含量方面的长期积累,因而形成了地方品种的大幅度变异。各地区人工选择的多方向性和长期累积导致了各地区蛋白质、油脂含量和蛋脂总含量的大幅度变异和地区间的相似性(油脂含量与地理区域的微弱相关性)。

3.3 关于蛋白质、油脂含量与来源地纬度相关性和品质区划的意义

野生豆的蛋白质含量与来源地纬度相关不显著,这与王文真^[1]的结论一致;油脂含量与来源地纬度相关也不显著,本研究中在全国不同纬度上野生豆蛋白质或油脂含量有相似的变异范围,各地均存在蛋白质或油脂含量高的野生豆,自然状态下全国不存在明显的野生豆高品质区域或低品质区域。

野生豆驯化后在人工进化的作用下改变了相关关系。郑永战^[13]由油脂含量的这种关系提出了对大豆品质生态区划科学性的质疑。结果显示,从野生豆到地方品种到育成品种出现了蛋白质含量与纬度负相关显著性(与王文真^[2]的结论一致)和油脂含量与纬度正相关显著性不断加强的趋势(与郑永战^[13]的结果一致)。显然,这种相关关系是驯化后人工选择的结果。品质的区域性是相对的,在高纬度地区仍然有高蛋白种质、低纬度地区仍然有高油

脂种质^[2-3,13],通过人工选择,在南方地区同样可以选育出高油脂品种,如在IV区最高含量为22.8%,与北方的I和II区相似。因而目前提出的品质生态区划所依据的生态因子并非与地理条件有关的自然因子,而仅是人工选择因子,若不明确这一点,便可能会误导而束缚一些地区品质育种的开展。

4 结论

在南京同一环境下全国野生豆蛋白质含量、油脂含量和蛋脂总含量变幅分别为39.2%~54.2%、7.5%~17.5%和47.3%~64.6%,地方品种38.8%~51.5%、11.5%~22.5%和55.6%~69.0%,国内育成品种41.7%~49.4%、12.9%~22.9%和55.6%~68.6%,野生豆驯化为栽培豆并经人工选育后油脂含量和蛋脂总含量有大幅增加,而蛋白质含量平均数和变异度则有减小,说明以往人工进化着重在油脂含量的改进。三个性状各群体在各生态区内均有较大变异,区平均间差异并不大,但各区都有优良变异。野生豆蛋白质含量、油脂含量和蛋脂总含量与地理纬度并未发现相关;栽培豆地方品种和育成品种的油脂含量与地理纬度出现显著正相关;育成品种蛋白质含量与地理纬度还出现显著负相关;野生自然状态下蛋白质含量和油脂含量之间无相关,而栽培豆地方品种和育成品种依次增强了负相关;形成这种相关的原因在于地区间油脂含量人工进化程度的差异。

参考文献

[1] 李福山. 中国野生大豆资源的地理分布及生态分化研究[J]. 中国农业科学,1993,26(2):47-55. (Li F S. Study on the ecological and geographical distribution of the Chinese resources of wild soybean (*G. Soja*) [J]. Agricultural Sciences in China,1993,26(2):47-55.)

[2] 王文真,刘兴媛,曹永生,等. 中国大豆种质资源的蛋白质含量研究[J]. 作物品种资源,1998,1:35-36. (Wang W Z, Liu X Y, Cao Y S, et al. Study on protein content of cultivar resources in China [J]. Crop Cultivar Resource,1998,1:35-36.)

[3] 林荣挥. 福建省春大豆种质资源蛋白质和油脂后来的研究[J]. 福建农业学报,2001,16(3):13-15. (Lin R H. Protein and fat content of spring soybean germplasm in Fujian province [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences,2001,16(3):13-15.)

[4] 赵双进,张孟臣,刘兵强,等. 河北省大豆种质资源蛋白质和油脂含量的初步分析[J]. 河北农业科学,2004,8(3):47-49. (Zhao S J, Zhang M C, Liu B Q, et al. Preliminary analysis on protein and oil contents of soybean produced in Hebei Province [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences,2004,8(3):47-49.)

- [5] 张礼凤,李伟,徐冉,等. 山东省大豆种质资源农艺性状和品质分析[J]. 华北农学报,2006,21(增刊):133-136. (Zhang L F, Li W, Xu R, et al. Analysis of agronomic characters and quality of soybean germplasm resources in Shandong Province[J]. Acta agricultural Boreali-Sinica, 2006, 21(Supplement): 133-136.)
- [6] 刘萌萌,翟亚萍,李鸣雷. 陕西省大豆种质资源蛋白质和油脂含量的研究[J]. 大豆科学,2007,26(4):533-537. (Liu M J, Zhai Y P, Li M L. A study on protein and fat contents of Shanxi soybean accessions [J]. Soybean Science, 2007, 26(4): 533-537.)
- [7] 吕世霖,程舜华,程创基. 中国大豆种植区域划分的研究[J]. 山西农业大学学报,1981,1(1):9-17. (Lu S L, Cheng S H, Cheng C J. A Study on the classification of soybean cultivation region in China[J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 1981, 1(1): 9-17.)
- [8] 盖钧镒,汪越胜. 中国大豆品种生态区域划分的研究[J]. 中国农业科学,2001,34(2):139-145. (Gai J Y, Wang Y S. A study on the varietal eco-regions of soybeans in China[J]. Agricultural Sciences in China, 2001, 34(2): 139-145.)
- [9] 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. (Zhu Z H, Li W X, Liu S C, et al. Investigation on quality characters of soybean (*Glycine max*) varieties and germplasm grown in 2002[J]. Journal of Plant Genetic Resource, 2003, 4(2): 157-161.)
- [10] 李为喜,朱志华,刘三才,等. 中国大豆(*Glycine max*)品种及种质资源主要品质状况分析[J]. 植物遗传资源学报,2004,5(2):185-192. (Li W X, Zhu Z H, Liu S C, et al. Quality characters of Chinese soybean(*Glycine max*) varieties and germplasm resources[J]. Journal of Plant Genetic Resource, 2004, 5(2): 185-192.)
- [11] 郑永战. 中国大豆种质资源油脂性状的变异、遗传和 QTL 定位研究[D]. 南京:南京农业大学,2006. (Zhang Y Z. Variability, inheritance, and QTL mapping of fatty traits in Chinese germplasm of soybean[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2006.)
- [12] 胡国华,陈庆山,张锡铭. 黑龙江省大豆品质区划的探讨[J]. 大豆科学,2006,25(2):118-122. (Hu G H, Chen Q S, Zhang X M. Discussing of soybean quality regionalization in Heilongjiang [J]. Soybean Science, 2006, 25(2): 118-122.)
- [13] 宁海龙,张大勇,胡国华,等. 东北地区大豆(*G. Max* Merr.)大豆蛋白质和油脂含量区划[J]. 大豆科学. 2007,26(4):511-516. (Ning H L, Zhang D Y, Hu G H, et al. Regionization of protein and oil content in soybean (*G. Max* Merr.) in the Northeast of China[J]. Soybean Science, 2007, 26(4): 511-516.)
- [14] 盖钧镒. 试验统计方法[M]. 北京:农业出版社. 2000:99-143. (Gai J Y. Methods of experimental statistics[M]. Beijing: Agricultural Press, 2000: 99-143.)
- [15] 盖钧镒. 植物种质群体遗传结构改变的测度[J]. 植物遗传资源学报,2005,6(1):1-8. (Gai J Y. Indicators related to genetic structure changes of plant germplasm population[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2005, 6(1): 1-8.)
- ~~~~~
- (上接第 565 页)
- [20] Lincoln S E, Lander S L. Mapmaker/exp 3. 0b and Mapmaker/QTL 1. 1 [CP]. Whitehead Institute of Medical Research, Cambridge, Massachusetts, 1993.
- [21] Ooijen J W V, Voorrips R E. Joinmap: Software for the calculation of genetic linkage maps[CP]. Plant Research International, Wageningen, the Netherlands, 2001.
- [22] 吕祝章. 大豆遗传图谱构建、重要农艺性状 QTL 定位及优异基因发掘[D]. 泰安:山东农业大学,2006. (Lü Z Z. Construction of soybean genetic map, QTL mapping of agronomic traits, and identification on excellent gene[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2006.)
- [23] Mansur L M, Orf J H, Chase K. Genetic mapping of agronomic traits using recombinant inbred lines of soybean[J]. Crop Science, 1996, 36: 1327-1336.
- [24] 王春娥,盖钧镒,傅三雄,等. 大豆豆腐和豆乳得率的遗传分析与 QTL 定位[J]. 中国农业科学,2008,41(05):1274-1282. (Wang C E, Gai J Y, Fu S X, et al. Inheritance and QTL mapping of Tofu and soymilk output in soybean[J]. Scientia Agricultura Sinica. 2008, 41(5): 1274-1282.)
- [25] 张红梅,周斌,赵团结,等. 大豆重组自交系群体 NJRISX 豆腐和豆乳得率的 QTL 分析[J]. 作物学报,2008,34(1):67-75. (Zhang H M, Zhou B, Zhao T J, et al. QTL mapping of Tofu and soymilk output in RIL population NJRISX of soybean [J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(1): 67-75.)
- [26] 文自翔,赵团结,郑永战,等. 中国栽培和野生大豆农艺品质性状与 SSR 标记的关联分析[J]. 作物学报,2008,34(7):1169-1178. (Wen Z X, Zhao T J, Zheng Y Z, et al. Association analysis of agronomic and quality traits with SSR markers in *Glycine max* and *Glycine soja* in China: I. population structure and associated markers [J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(7): 1169-1178.)
- [27] 张军,赵团结,盖钧镒. 大豆育成品种农艺性状 QTL 与 SSR 标记的关联分析[J]. 作物学报,2008,34(12):2059-2069. (Zhang J, Zhao T J, Gai J Y. Association analysis of agronomic trait QTLs with SSR markers in released soybean cultivars[J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(12): 2059-2069.)