

# 大豆蛋白质和油分含量遗传研究进展

曹永强, 宋书宏, 董丽杰

(辽宁省农业科学院 作物研究所, 辽宁 沈阳 110161)

**摘要:** 蛋白质和油分含量是大豆 2 个重要品质性状, 其遗传研究对大豆品质改良尤为重要。该文从表型遗传分离规律、基因遗传模型、基因作用方式、遗传相关、遗传力及 QTL 定位等方面, 概括了大豆蛋白质、油分含量的遗传研究进展。并提出利用野生大豆资源研究大豆蛋白质和油分含量遗传机理, 为大豆品质改良提供理论参考。

**关键词:** 大豆; 蛋白质; 油分; 遗传

**中图分类号:** S565.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-9841(2012)02-0316-04

## Research Progress on Heredity of Protein and Oil Content in Soybean

CAO Yong-qiang, SONG Shu-hong, DONG Li-jie

(Crop Institute of Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, Liaoning, China)

**Abstract:** Protein and oil content are two important quality characters of soybean. Genetic research is very important to soybean quality improvement. The research progress on heredity of protein and oil content were summarized in this paper, through analyzing the phenotype segregation, genetic model, genes effecting pattern, heredity correlation, heritability and QTL mapping. Furthermore, wild soybean was proposed to be used in researching on heredity of soybean quality characters.

**Key words:** Soybean; Protein content; Oil content; Heredity

大豆是世界上重要农作物之一, 其籽粒蛋白质含量约为 40%, 油分含量约为 20%, 是人类植物蛋白和脂肪的主要来源。大豆蛋白质和油分含量属数量性状, 受多基因控制, 其性状表现是基因型与环境共同作用的结果。大豆蛋白质和油分的遗传研究已经从杂交后代的表型分离规律、基因数量与作用方式等向着分子遗传学发展, 在相应的基础研究方面取得了丰富成果, 已定位到与蛋白质含量和油分含量相关的 QTL 200 多个, 为大豆优质育种奠定了良好基础。

### 1 大豆蛋白质含量遗传研究进展

#### 1.1 大豆蛋白质含量的遗传分离

Weber 对野生大豆与栽培大豆杂交后代蛋白质含量的遗传进行研究发现,  $F_1$  和  $F_2$  代群体平均蛋白质含量倾向于野生大豆的高蛋白含量, 并分离出高蛋白的超亲个体<sup>[1]</sup>。东北农业大学 1985 年用春大豆区不同地点的野生大豆与栽培大豆杂交, 12 个组合的  $F_1$  代蛋白质含量与中亲值差异不显著, 后代群体中超亲现象普遍存在。大豆品种间杂交,  $F_1$  代蛋白质含量表现为中间型遗传或倾向于高蛋白亲

本<sup>[2-3]</sup>。但其遗传是否具有母本效应, 不同的研究结果不尽一致<sup>[2,4]</sup>。品种间杂交后代蛋白质含量的变异与双亲关系密切, 双亲蛋白质含量差异大,  $F_2$  代蛋白质含量变异程度也大; 双亲蛋白质含量高,  $F_2$  代蛋白质含量高<sup>[4]</sup>。蛋白质含量总的遗传变异趋势是: 组间 > 家系间 > 家系内单株间<sup>[5]</sup>。

#### 1.2 控制大豆蛋白质含量的基因数量和作用方式

大豆品种间杂交, 蛋白质含量的遗传一般表现为数量性状遗传, 受微效多基因控制, 加性效应明显,  $F_2$  明显分离<sup>[6]</sup>。Weber<sup>[1]</sup> 认为有 3 个基因控制蛋白质遗传。关于蛋白质含量的遗传模型, 不同的研究结果有所不同, 刘顺湖等<sup>[7]</sup> 采用科丰 1 号 × 南农 1138-2 衍生的重组自交家系群体 (RIKY) 和 (Essex × 兴县灰布支) × 兴县灰布支回交自交衍生群体 (BIEX) 为材料进行研究, 认为大豆蛋白质含量的遗传符合 1 对主基因 + 多基因遗传模型, 主基因和多基因遗传率分别为 31.3% ~ 40.9% 和 37.2% ~ 53.7%; 姜振峰<sup>[8]</sup> 通过对 charleston 和东农 594 及其 147 个  $F_{2:12}$  ~  $F_{2:14}$  代重组自交系的 3 a 3 点试验研究认为, 大豆蛋白含量遗传主要为 2 对主基因 + 多基因遗传模型, 但也有多基因遗传模型, 并且存在

收稿日期: 2011-10-12

基金项目: 辽宁省科技攻关项目 (2008201005)。

第一作者简介: 曹永强 (1977-), 男, 硕士, 副研究员, 从事大豆遗传育种工作。E-mail: yongqiangcao@hotmail.com。

通讯作者: 宋书宏 (1964-) 男, 博士, 研究员, 从事大豆遗传育种工作。E-mail: sshun@163.com。

基因间加性效应和上位性效应。

### 1.3 大豆蛋白质含量的遗传相关及与环境互作

在杂交后代中蛋白质含量与产量等性状存在一定关系<sup>[9]</sup>。品种间杂交,蛋白质含量与产量呈负相关,与籽粒大小、生育期及其它农艺性状的遗传相关,不同学者的研究结果各异,主要和选材有关,还没有一种固定的间接选育模式<sup>[3,6]</sup>。大豆蛋白质含量在品种间杂交  $F_2$ 、 $F_3$  代具有较高的遗传力<sup>[2,10]</sup>,高于产量、产量相关性状及油分含量等性状,且随世代的递增而增加,但不同材料、环境、年份间,遗传力存在一定差异。大豆品种间杂交后代在不同环境条件下蛋白质含量存在加性效应、显性效应,还有与环境的互作效应<sup>[11]</sup>。

### 1.4 大豆蛋白质含量的 QTL 定位

国内外关于大豆蛋白质含量的 QTL 定位研究成果显著,国家大豆改良中心综合分析、发现和验证了大豆蛋白质含量等品质性状的一些重要 QTL。到目前,国内外学者已累计定位到与蛋白质含量相关的 QTL 70 余个。

1992 年, Diers 等<sup>[12]</sup> 利用栽培大豆与野生大豆杂交,对 60 个  $F_{2:3}$  单株的蛋白质和油分含量进行 RFLP 分析,发现 8 个与蛋白质含量相关的 QTL,解释了 12.0% ~ 42.0% 的表型变异。Lee<sup>[13]</sup> 等可研究发现了 8 个与蛋白质含量相关的 QTL,可解释 10.0% ~ 14.2% 的变异。Brummer 等<sup>[14]</sup> 对 8 个不同的  $F_2$  衍生群体研究,发现 12 个 RFLP 标记与蛋白质含量的 QTL 相关显著。Orf 等<sup>[15]</sup> 在 4 个连锁群上检测到 5 个控制蛋白质含量的主效 QTL。Hyten 等<sup>[16]</sup> 发现了 6 个与蛋白质含量相关的 QTL。

在我国,吴晓雷等<sup>[17]</sup> 对科丰 1 号 × 南农 1138-2 的 201 株重组自交系进行研究,检测到 3 个蛋白质含量的 QTL,分别位于 B1、B2 和 W 连锁群上,可解释 6.2% ~ 12.0% 的变异。张忠臣等<sup>[18]</sup> 检测到与蛋白含量相关的 2 个 QTL 分别位于 E 和 N 连锁群上。杨喆等<sup>[19-20]</sup> 利用品种间杂交后代群体,分别在 D1a + Q、LG19 连锁群定位到 1 个决定蛋白质含量的 QTL,遗传贡献率分别为 9.8%、32.7%。Zhang 等<sup>[21]</sup> 利用 RIL 群体定位到 1 个蛋白质含量相关的 QTL,解释 12.4% 的表型变异<sup>[21]</sup>。宛煜嵩<sup>[22]</sup> 定位到 3 个控制蛋白质含量的 QTL。陈庆山等<sup>[23]</sup> 利用 2 a 3 点的数据,确定了与蛋白质含量有关的 5 个 QTL 位点,位于 GM8-D1b、GM10-E、GM19-N 和 GM20-O 4 条连锁群上。单大鹏等<sup>[24]</sup> 通过连续 5 a 的大豆蛋白质含量 QTL 定位研究,共检测到 10 个控制蛋白质含量的 QTL<sup>[24]</sup>;林延慧等<sup>[25]</sup> 在济南和冠县试验点对同一品种间杂交组合  $F_2$  代进行了 SSR 分子标记,分别定位到 3 个和 1 个与蛋白质含量有关的 QTL,遗传解释率为 2.0% ~ 14.0%;姚丹等<sup>[26]</sup> 定位到了 5 个蛋白质含量 QTL,其中 3 个可归

为同一 QTL。姜振峰<sup>[8]</sup> 检测到 23 个控制大豆蛋白质含量的 QTL,分布在 14 个不同的连锁群。Liang 等<sup>[27]</sup> 对栽培大豆与半野生大豆杂交后代群体进行部分品质性状 QTL 定位,定位到 6 个与蛋白质含量相关的 QTL。

## 2 大豆油分含量遗传研究进展

### 2.1 大豆油分含量的遗传分离、遗传相关及遗传力

大豆种间杂交  $F_1$  代油分含量近于双亲平均值,  $F_2$  代分离范围在双亲之间,呈常态分布<sup>[1]</sup>。大豆品种间杂交  $F_1$  代油分含量遗传与种间杂交基本一致,即接近于双亲平均值,分离范围介于双亲之间。也有研究者得出  $F_1$  代就有较高比例的超亲个体,  $F_2$  代正向超亲个体占 15.7%, 双亲油分含量在 19.0% ~ 21.0%,  $F_2$  超亲率高,而双亲油分含量在 20.0% ~ 22.0%, 超亲率低<sup>[6]</sup>。油分含量的遗传是否有母体效应,尚无定论。孟凡钢等<sup>[28-30]</sup> 连续对大豆品种间杂交后代  $F_2$ 、 $F_3$  和  $F_4$  油分含量的遗传变异进行研究,发现双亲差异越大,后代的变异也相应越大,双亲油分含量均高,而成熟期差异较大,后代出现高油分含量的材料几率高,后代的油分含量与父母本、双亲中值及双亲差值具有一定的相关性。而且通过测交进行选择可以有效改良后代油分含量<sup>[31]</sup>。多数学者研究表明,大豆杂交后代油分含量与产量呈正相关,与蛋白质含量呈显著负相关。品种间杂交油分含量遗传力属中等大小,亲本差异大时,遗传力大些,同时,受环境因素影响也较大<sup>[6,32-33]</sup>。

### 2.2 控制大豆油分含量的基因数量和作用方式

油分含量的基因作用方式,早期研究认为以加性效应为主,也有一定的显性效应和上位效应<sup>[3,6]</sup>。郑永战等<sup>[34]</sup> 对品种间杂交  $BC_1F_3$  家系进行单年单点试验,结果发现大豆油分含量受 2 对加性互补主基因 + 多基因控制,主基因遗传率为 16.2%,多基因遗传率为 53.5%。姜振峰<sup>[8]</sup> 采用中美品种间杂交所获得的 RIL(147 个)群体进行了 3 a 3 点的遗传分析,结果表明,大豆油分含量遗传较复杂,既有多基因遗传模型、也有 2 个主基因 + 多基因遗传模型、还有 3 个主基因遗传模型,主基因遗传率在各点各年均低于多基因遗传率,说明多基因贡献对大豆油分含量具有重要作用。

### 2.3 大豆油分含量的 QTL 定位

近年来,各国学者已累计定位到 120 多个与油分含量相关的 QTL。Diers 等<sup>[12]</sup> 进行的种间杂交试验研究,发现了 9 个与油分含量相关的 QTL,可解释 10.0% ~ 13.8% 的表型变异。Brummer 等<sup>[14]</sup> 发现 11 个 RFLP 标记与油分含量的 QTL 相关显著。Orf 等<sup>[15]</sup> 在 4 个连锁群上检测到 6 个控制油分含量的主效 QTL。Hyten 等<sup>[16]</sup> 发现了 13 个与油分含量相关的 QTL。吴晓雷等<sup>[17]</sup> 在 B2 和 M 连锁群上检测

到2个控制油分含量的QTL,其中位于M连锁群上的表型变异解释率高达23.7%。张忠臣等<sup>[18]</sup>检测到控制油分的4个QTL分别位于D2、F和N连锁群上,表现为负的加性效应。杨喆等<sup>[35]</sup>在F连锁群上定位到1个油分含量的QTL,遗传贡献率为23.2%。徐鹏等<sup>[36]</sup>发现控制油分的QTL位于wt-11连锁群的satt331附近。薛永国等<sup>[37]</sup>对1个高代重组自交系群体研究,发现了1个油分含量QTL。陈庆山等<sup>[23]</sup>确定了与油分含量有关的4个QTL位点,位于GM4-B2、GM7-D1a和GM19-N3条连锁群上。姜振峰<sup>[8]</sup>检测到39个控制油分含量QTL,位于16个连锁群上。Liang等<sup>[27]</sup>对栽培大豆与半野生大豆杂交后代群体进行QTL定位,定位到11个与油分含量相关的QTL。同时,大豆油分含量的QTL定位受环境影响明显<sup>[8]</sup>。国外关于大豆油分含量QTL定位,一般要进行多年多点试验<sup>[38-40]</sup>,获得的标记重复性和可靠性要好于国内相关研究结果。

#### 4 展望

关于大豆蛋白质和油分含量的遗传研究取得了很大进展,形成了较为全面系统的遗传理论体系,但大多是以品种间杂交后代群体为研究对象,对种间杂交后代群体的遗传研究较少,同时,国内相关研究在试验的组合数量、后代群体大小、环境因素(年际、地点)等方面与国外研究还有一定差距。我国是大豆的起源地,野生大豆资源十分丰富,老一辈育种家已有利用野生大豆与栽培大豆杂交育成优质品种的成功先例<sup>[41-42]</sup>,克服了大豆遗传基础狭窄问题<sup>[43]</sup>,为利用野生大豆资源创制优质新材料、新品种指明了方向。

一年生野生大豆是栽培大豆的近缘野生种,具有高蛋白、多荚多粒、抗病、抗逆等诸多优良特性,是宝贵的遗传资源,利用野生大豆或含有野生血缘的中间试材与栽培大豆进行基因重组,是大豆品种创新和改良的有效途径。因此,有必要对大豆种间杂交后代蛋白质和油分含量进行深入的遗传研究,通过多组合和多年多点的试验,探索其遗传规律和基因位点,阐明环境对性状遗传的互作效应,进而为利用野生大豆资源进行大豆杂交育种提供理论参考,改进品质育种技术策略和方法,解决大豆遗传改良中的基因瓶颈问题,拓宽遗传基础,提高育种效率。

#### 参考文献

[1] Weber C R. Inheritance and interrelation of some agronomic and chemical characters in an interspecific cross in soybeans *G. max* × *G. ussuriensis* [J]. Towa Agricultural Experiment Research Bulletin, 1950, 374: 767-816.  
 [2] 胡明祥,于德洋,孟祥勋,等. 大豆杂种后代籽粒蛋白质含量遗传研究[J]. 中国农业科学, 1984, 17(6): 40-44. (Hu M X, Yu D Y, Meng X X, et al. Genetic studies on seed protein content of hybrid progenies in soybean [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1984, 17(6): 40-44.)

[3] 陈恒鹤. 大豆蛋白质、脂肪含量及其农艺性状遗传规律的轮回分析[J]. 中国农业科学, 1987, 20(1): 32-38. (Cheng H H. Diallel analysis on some genetic parameters of protein and oil contents in soybeans [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1987, 20(1): 32-38.)  
 [4] 王新风,富健,孟凡刚,等. 大豆高蛋白组合杂交后代的蛋白质含量遗传研究—杂种F<sub>2</sub>代蛋白质含量与亲本的相关性分析[J]. 作物研究, 2007(3): 165-166. (Wang X F, Fu J, Meng F G, et al. Genetic studies on protein content of hybrid progenies in high protein soybean crosses—correlation of protein content between hybrid progenies and parents at F<sub>2</sub> [J]. Crop Research, 2007(3): 165-166.)  
 [5] 陈新,朱成松,顾和平,等. 大豆蛋白质含量遗传变异特点及早代选择效果的研究[J]. 大豆科学, 1997, 16(4): 328-333. (Chen X, Zhu C S, Gu H P, et al. Genetic variability of protein content and its selection efficiency in the early generations of soybean crosses [J]. Soybean Science, 1997, 16(4): 328-333.)  
 [6] 刘丽君. 中国东北优质大豆[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社, 2007. (Liu L J. High quality soybean in northeast of China [M]. Harbin: Heilongjiang Science Technology Press, 2007.)  
 [7] 刘顺湖,周瑞宝,盖钧镒. 大豆蛋白质有关性状遗传的分离分析[J]. 作物学报, 2009, 35(11): 1958-1966. (Liu S H, Zhou R B, Gai J Y. Segregation analysis for inheritance of protein related traits in soybean [*Glycine max* (L.) Merr. ] [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(11): 1958-1966.)  
 [8] 姜振峰. 大豆油分和蛋白质含量遗传效应及与环境互作效应QTL分析[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2010. (Jiang Z F. QTL analysis on the genetic effect and their environmental interactions of oil and protein content in soybean [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2010.)  
 [9] Xin H Y, Tony J V. Relationships of isoflavone, oil, and protein in seed with yield of soybean [J]. Agronomy Journal, 2005, 97: 1314-1321.  
 [10] 张君,王丕武,闫冬生,等. 大豆不同杂交组合农艺和品质性状的遗传分析[J]. 大豆科学, 2009, 28(6): 994-999. (Zhang J, Wang P W, Yan D S, et al. Genetic analysis on agronomic and quality traits in different soybean combinations [J]. Soybean Science, 2009, 28(6): 994-999.)  
 [11] 宁海龙,李文霞,李文滨,等. 不同环境条件下大豆籽粒蛋白质和油分含量与指数的遗传效应分析[J]. 作物学报, 2005, 31(7): 948-951. (Ning H L, Li W X, Li W B, et al. Analysis of genetic effects on contents and indexed of protein and oil in soybean seeds in different environments [J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(7): 948-951.)  
 [12] Diers B W. RFLP analysis of soybean seed protein and oil content [J]. Theoretical Applied Genetics, 1992, 83: 608-612.  
 [13] Lee S H, Bailey M A, Mian M A R, et al. RFLP loci associated with soybean seed Protein and oil content across populations and locations [J]. Theoretical Applied Genetics, 1996, 93: 649-657.  
 [14] Brummer E C, Graef G L, Orf J, et al. Mapping QTL for seed protein and oil content in eight soybean populations [J]. Crop Science, 1997, 37: 370-378.  
 [15] Orf J H, Chase K, Jarvik T, et al. Genetics of soybean agronomic traits: I. comparisons of three related recombinant inbred populations [J]. Crop Science, 1999, 39: 1642-1651.  
 [16] Hyten D L, Pantalone V R, Sams C E, et al. Seed quality QTL in a

- prominent soybean population[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2004, 109: 552-561.
- [17] 吴晓雷,王永军,贺超英,等. 大豆重要农艺性状的 QTL 分析[J]. 遗传学报, 2001, 28(10): 947-955. (Wu X L, Wang Y J, He C Y, et al. QTLs mapping of some agronomic traits of soybean[J]. Acta Genetica Sinica, 2001, 28(10): 947-955.)
- [18] 张忠臣,战秀玲,陈庆山,等. 大豆油分和蛋白性状的基因定位[J]. 大豆科学, 2004, 23(2): 81-85. (Zhang Z C, Zhan X L, Chen Q S, et al. QTL mapping of seed oil and protein content of soybean[J]. Soybean Science, 2004, 23(2): 81-85.)
- [19] 杨喆,关荣霞,王跃强,等. 大豆遗传图谱的构建和若干农艺性状的 QTL 定位分析[J]. 植物遗传资源学报, 2004, 5(4): 309-314. (Yang Z, Guan R X, Wang Y Q, et al. Construction of genetic map and QTL analysis for some agronomic traits in soybean[J]. Journal of Plant Genetic Resource, 2004, 5(4): 309-314.)
- [20] 杨喆,刘丽君,高明杰,等. 大豆高蛋白基因分子标记及其在大豆育种中的应用[J]. 大豆科学, 2008, 27(2): 186-189. (Yang Z, Liu L J, Gao M J, et al. QTL tagging for high protein gene and using molecular marker assistant selection in soybean breeding[J]. Soybean Science, 2008, 27(2): 186-189.)
- [21] Zhang W K, Wang Y J, Luo G Z. QTL mapping of ten agronomic traits on the soybean genetic map and their association with EST markers[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2004, 108: 1131-1139.
- [22] 宛煜嵩. 大豆遗传图谱的构建及若干农艺性状的 QTL 定位分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2002. (Wan Y S. Construction of soybean genetic map and QTL analysis of some agronomic traits [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2002.)
- [23] 陈庆山,张忠臣,刘春燕,等. 大豆主要农艺性状的 QTL 分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(1): 41-47. (Chen Q S, Zhang Z C, Liu C Y, et al. QTL analysis of major agronomic traits in soybean[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(1): 41-47.)
- [24] 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. (Shan D P, Zhu R S, Chen L J, et al. Epistatic effects and QE interaction effects of QTLs for protein content in soybean[J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(1): 41-47.)
- [25] 林延慧,张丽娟,李伟,等. 大豆蛋白质含量的 QTL 定位[J]. 大豆科学, 2010, 29(2): 207-209. (Lin Y H, Zhang L J, Li W, et al. QTLs mapping related to protein content of soybeans[J]. Soybean Science, 2010, 29(2): 207-209.)
- [26] 姚丹,王丕武,闫伟,等. 完备区间作图法定位大豆含油量 QTL 及标记辅助选择[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(3): 369-373. (Yao D, Wang P W, Yan W, et al. Marker assistant selection and soybean oil content by QTL location using inclusive composite interval mapping[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2010, 32(3): 369-373.)
- [27] Liang H Z, Yu Y L, Wang S F, et al. QTL mapping of isoflavone, oil and protein contents in soybean (*Glycine max* L. Merr.) [J]. Agricultural Sciences in China, 2010, 9(8): 1108-1116.
- [28] 孟凡钢,富健,王新风,等. 大豆高脂肪组合初世代脂肪含量遗传与亲本相关性研究: I. F<sub>2</sub> 代脂肪含量遗传与亲本相关性初探[J]. 大豆科学, 2007, 26(1): 75-77. (Meng F G, Fu J, Wang X F, et al. Study on the heredity and parental correlation of the oil content of the beginning with the generation at high oil content soybean; I. Heredity and parental correlation of the oil content of F<sub>2</sub> generation[J]. Soybean Science, 2007, 26(1): 75-77.)
- [29] 孟凡钢,富健,王新风,等. 大豆高脂肪组合 F<sub>3</sub> 代脂肪含量遗传及亲本相关性研究[J]. 大豆科学, 2008, 27(2): 354-356. (Meng F G, Fu J, Wang X F, et al. Heredity and parental correlation of the oil content in F<sub>3</sub> generation of high oil content soybean [J]. Soybean Science, 2008, 27(2): 354-356.)
- [30] 孟凡钢,富健,王新风,等. 大豆高脂肪组合 F<sub>4</sub> 代脂肪含量遗传及亲本相关性[J]. 大豆科学, 2009, 28(2): 346-348. (Meng F G, Fu J, Wang X F, et al. Heredity and parental correlation of oil content in F<sub>4</sub> generation of high oil soybean[J]. Soybean Science, 2009, 28(2): 346-348.)
- [31] Feng L, Burton J W, Carter T E, et al. Recurrent half-sib selection with testcross evaluation for increased oil content in soybean[J]. Crop Science, 2004, 44: 63-69.
- [32] Mazhar U H, Antonio P M. Response of soybean grain oil and protein concentrations to foliar and soil fertilization[J]. Agronomy Journal, 2005, 97: 910-918.
- [33] Yan Z, Joseph G L, Roger B, et al. Effects of genotype × environment interaction on agronomic traits in soybean[J]. Crop Science, 2010, 50: 696-702.
- [34] 郑永战,盖钧镒,周瑞宝,等. 大豆脂肪及脂肪酸组分含量的遗传分析[J]. 大豆科学, 2007, 26(6): 801-806. (Zheng Y Z, Gai J Y, Zhou R B, et al. Inheritance of fat and fatty acid composition contents in soybean [J]. Soybean Science, 2007, 26(6): 801-806.)
- [35] 杨喆,刘丽君,高明杰,等. 大豆高油相关 QTL 分子标记辅助选择研究[J]. 大豆科学, 2008, 27(4): 921-924. (Yang Z, Liu L J, Gao M J, et al. Molecular marker assistant selection for high oil QTL in soybean[J]. Soybean Science, 2008, 27(4): 921-924.)
- [36] 徐鹏,王慧,李群,等. 大豆油份含量 QTL 的定位[J]. 遗传, 2007, 29(1): 92-96. (Xu P, Wang H, Li Q, et al. Mapping QTLs related to oil content of soybeans[J]. Hereditas, 2007, 29(1): 92-96.)
- [37] 薛永国,刘丽君,杨喆,等. 大豆油分含量 QTL 分析[J]. 东北农业大学学报, 2007, 38(6): 721-724. (Xue Y G, Liu L J, Yang Z, et al. Soybean oil QTL analysis[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2007, 38(6): 721-724.)
- [38] Csanidi G, Vollmann J, Stir G, et al. Seed quality QTLs identified in a molecular map of early maturing soybean[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2001, 103: 912-919.
- [39] Chapman A, Pantalone V R, Ustun A, et al. Quantitative trait loci for agronomic and seed quality traits in an F<sub>2</sub> and F<sub>4:6</sub> soybean population[J]. Euphytica, 2003, 129: 387-393.
- [40] Panthee D R, Pantalone V R, West D R, et al. Quantitative trait loci for seed protein and oil concentration and seed size in soybean[J]. Crop Science, 2005, 45: 2015-2022.
- [41] 齐宁,林红,魏淑红,等. 利用野生大豆资源创新优质抗病大豆新种质[J]. 植物遗传资源学报, 2005, 6(2): 200-203. (Qi N, Lin H, Wei S H, et al. Using wild soybean resources to develop the new soybean germplasm of high quality and diseases resistance [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2005, 6(2): 200-203.)
- [42] 杨光宇,王洋,马晓萍,等. 野生大豆种质资源评价与利用研究进展[J]. 吉林农业科学, 2005, 30(2): 61-63. (Yang G Y, Wang Y, Ma X P, et al. Progress of evaluation and applying of germplasm resources of wild soybean[J]. Jiling Agricultural Sciences, 2005, 30(2): 61-63.)
- [43] 曹永强,宋书宏,王文斌,等. 拓宽大豆育种遗传基础研究进展[J]. 辽宁农业科学, 2005(6): 34-36. (Cao Y Q, Song S H, Wang W B, et al. Study progress on broadening genetic base of soybean breeding [J]. Liaoning Agricultural sciences, 2005(6): 34-36.)