

## 大豆籽粒蛋白质积累及其影响因素

吴润之<sup>1</sup>, 傅蒙蒙<sup>2</sup>, 齐波<sup>1</sup>, 李松林<sup>1</sup>, 杨加银<sup>2\*</sup>

(1. 淮阴工学院, 江苏淮安 223003; 2. 江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所/淮安市农业生物技术重点实验室, 江苏淮安 223001)

**摘要** 大豆籽粒蛋白质含量受到遗传因素、生态因素、耕作制度和栽培技术多种因素的影响。其中, 遗传因素是影响大豆蛋白质含量的主要因素, 有效的栽培措施也可以提升大豆品质。综述了大豆籽粒蛋白质遗传规律研究进展, 并从播期、种植密度、水、肥料 4 个方面总结了栽培措施对大豆籽粒蛋白质积累的影响。在遗传方面, 大豆籽粒蛋白质含量主要受加性效应影响; 在栽培方面, 大豆籽粒蛋白质含量的主要受播期影响。

**关键词** 大豆; 蛋白质含量; 遗传; 栽培措施

**中图分类号** S565.1 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2021)19-0001-04

**doi:** 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.19.001



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Protein Accumulation in Soybean Seeds and Its Influencing Factors

WU Run-zhi<sup>1</sup>, FU Meng-meng<sup>2</sup>, QI Bo<sup>1</sup> et al (1. Huaiyin Institute of Technology, Huaian, Jiangsu 223003; 2. Huaiyin Institute of Agricultural Sciences in Xuhuai Area of Jiangsu Province/Huaian Key Laboratory of Agricultural Biotechnology, Huaian, Jiangsu 223001)

**Abstract** The protein content of soybean seed is affected by genetic factors, ecological factors, farming system and cultivation techniques. Among them, genetic factors are the main factors affecting soybean protein content, and effective cultivation measures can also improve soybean quality. The research progress of soybean seed protein inheritance was reviewed, and the influence of cultivation measures on soybean grain protein accumulation was summarized from four aspects of sowing date, planting density, water and fertilizer. In terms of genetics, soybean seed protein content is mainly affected by additive effects; in terms of cultivation, the main influencing factor of soybean seed protein content is sowing date.

**Key words** Soybean; Protein content; Heredity; Cultivation measures

大豆起源于我国, 第二次世界大战后其种植面积在全球范围内迅速增长, 目前种植区域已扩展至 35°S ~ 53°N<sup>[1]</sup>。作为人类植物蛋白质最重要的来源, 大豆蛋白质占世界蛋白质总消费量的 70% 左右<sup>[2-4]</sup>。大豆蛋白质的营养功效完全可满足人类需求。因此, 蛋白质性状一直是大豆种质资源及育种研究的重点。大豆蛋白质的营养价值取决于籽粒中蛋白质的含量、氨基酸组分及其可消化性, 三者的改良方向分别为保持或提高蛋白质产量和含量、提高含硫氨基酸的含量、消除或降低胰蛋白酶抑制剂等营养抗性因子, 其中保持或提高大豆中蛋白质的含量是大豆蛋白质改良育种的前提和首要目标, 受到科学家和育种者的广泛关注<sup>[3-7]</sup>。

大豆籽粒中蛋白质的积累是一个随着大豆籽粒发育的动态过程, 且在不同品种间存在一定程度的差异。张恒善等<sup>[8]</sup>研究发现, 在大豆籽粒发育过程中, 大多数品种蛋白质相对含量在早期很高, 中期降低或者降低后稍微回升, 只有少数品种蛋白质相对含量一直上升或一直下降。赵明珠等<sup>[9]</sup>的研究也表明, 不同类型大豆品种在蛋白质积累上存在明显的差异, 其中高蛋白品种大豆籽粒蛋白质含量的积累动态呈双峰曲线变化; 中间型品种籽粒蛋白质含量先降后升, 之后虽有所下降, 但籽粒蛋白质合成积累的强度仍然较高; 而低蛋白品种中蛋白质含量先迅速下降, 之后虽略有上升,

但各品种籽粒蛋白质合成积累的强度较弱。作为典型的数量性状, 大豆蛋白质性状的表达受到包括遗传因素、生态因素、耕作制度和栽培技术多种因素的影响。其中遗传因素是影响大豆蛋白质含量的主要因素, 而有效的栽培措施也可以提升大豆品质<sup>[10]</sup>。特定种植区域的生态因素及耕作制度具有一定的稳定性, 对具体的大豆种植区域提高蛋白质含量不具有较大影响。因此, 笔者重点探讨遗传及栽培措施对蛋白质含量的影响, 以期指导高蛋白大豆品种的培育及生产、提高大豆蛋白质含量、改善大豆品质。

### 1 大豆籽粒蛋白质遗传规律研究进展

有研究认为, 在大豆蛋白质含量遗传中非加性效应与加性效应均起作用; 但大部分研究认为, 该性状主要受加性效应影响, 同时该性状是否存在母体效应也存在一定争议<sup>[2]</sup>。孟祥勋等<sup>[11]</sup>对大豆蛋白质含量的遗传效应进行分析表明, 大豆种子蛋白质含量具有显著的加性和显性效应及植株母体加性和显性效应。其中以种子直接加性效应更为重要, 占总遗传效应方差的 81.4%, 其次是种子直接显性效应占 8.9%, 两者合计达 90%。植株母体加性和显性效应方差虽然显著, 但仅占总方差的 5.8%。邱丽娟等<sup>[12]</sup>研究表明, 蛋白质含量的主要遗传是加性效应, 也存在显性效应的影响。这与孟庆喜等<sup>[13-16]</sup>的研究结果一致。Wilcox 等<sup>[17]</sup>认为, 蛋白质含量总的来说不存在母体效应, 只在个别组合中含有细胞质遗传表现, 这与宋启建等<sup>[18]</sup>的研究结果一致。综上, 蛋白质含量主要受加性遗传的影响, 通过诸如分子标记选择的聚合育种或分子设计育种等可实现该性状的持续改良。

随着分子标记技术的发展, 采用各种定位方法检测数量性状位点(QTL)成为研究数量性状的主要方法, 这些方法不

**基金项目** 国家自然科学基金项目(31571695); 国家重点研发计划项目(2017YFD0101504); 江苏省自然科学基金项目(BK2015-1285)。

**作者简介** 吴润之(1996—), 男, 山东淄博人, 硕士研究生, 研究方向: 作物品质改良。\* 通信作者, 研究员, 博士, 硕士生导师, 从事大豆遗传育种研究。

**收稿日期** 2021-02-26

仅可以检测这些 QTL 的位置还能估算每个位点的效应和贡献率。目前已报道了 300 多个与大豆蛋白质含量相关的 QTL (<http://www.soybase.org>)。这些 QTL 广泛的分布于第 1、5、7、13、14、15、20 号染色体上,然而这些 QTL 中的大部分在不同环境下并不稳定且缺乏较大的效应,因此仅极少数在育种中应用或继续进行研究<sup>[1,19-20]</sup>。

在上述定位的 QTL 中,位于第 15 号染色体的 cqPRO-001 和第 20 号染色体的 cqPRO-003 在多个群体中被反复鉴定,其中 20 号染色体上的位点在不同背景的群体中均显示较大的加性效应<sup>[1]</sup>。2015 年, Bandillo 等<sup>[21]</sup>通过对 14 000 份种质资源进行全基因组关联研究将先前报道的 20 号染色体区域缩小到 3 个候选基因 *Glyma20g21030*、*Glyma20g21040* 和 *Glyma20g21080*。张琦等<sup>[22]</sup>通过构建的野生大豆染色体片段代换系,初步确定了 2 个候选基因 *Glyma20g07060* 和 *Glyma20g07280*,可能与控制大豆子粒蛋白质含量相关。Zhang 等<sup>[23]</sup>通过对 200 份种质资源和 308 个重组自交系进行分析,鉴定出 25 个可能的蛋白质候选基因。Li 等<sup>[24]</sup>对 185 个大豆品种进行基因组测序,检测到 31 个 SNP 位点与蛋白质含量有关。

大量研究表明,不同农艺性状间具有相关性,单个性状的改良同时需考虑对其他性状的影响。Fang 等<sup>[25]</sup>研究表明,大豆的许多重要农艺性状受到一个遗传网络共同调控,其中已知的重要基因如 E1、DT1 等对蛋白质性状的表达也起到调控作用。Wang 等<sup>[26]</sup>对 870 余个大豆材料进行全基因组测序和性状评估,发现了 1 个对大豆种子大小和品质显著

影响的基因 *GmSWEET10a/b*。从以上分析可知,在改良品种的过程中仅仅考虑一个性状很难获得理想的结果,这或许可以解释为何创造出的种质资源在部分性状上具有良好的表现、在遗传研究中有重要的价值,但很难用于后续生产实践。如何统筹考虑性状间的相互影响,从而获得对目标性状的有效改良仍需进一步研究。

## 2 栽培措施对大豆蛋白质积累的影响

品种改良虽然是提升大豆蛋白质含量的最终决定因素,但短期内培育出突破性品种的难度较大,而在一定的遗传条件下,适当的栽培措施有助于大豆蛋白质含量的提高。因此,笔者总结栽培措施对大豆蛋白质含量的影响,以期确认适合蛋白质性状表达的栽培模式及栽培措施。

**2.1 播期** 播期是大豆生长充分利用当地自然生态因子(如光、温、水)的前提条件,在合理的范围内适当早播或迟播有助于大豆充分利用有利的生态因子。笔者对相关研究进行整理发现,在长江流域春夏大豆区,春播大豆在 4 月底播种大豆蛋白质含量最高;夏播大豆在 5 月底或 6 月中旬播种大豆蛋白质含量最高(表 1)。播期对蛋白质含量的影响幅度为-4.97%~3.53%。在黄淮海大豆区,在 6 月底播种大豆蛋白质含量最高。播期对蛋白质含量影响幅度为-2.39%~4.17%。在北方春大豆区,在 5 月初播种大豆蛋白质含量最高。播期对蛋白质含量的影响幅度为-7.97%~6.42%。播期对大豆蛋白质含量影响的显著性说法不统一。总体而言,不同生态区间的最适播期各不相同,播期对大豆蛋白质含量影响的平均幅度为 2.74%。

表 1 不同地区大豆蛋白质含量与播期的关系

Table 1 Correlations between soybean protein content and sowing date in different regions

生态区 Ecological zone	试验点 Test site	纬度(N) Latitude	播期 Sowing date	显著性 Significance	蛋白质幅度 Protein amplitude %	最适播期 Optimum sowing date	文献来源 Literature source
长江流域春夏大豆区 Spring and summer soybean growing regions in the Yangtze River Basin	昆明市	24°23'	05-21—06-20	不显著	-3.53~3.53	05-21	[27]
	长沙市	27°51'	03-26—05-20	显著	-4.97~2.58	04-28	[28]
	西充县	30°52'	06-05—07-25	显著	-1.78~1.71	06-15	[29]
黄淮流域夏大豆区 Summer soybean growing region in Yellow-Huai River Basin	驻马店市	32°18'	05-10—06-30	显著	-2.39~4.17	06-30	[30]
	淮安市	33°38'	05-31—07-10	不显著	-0.62~0.84	06-20	[31]
北方春大豆区 Spring soybean growing region in Northern China	吉林市	42°31'	04-24—06-03	不显著	-2.44~3.41	05-04	[32]
	伊宁县	43°35'	04-11—05-11	不显著	-1.50~1.56	05-01	[33]
	大庆市	45°46'	05-06—05-21	不显著	-1.25~1.10	05-06	[34]
	佳木斯市	45°56'	04-25—06-25	显著	-7.97~6.42	05-04	[35]
	友谊县	46°28'	05-02—05-23	显著	-1.68~1.40	05-11	[36]

注:显著性为 0.05 水平显著;蛋白质幅度为同一播期条件下所有品种的蛋白质含量平均值极值与其所有播期品种蛋白质含量的均值比  
Note:Significance is significant at the 0.05 level;the protein amplitude is the ratio of the extreme value of the average protein content of all varieties under the same sowing date to the average protein content of all varieties of the sowing date

**2.2 种植密度** 种植密度对大豆蛋白质含量的影响因品种、地理环境而异。笔者对以往研究进行整理发现,在长江流域春夏大豆区,低密度种植条件下,2.08 万株/hm<sup>2</sup> 种植密度下大豆蛋白质含量最高;高密度种植条件下,45 万株/hm<sup>2</sup> 的种植密度下大豆蛋白质含量最高(表 2)。种植密度对大豆蛋白质含量影响幅度为-2.56%~1.82%。在黄淮海夏大豆区,种植密度在 21 万~27 万株/hm<sup>2</sup> 大豆蛋白质含量最高。种植密度对大豆蛋白质含量影响幅度为-3.04%~2.68%。

在北方春大豆区,种植密度在 15 万~26 万株/hm<sup>2</sup> 大豆蛋白质含量最高。种植密度对大豆蛋白质含量影响幅度为-2.49%~2.34%。总体而言,种植密度对大豆蛋白质含量影响的平均幅度为 1.51%。种植密度对大豆蛋白质含量影响不显著。

**2.3 水** 在豆类作物中,大豆对水的需求量较大,并且对缺水最敏感<sup>[44]</sup>。Specht 等<sup>[45]</sup>研究认为,大豆蛋白质的含量随土壤水分的减少而减少。在生殖发育后期(R5-R8)对大豆

籽粒施加水分胁迫,使大豆籽粒中蛋白质含量的降低水平平均低于其他组分,这导致种子的蛋白质浓度显著增加<sup>[46]</sup>。潘荣云等<sup>[47]</sup>研究表明,在大豆开花初期灌水,蛋白质含量降低 0.03%;在结荚鼓粒期灌水,蛋白质含量增加 0.23%;王春风等<sup>[48]</sup>用 5 个高蛋白品种研究发现,在中水条件下(土壤水

分为田间持水量的 50%~55%),大豆蛋白质含量最大。表明灌浆过程中脱荚可使低蛋白大豆蛋白质含量增加;高蛋白大豆蛋白质含量基本保持不变。这是因为通过控制结荚的方式控制同化物的供给使低蛋白大豆蛋白质含量增加,而高蛋白大豆籽粒同化物保持饱和状态<sup>[49]</sup>。

表 2 不同产区大豆蛋白质含量与种植密度的相关关系

Table 2 Correlations between soybean protein content and planting density in different regions

生态区 Ecological zone	试验点 Test site	纬度(N) Latitude	种植密度 Planting density 万株/hm <sup>2</sup>	显著性 Significance	蛋白质幅度 Protein amplitude %	最适密度 Optimum density 万棵/hm <sup>2</sup>	文献来源 Literature source
长江流域春夏大豆区 Spring and summer soybean growing regions in the Yangtze River Basin	长沙市	27°51'	15~75	不显著	-2.08~1.31	45	[37]
	盐城市	32°34'	0.83~2.08	不显著	-2.56~1.82	2.08	[38]
黄淮流域夏大豆区 Summer soybean growing region in Yellow-Huai River Basin	商丘市	33°43'	13.5~40.5	不显著	-3.04~2.68	27	[39]
	保定市	38°10'	18.0~22.5	不显著	-0.19~0.34	21	[40]
	青县	38°58'	18.0~22.5	不显著	-0.01~0.01	21	[40]
北方春大豆区 Spring soybean growing region in Northern China	铁岭市	41°59'	12.5~21.0	不显著	-1.49~1.93	21	[41]
	佳木斯市	45°56'	20~35	不显著	-1.11~0.69	26	[42]
	克山市	47°50'	15.4~76.9	不显著	-2.49~2.34	15	[43]

注:显著性为 0.05 水平显著;蛋白质幅度为同一播期条件下所有品种的蛋白质含量平均值极值与其所有播期品种蛋白质含量的均值比  
Note:Significance is significant at the 0.05 level;the protein amplitude is the ratio of the extreme value of the average protein content of all varieties under the same sowing date to the average protein content of all varieties of the sowing date

**2.4 肥料** 大豆籽粒蛋白质的形成受栽培措施中的施肥影响较大。因此,在优质大豆生产上应充分考虑施肥的调节作用。

**2.4.1 氮、磷、钾。**氮、磷、钾在植物体内对蛋白质代谢与碳水化合物间的相互转化起重要作用并且参与蛋白质合成的大多数步骤,是大豆籽粒合成所必须的组成成分<sup>[50-52]</sup>。氮、磷、钾肥均可不同程度地增加大豆蛋白质含量,三者对蛋白质含量的影响程度为:氮肥>磷肥>钾肥<sup>[53]</sup>。然而,当下大豆施肥多是氮、磷、钾混合施用,由于不同地区的土壤肥力不同,因此各地的最适施肥量也不同。冯丽娟等<sup>[54]</sup>在大庆市的试验研究说明,当氮:磷:钾为1:2:0.5、施肥量 150 kg/hm<sup>2</sup>时,大豆籽粒蛋白质含量最高。刘渊等<sup>[55]</sup>通过在河北省不同地区进行施肥试验得出,在河北省中北部施用氮:磷:钾为2:1:0.5、施肥量 255 kg/hm<sup>2</sup>时,大豆蛋白质含量最高;河北中部施用氮:磷:钾为2.5:1:1.5、施肥量 450 kg/hm<sup>2</sup>时,大豆蛋白质含量最高;河北省南部施用氮:磷:钾为0.5:2.5:1.5、施肥量 420 kg/hm<sup>2</sup>时,大豆蛋白质含量最高。

**2.4.2 其他微量元素。**锌肥的施用可以促进蛋白质和氨基酸的合成<sup>[56]</sup>。吴拓等<sup>[57]</sup>的研究表明,在分别施用锌肥、钼肥、硼肥后,锌增加大豆蛋白质含量效果最显著。朱敏等<sup>[58]</sup>的研究也发现,施用锌肥可以提高大豆籽粒中的蛋白质含量。张玉先等<sup>[59]</sup>的研究表明:当施用少量锌时,蛋白质的含量降低;在锌肥用量较高时,蛋白质的含量增高。锰在植物蛋白质合成代谢和新器官或生殖器官蛋白质再合成中起重要作用。吴明才<sup>[60]</sup>研究表明,施用锰肥后,大豆中蛋白质含量显著提升,且大豆种子中锰含量与蛋白质含量呈显著正相关。

### 3 讨论

我国对大豆需求量大,国内现有的大豆生产力远远不足

以满足消费的需求。如何提高大豆的品质和产量仍是目前亟待解决的问题。大豆遗传特性研究和栽培措施优化是解决这一问题的有效途径,如今,大豆蛋白质含量遗传研究远远领先于栽培措施研究,并且已经找到了大量关于蛋白质含量的 QTL 位点,但其主效位点还需进一步挖掘,在大豆蛋白质含量方面的基因水平认识有望进一步提高。在栽培措施方面,播期对大豆蛋白质含量影响最大,密度对大豆蛋白质含量虽有一定的影响,但是不显著。这就要求在不同地区统筹好大豆产量与蛋白质含量的关系。水分与微量元素对大豆蛋白质含量的影响不大,随着科技的进步,其相关机理有待进一步研究。

### 4 结语

大豆生产追求产量和质量,但产量和蛋白质指标之间存在一定程度的负相关。同时提升产量和品质有一定的难度,但在一定基因型条件下,通过合理的栽培措施,可使品种的优良特性得到最大发挥。通过分析大豆籽粒蛋白质的影响因素,有助于提高大豆产量和改善大豆品质。在优质大豆生产过程中,充分利用大豆的遗传特性改良其栽培措施等,可提高大豆的蛋白质含量。

### 参考文献

- [1] PATIL G,MIAN R,VUONG T,et al. Molecular mapping and genomics of soybean seed protein;A review and perspective for the future[J]. Theoretical and applied genetics,2017,130(10):1975-1991.
- [2] 魏荷,王金社,卢为国.大豆籽粒蛋白质含量分子遗传研究进展[J].中国油料作物学报,2015,37(3):394-400.
- [3] 姚振纯.大豆蛋白质的氨基酸组分与改良[J].黑龙江农业科学,1997(1):38-39.
- [4] ZHANG J P,WANG X Z,LU Y M,et al. Genome-wide scan for seed composition provides insights into soybean quality improvement and the impacts of domestication and breeding[J]. Molecular plant,2018,11(3):460-472.
- [5] 杜维广,何志鸿.大豆品质育种策略及途径[J].黑龙江农业科学,1989(6):27-31.

- [6] LEE S, VAN K, SUNG M, et al. Genome-wide association study of seed protein, oil and amino acid contents in soybean from maturity groups I to IV[J]. *Theoretical and applied genetics*, 2019, 132(6): 1639-1659.
- [7] 王克晶. 浅谈大豆营养品质遗传改良[J]. *作物杂志*, 1987(3): 9-11.
- [8] 张恒善, 付艳华, 孙太石, 等. 大豆种子脂肪和蛋白质积累规律的研究[J]. *大豆科学*, 1993, 12(4): 296-301.
- [9] 赵明珠, 刘迎雪, 李文华, 等. 不同类型大豆品种籽粒蛋白质含量的积累规律研究[J]. *大豆科学*, 2009, 28(4): 740-743.
- [10] 陈立君. 不同播期对大豆东农42产质量性状动态变化规律研究[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(3): 122-127.
- [11] 孟祥勋, 王曙明, 刘宝泉, 等. 大豆蛋白质含量的种子性状广义遗传模型分析[J]. *大豆科学*, 2001, 20(2): 79-83.
- [12] 邱丽娟, 王金陵, 杨庆凯. 大豆高蛋白育种的亲本选配和后代选择的研究 I 大豆杂交 F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>、F<sub>4</sub> 代蛋白质含量的遗传变异特点[J]. *大豆科学*, 1990, 9(4): 271-277.
- [13] 孟庆喜, 武天龙, 杨庆凯. 大豆高蛋白育种双列杂交分析[J]. *大豆科学*, 1988, 7(3): 185-191.
- [14] MCKENDRY A L, MCVETTY P B E, VOLDENG H D. Inheritance of seed protein and seed oil content in early maturing soybean[J]. *Canadian journal of genetics and cytology*, 1985, 27(5): 603-607.
- [15] 王丕武, 张晓玲, 刘宗昭. 大豆杂种后代蛋白质含量的遗传研究 I. 杂种优势和配合力分析[J]. *吉林农业大学学报*, 1991, 13(4): 6-10.
- [16] 陈新, 朱成松, 顾和平, 等. 大豆蛋白质含量遗传变异特点及早世代选择效果的研究[J]. *大豆科学*, 1997, 16(4): 328-333.
- [17] WILCOX J R, SIMPSON A M JR. Performance of reciprocal soybean hybrids[J]. *Crop science*, 1977, 17(3): 351-352.
- [18] 宋启建, 盖钧溢, 马育华. 大豆品种蛋白质、油分含量的遗传特点[J]. *中国农业科学*, 1989, 22(6): 24-29.
- [19] VAN K, MCHALE L K. Meta-analyses of QTLs associated with protein and oil contents and compositions in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] seed[J]. *International journal of molecular sciences*, 2017, 18(6): 1-21.
- [20] WANG J, CHEN P, WANG D, et al. Identification and mapping of stable QTL for protein content in soybean seeds[J]. *Molecular breeding*, 2015, 35(3): 1-10.
- [21] BANDILLO N, JARQUIN D, SONG Q J, et al. A population structure and genome-wide association analysis on the USDA soybean germplasm collection[J]. *The plant genome*, 2015, 8(3): 1-13.
- [22] 张琦, 尹彦斌, 蒋洪蔚, 等. 大豆子粒蛋白质含量 QTL 的精细定位[J]. *分子植物育种*, 2019, 17(24): 8152-8157.
- [23] ZHANG T F, WU T T, WANG L W, et al. A combined linkage and GWAS analysis identifies QTLs linked to soybean seed protein and oil content[J]. *International journal of molecular sciences*, 2019, 20(23): 1-19.
- [24] LI D M, ZHAO X, HAN Y P, et al. Genome-wide association mapping for seed protein and oil contents using a large panel of soybean accessions[J]. *Genomics*, 2019, 111(1): 90-95.
- [25] FANG C, MA Y, WU S, et al. Genome-wide association studies dissect the genetic networks underlying agronomical traits in soybean[J]. *Genome biology*, 2017, 18(1): 1-13.
- [26] WANG S D, LIU S L, WANG J, et al. Simultaneous changes in seed size, oil content, and protein content driven by selection of SWEET homologues during soybean domestication[J]. *National science review*, 2020, 7(11): 1776-1786.
- [27] 赵银月, 周林红, 耿智德, 等. 播期对云南夏播大豆产量及品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(7): 1946-1948, 1950.
- [28] 谢运河, 李小红, 王同华, 等. 播期与密度对南方早熟春大豆产量和品质的影响[J]. *作物杂志*, 2011(3): 79-82.
- [29] 吴海英, 于晓波, 梁建秋, 等. 播期对套作专用高蛋白大豆农艺性状、产量及品质的影响[J]. *大豆科学*, 2015, 34(5): 801-807.
- [30] 许海涛, 许波, 王友华. 不同播期和优化施肥对高油大豆产量及品质的影响[J]. *山西农业科学*, 2007, 35(5): 51-53.
- [31] 杨加银, 徐海斌, 徐海风. 栽培因子对高油大豆产量及品质性状的影响[J]. *中国农学通报*, 2007, 23(5): 196-199.
- [32] 刘玉兰, 元明浩, 范文忠, 等. 播种期对吉林小粒大豆生育进程、产量及品质的影响[J]. *大豆科学*, 2019, 38(4): 542-547.
- [33] 杜亚敏, 高阳, 章建新. 播期对新疆高产春大豆产量和品质的影响[J]. *大豆科学*, 2018, 37(1): 87-91.
- [34] 朱洪德, 王春风. 栽培措施对高蛋白大豆产量及品质的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2009, 31(3): 327-333.
- [35] 杜佳兴, 刘婧琦, 盖志佳, 等. 播期对高蛋白大豆籽粒品质及产量的影响[J]. *中国农学通报*, 2019, 35(35): 31-34.
- [36] 于凤瑶, 刘锦江, 辛秀君, 等. 播期对高蛋白大豆产量及品质的影响[J]. *大豆科学*, 2008, 27(4): 620-623.
- [37] 谢运河, 李小红, 王同华, 等. 播期与密度对南方早熟春大豆产量和品质的影响[J]. *作物杂志*, 2011(3): 79-82.
- [38] 胡哲, 杨红燕, 卢健, 等. 播期和密度对夏大豆南农47产量和籽粒蛋白质含量的影响[J]. *浙江农业科学*, 2019, 60(8): 1406-1407.
- [39] 程元霞. 种植密度对商豆14产量及品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(8): 42-43, 57.
- [40] 李文龙, 李喜焕, 王瑞霞, 等. 河北省夏播早熟区不同施肥水平和种植密度对大豆产量及品质的影响[J]. *河南农业科学*, 2015, 44(3): 40-44.
- [41] 张艳, 佟斌, 吴晓秋, 等. 肥密处理对不同大豆品种产量和品质的影响[J]. *大豆科学*, 2010, 29(3): 444-447.
- [42] 吴秀红, 郭泰, 王志新, 等. 不同播种方式对合丰50品质、产量及产量构成因子的影响[J]. *大豆科学*, 2009, 28(5): 850-852, 855.
- [43] 杨梦平, 潘丽丽, 张勇, 等. 株距对不同株型大豆农艺性状及产量的影响[J]. *大豆科学*, 2017, 36(3): 377-384.
- [44] 杨如萍, 包振贤, 陈光荣, 等. 大豆抗旱性研究进展[J]. *作物杂志*, 2012(5): 8-12.
- [45] SPECHT J E, CHASE K, MACRANDER M, et al. Soybean response to water: A QTL analysis of drought tolerance[J]. *Crop science*, 2001, 41(2): 493-509.
- [46] ROTUNDO J L, WESTGATE M E. Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition[J]. *Field crops research*, 2009, 110(2): 147-156.
- [47] 潘荣云, 樊园. 灌水对大豆产量和品质性状的影响研究初报[J]. *大豆通报*, 2003(1): 11.
- [48] 王春风, 朱洪德, 冯丽娟. 水分和施肥量对高蛋白大豆农艺性状及品质的效应[J]. *大豆科学*, 2008, 27(2): 233-237.
- [49] ROTUNDO J L, BORRÁS L, WESTGATE M E, et al. Relationship between assimilate supply per seed during seed filling and soybean seed composition[J]. *Field crops research*, 2009, 112(1): 90-96.
- [50] 罗瑞林, 刘克礼, 高聚林. 大豆子粒中蛋白质和脂肪积累的研究[J]. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2004, 25(2): 44-48.
- [51] LEFFEL R C, CREGAN P B, BOLGIANO A P, et al. Nitrogen metabolism of normal and high-seed-protein soybean[J]. *Crop science*, 1992, 32(3): 747-750.
- [52] IMSANDE J. Inhibition of nodule development in soybean by nitrate or reduced nitrogen[J]. *Journal of experimental botany*, 1986, 37(3): 348-355.
- [53] 宁海龙, 杨庆凯, 李文霞, 等. 农艺措施对大豆籽粒蛋白质和脂肪含量的影响[J]. *东北农业大学学报*, 2001, 32(4): 332-335.
- [54] 冯丽娟, 朱洪德, 于洪久, 等. 品种、密度、施肥量对高油大豆产量及品质的效应[J]. *大豆科学*, 2007, 26(2): 158-162.
- [55] 刘渊, 李文龙, 李喜焕, 等. 施肥水平和种植密度对河北山区夏播大豆产量及品质影响[J]. *中国农业科技导报*, 2017, 19(8): 115-123.
- [56] 郭大勇, 谢建磊, 朱仕贵, 等. 叶面喷施钼对生菜各器官中硝酸盐含量和硝酸还原酶活性的影响[J]. *西北农业学报*, 2008, 17(5): 302-305.
- [57] 吴拓, 杨刘, 陈志兵. 钼、锌、硼微量元素对大豆产量和品质的影响[J]. *南方农业*, 2015, 9(31): 6-8.
- [58] 朱敏, 胡心庆, 谢幸华, 等. 叶面喷施硼钼对大豆产量和品质的影响[J]. *河北农业科学*, 2007, 11(6): 30-32.
- [59] 张玉先, 张瑞朋, 郑殿峰, 等. 锌锰铜对大豆产量和品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(9): 158-160, 169.
- [60] 吴明才. 微量元素对大豆氮代谢的影响[J]. *大豆科学*, 1983, 2(4): 305-310.