



# 大豆不育系源库关系对籽粒产量和单株皱粒率的影响

迟晓雪, 郑根昌, 李志刚, 张冬梅, 孙贺祥, 刘 鹏

(内蒙古民族大学 农学院, 内蒙古 通辽 028000)

**摘 要:**为探究源库关系对大豆不育系籽粒产量和单株皱粒率的影响, 选用高、中、低异交率的大豆不育系及其同型保持系为材料, 通过测量叶片中可溶性蛋白、可溶性糖、淀粉以及籽粒的单株粒数、百粒重、单株粒重、单株皱粒百分比对鼓粒期 3 种不育系的源库特征进行比较分析。结果表明: 高、中、低 3 种异交率不育系的可溶性蛋白含量、百粒重、单株皱粒百分比显著高于其同型保持系, 单株粒数、单株粒重低于其同型保持系, 且中异交率和低异交率不育系的可溶性糖和淀粉含量显著高于其同型保持系及高异交率不育系。较保持系而言不育系的源库间存在差异, 且异交率越低的不育系, 其源库差异越大。库容量小、可溶性糖和淀粉的输送障碍可能是大豆不育系皱粒率百分比高于保持系的原因, 且 3 种不育系间存在异交率越低, 其库容量的减少以及可溶性糖和淀粉的输送障碍越明显的现象。

**关键词:**大豆不育系; 源库关系; 籽粒性状

## Effects of Source-sink Relationship of Soybean Sterile Line on Seed Yield and Wrinkled Seeds Percentage per Plant

CHI Xiao-xue, ZHENG Gen-chang, LI Zhi-gang, Zhang Dong-mei, SUN He-xiang, LIU Peng

(Agricultural College of Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028000, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of source-sink relationship of soybean sterile line on seed yield and wrinkled seeds percentage per plant, the soybean sterile lines with high, medium and low out-crossing rate and their homotypic maintainer lines were selected as materials. The source-sink characteristics of 3 soybean sterile lines in the seed filling stage were comparatively analyzed by measuring the content of soluble protein, soluble sugar and starch in leaves, seeds number per plant, 100-seed weight, seeds weight per plant, and wrinkled seeds percentage per plant. The results showed that the content of soluble protein, 100-seed weight and wrinkled seeds percentage per plant in sterile lines with high, middle and low out-crossing rate were significantly higher than that in their homotypic maintainer lines, but the seeds number per plant and seeds weight per plant in sterile lines were lower than that in their homotypic maintainer lines. Meanwhile, the content of soluble sugar and starch in soybean sterile line with medium and low out-crossing rate were significantly higher than that in their homotypic maintainer lines and the high out-crossing rate of sterile line. There were differences between source-sink of sterile line compared with the homotypic maintainer lines, and the greater difference in the source-sink of the sterile line with the lower out-crossing rate. Small sink capacity, transportation obstacles of soluble sugar and starch were probably the reason why the wrinkled seeds percentage in soybean sterile line was higher than that in its homotypic maintainer line. In addition, there was the phenomenon that the lower of the out-crossing rate, the more obviously decrease of its sink capacity and the transportation obstacles of soluble sugar and starch in 3 sterile lines.

**Keywords:** Sterile line; Source-sink relationship; Grain character

自孙寰等<sup>[1-3]</sup>在大豆地方品种“汝南天鹅蛋”中发现不育细胞质, 并实现“三系”配套后, 中国在大豆杂种优势利用研究方面取得突破性的进展。但是仍有一些因素制约着杂交大豆的种子生产, 籽粒皱缩现象就是其中制约因素之一。籽粒皱缩不仅影响种子的外观及品质, 还影响种子的发芽状况, 甚至会阻碍杂交大豆产业化的进展。大豆籽粒皱缩现象除受环境因素<sup>[4]</sup>和遗传因素<sup>[5]</sup>的影响外, 还受源库关系的影响。管春英<sup>[6]</sup>研究表明改变源库关系对大豆的生理指标以及产量有影响。王光华等<sup>[7]</sup>证明源库关系的改变影响着大豆籽粒的产量以及品质。为了探究大豆不育系从源库特征方面

产生褶皱籽粒的原因, 以充分利用大豆杂种优势, 促进产量进一步提升, 本研究选用不同异交率的不育系及其同型保持系为试验材料, 对灌浆期不育系及同型保持系源库特征进行比较分析, 揭示大豆不育系在灌浆期的源库特征以及与其同型保持系源库特征的差异, 探讨大豆不育系产生皱粒现象的原因, 并为避免大豆杂交种子繁育过程中皱缩籽粒的产生提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验材料选用由吉林省农业科学院大豆研究

收稿日期: 2018-03-26

基金项目: 内蒙古自治区科技计划项目 2017; 内蒙古自治区饲用作物工程技术研究中心开放课题 (MDK2017004); 通辽市与内蒙古民族大学合作项目 (SXZX2017006); 内蒙古民族大学硕士研究生科研创新项目 (NMDSS1758)。

第一作者简介: 迟晓雪 (1993 -), 女, 硕士, 主要从事大豆遗传育种研究。E-mail: 875271665@qq.com。

通讯作者: 刘鹏 (1973 -), 男, 博士, 教授, 主要从事作物遗传育种研究。E-mail: mindaliupeng@126.com。

所提供的高、中、低异交率的大豆品种 JLCMS116、JLCMS213、JLCMS9 的不育系(S)及其同型保持系(M)各 1 对。不育系分别以 S-1(高异交率)、S-2(中异交率)、S-3(低异交率)表示,与其相对应的同型保持系分别以 M-1、M-2、M-3 表示。

1.2 试验设计

试验于 2017 年在内蒙古自治区通辽市内蒙古民族大学平安堡试验地的网室内进行。3 对大豆不育系及其同型保持系分别相间种植于 3 个独立的网室内,父母本行比为 1:2,精量点播,行距 60 cm,株距 10 cm。采用完全随机处理,共 3 次重复。自初花期开始放蜂授粉,其它管理同大田。

1.3 测定项目与方法

8 月 27 日(鼓粒期)开始取样,对主茎上第 6 节位的三出复叶分别取样,并分别测定各生理指标。在籽粒完全成熟后进行考种。可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定,可溶性糖及淀粉采用蒽酮比色法测定<sup>[8]</sup>。

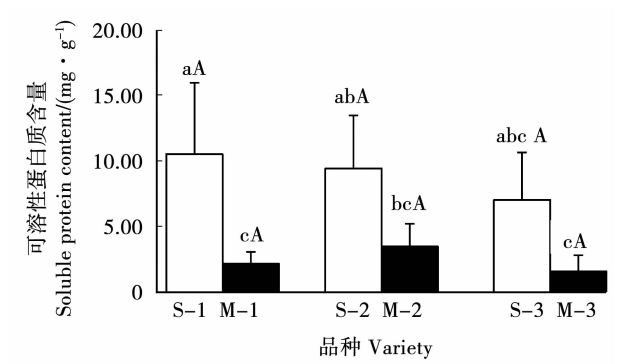
1.4 数据分析

采用 Excel 2007 进行数据整理,并用 DPS 16.05 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 源性状比较

2.1.1 可溶性蛋白质含量比较 由图 1 可知,在大豆鼓粒期,各不育系、各保持系间叶片可溶性蛋白质含量差异不显著,各不育系的可溶性蛋白质含量均显著高于其同型保持系,即 S-1 > M-1、S-2 > M-2、S-3 > M-3。



图中不同小写字母表示  $P < 0.05$  的显著水平,不同大写字母表示  $P < 0.01$  的显著水平,下同。  
Small letters show significant difference at the  $P < 0.05$  level, capital letters show significant difference at the  $P < 0.01$  level. The same as below.  
图 1 不同不育系及其同型保持系的可溶性蛋白含量  
Fig. 1 Contents of soluble protein in soybean sterile and maintainer lines

2.1.2 可溶性糖含量比较 由图 2 可知,不育系 S-2 和 S-3 的可溶性糖含量显著高于 S-1 及各保持系。保持系中 M-2 的可溶性糖含量显著高于 M-1、M-3, S-1 与其同型保持系 M-1 的可溶性糖含量差异不显著。由此可知,在鼓粒期,中异交率和低异交率的不育系叶片中的可溶性糖含量显著高于高异交率的不育系和其同型保持系,而高异交率的不育系叶片中的可溶性糖含量与其同型保持系的含量相差不大,说明中异交率和低异交率的不育系叶片中剩余可溶性糖含量较高,大部分的可溶性糖并没有转化到籽粒中去。

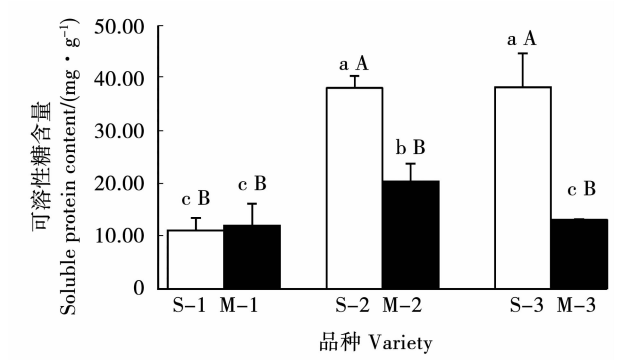


图 2 不同不育系及其同型保持系的可溶性糖含量  
Fig. 2 Contents of soluble sugar in soybean sterile and maintainer lines

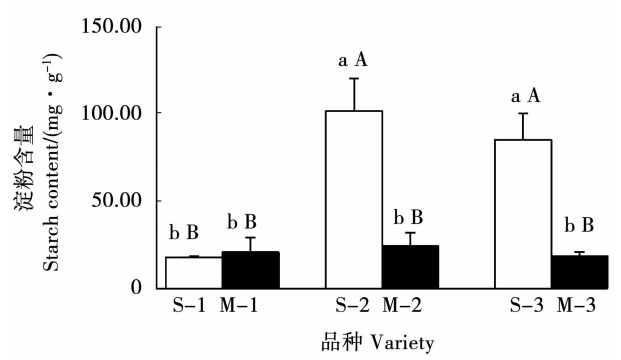


图 3 不同不育系及其同型保持系的淀粉含量  
Fig. 3 Contents of starch in soybean sterile and maintainer lines

2.1.3 淀粉含量比较 图 3 可知,不育系 S-1 的淀粉含量为  $17.92 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,而 S-2 的淀粉含量为  $102.07 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,S-3 的淀粉含量为  $85.53 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ;不育系 S-2 和 S-3 的淀粉含量显著高于 S-1。各保持系间的淀粉含量差异不显著。不育系与其同型保持系的淀粉含量相比,S-1 与其同型保持系 M-1 无差异,S-2 和 S-3 的淀粉含量与其同型保持系差异达极显著水平。由此可知,在鼓粒期,中异交率和低异交率的不育系叶片中的淀粉含量显著高于其同型保持系和高异交率的不育系,且中异交率的淀粉含量最高。说明中异交率和低异交率的不育系叶

片中剩余淀粉含量较高,大部分的淀粉并没有转化到籽粒中去。

2.1.4 源性状分析 在大豆生殖生长阶段,主要由叶片充当“源”的角色。通过比较不育系与其同型保持系的叶片源性状可知,高异交率不育系叶片中的可溶性蛋白质含量高于其同型保持系,可溶性糖与淀粉的含量与保持系相近,未达到显著差异水平。中异交率和低异交率的不育系叶片中的可溶性蛋白质、可溶性糖和淀粉的含量均高于其同型保持系,且均达到了显著差异水平。说明在大豆鼓粒期,各不育系叶片中的可溶性蛋白含量较高,同时中异交率和低异交率的不育系叶片中可溶性糖和淀粉含量较高,中异交率和低异交率的不育系与其同型保持系相比源性状差异较大。

2.2 库性状比较

2.2.1 单株粒数的比较 从图4可知:保持系M-1的单株粒数最多,为312粒,不育系S-3的单株粒数最少,为11粒。各保持系间、不育系间单株粒数的差异均达到显著水平,具体表现为:M-1>M-3>M-2, S-1>S-2>S-3。说明异交率越低,其不育系的单株粒数越少。各不育系与其同型保持系的单株粒数均存在极显著差异,M-1比S-1多247粒,M-2比S-2多94粒,M-3比S-3多187粒。保持系单株粒数显著高于不育系,可能是因为保持系是自花授粉,不育系为异花授粉,所以保持系的单株粒数要远远高于不育系。

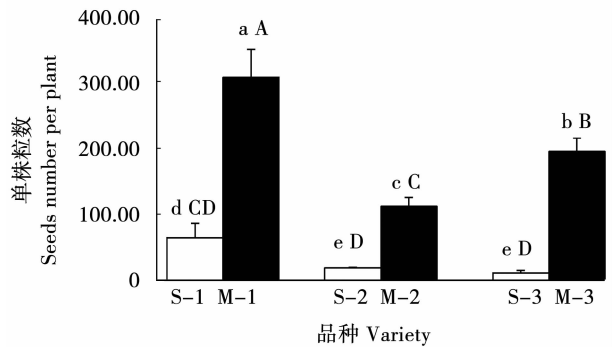


图4 不同不育系及其同型保持系的单株粒数  
Fig.4 Seeds number per plant in soybean sterile and maintainer lines

2.2.2 百粒重的比较 由图5可知,各不育系间、各保持系间的百粒重均未达到显著差异。同时各不育系与其同型保持系的百粒重差异均达极显著水平,不育系的百粒重显著高于其同型保持系。说明,不育系的籽粒存储能力较其同型保持系有所增加。这可能是由于不育系的结实率较其同型保持系低,所以不育系的籽粒存储能力在一定程度上得到增加。

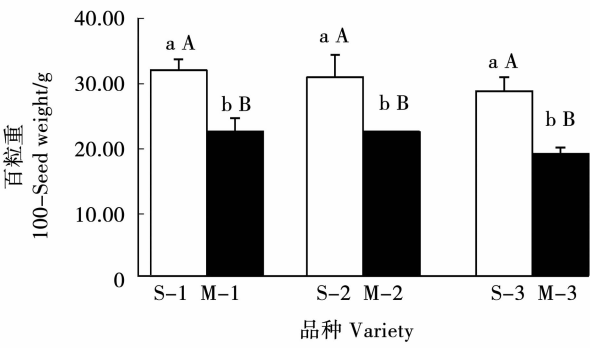


图5 不同不育系及其同型保持系的百粒重  
Fig.5 100-seed weight in soybean sterile and maintainer lines

2.2.3 单株粒重的比较 由图6可知,不育系中S-1的单株粒重最高,S-3最低且S-1极显著高于S-2、S-3,说明异交率越高,其不育系的单株粒重越高。保持系中M-1的单株粒重最高,M-2最低,M-1的单株粒重与M-2、M-3间达到了极显著差异。各不育系的单株粒重极显著低于其同型保持系,即S-1<M-1、S-2<M-2、S-3<M-3。造成同型保持系的单株粒重高于其不育系的原因是保持系的单株粒数显著高于不育系的单株粒数。

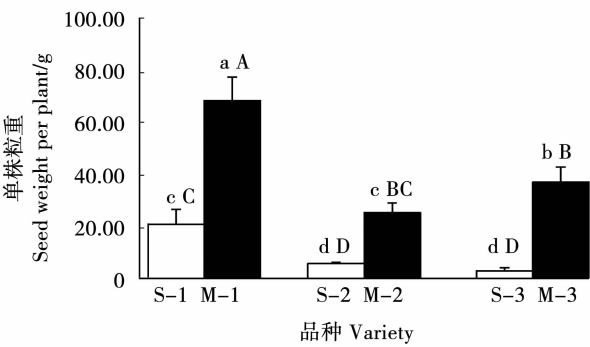


图6 不同不育系及其同型保持系的单株粒重  
Fig.6 Seeds weight per plant in soybean sterile and maintainer lines

2.2.4 单株皱粒百分比的比较 从图7可知:各品种的单株皱粒百分比由高到低的排列顺序依次为S-3(52.49%)>S-2(24.60%)>S-1(12.50%)>M-2(2.60%)>M-3(1.17%)>M-1(0.77%)。各不育系间的单株皱粒百分比达到了极显著差异,而各保持系间的单株皱粒百分比差异不显著。各不育系的单株皱粒百分比极显著高于其同型保持系,即S-1>M-1、S-2>M-2、S-3>M-3。与各保持系和不育系单株粒数的比较表明单株粒数越多,其单株皱粒百分比越低。

2.2.5 库性状分析 在大豆生殖生长阶段,籽粒将充当“库”的角色。不育系的库性状与其同型保持系相比,保持系有单株粒数多、百粒重轻、单株粒重

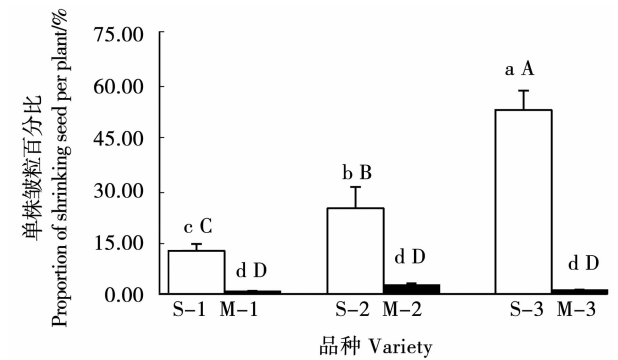


图 7 不同不育系及其同型保持系的单株皱粒百分比  
Fig. 7 Wrinkled seeds percentage per plant in soybean sterile and maintainer lines

重、单株皱粒百分比低 4 个特点,不育系有单株粒数少、百粒重重、单株粒重轻、单株皱粒百分比高 4 个特性,且异交率越低,其单株粒数、单株粒重越低,而单株皱粒百分比越高。由此可知,不育系的百粒重、单株粒数、单株粒重和单株皱粒百分比 4 个库性状间存在互作关系,且不育系的异交率是单株粒数、单株粒重和单株皱粒百分比的影响因素之一。

3 讨论

比较鼓粒期各品种源库性状的关系可知,不育系的百粒重高于其同型保持系,但由于不育系单株粒数少,导致单株粒重低于其同型保持系,说明不育系的库与其同型保持系相比有所减小。高异交率不育系的可溶性糖和淀粉含量虽然与其同型保持系差异不明显,但其可溶性蛋白质含量高于其同型保持系,且中异交率和低异交率的不育系源性状均高于其同型保持系,说明不育系的源与其同型保持系相比有所增加。也就是说大豆不育系品种在植株的生殖生长时期,其植株的源库平衡被打破,形成源大库小的关系,且异交率越低,源库差异越大。

在大豆生育后期不育系中的源是充足的,其库性状比较结果可知,各不育系的百粒重高于其同型保持系,单株粒数却低于其同型保持系,说明不育系百粒重的增加与单株粒数的减少有一定关系,但并不是单株粒数越少,其百粒重越高。吴纪民等<sup>[9]</sup>通过源-库变化对小麦籽粒性状和干物质积累的影响得知通过剪除部分小麦的小穗可增加剩余籽粒的储藏能力,但粒重的增加并不能补偿穗粒数的减少,穗粒重明显下降,与本试验研究结果相一致。

研究表明,各不育系的籽粒存储能力要高于其同型保持系,但不育系单株粒数显著低于其同型保持系,且异交率越低,单株粒数越低。说明不育系存在库容量较小的问题,且异交率越低,库容量

越小。王光华等<sup>[7]</sup>通过改变源库大小试验得知源大库小不利于籽粒中蛋白质的积累,会导致不育系籽粒所需的可溶性蛋白质含量减少,叶片中的可溶性蛋白质剩余。本研究表明在大豆籽粒成熟期,各不育系的可溶性蛋白质含量高于其同型保持系且达到了显著差异,与王光华等<sup>[6]</sup>研究结果相一致。

大豆不育系异交率越低,单株皱粒数越多。这与赵鑫等<sup>[10]</sup>的研究一致。张晓龙<sup>[11]</sup>研究表明从源库关系方面来说,籽粒皱缩产生的原因有:源供应不良、源枯竭、源输送障碍以及库容量小。在大豆不育系的籽粒成熟期,各不育系与其同型保持系相比,大豆不育系的叶片并未脱落,叶片中含有丰富的营养物质,所以不育系不存在源供应不良、源枯竭的问题。不育系 S-2 和 S-3 籽粒褶皱比例均极显著高于 S-1,且叶片中的可溶性糖和淀粉含量也显著高于 S-1,说明中、低异交率的大豆不育系籽粒并没有充分利用叶片中的可溶性糖和淀粉,从而导致大豆籽粒褶皱比例较高。李正德等<sup>[5]</sup>、Tasi 等<sup>[12]</sup>和 Hedley 等<sup>[13]</sup>的研究也表明皱粒的产生与淀粉和可溶性糖有关。因此可以推测大豆不育系产生皱粒的原因可能是库容量小以及可溶性糖和淀粉的输送障碍,且异交率越低库容量的减少以及可溶性糖和淀粉的输送障碍越明显。但具体的输送障碍机制还需进一步的试验论证。

4 结论

研究表明鼓粒期各品种不育系的可溶性蛋白质含量、百粒重、单株皱粒百分比均高于其同型保持系,不育系的单株粒重低于其同型保持系。中异交率和低异交率的不育系叶片中的可溶性糖和淀粉的含量均高于其同型保持系。高异交率不育系的可溶性糖和淀粉含量虽然与其同型保持系差异不明显,但其可溶性蛋白质含量高于其同型保持系;中异交率和低异交率的不育系源性状均高于其同型保持系,所以不育系的源与其同型保持系相比增加了。

大豆不育系品种在植株的生殖生长时期,其植株的源库平衡被打破,形成源大库小的关系,且异交率越低,源库差异越大。大豆不育系品种在源充足的条件下,库数量的减少可以在一定程度上增加籽粒存储能力,但籽粒存储能力的增加并不能补偿因粒数减少而造成的单株粒重的下降。大豆不育系产生皱粒的原因可能是库容量小以及可溶性糖和淀粉的输送障碍,且异交率越低、库容量越小,可溶性糖和淀粉的输送障碍越明显。

参考文献

[1] 孙寰,赵丽梅,王曙明,等. 大豆杂种优势利用研究进展[J]. 中国油料作物学报,2003,25(1):92-103. (Sun H, Zhao L M, Wang S M, et al. Research progress on heterosis utilization of soybean [J]. Journal of Chinese Oil Crops,2003,25(1):92-103. )

[2] 赵丽梅,孙寰,王曙明,等. 大豆杂交种杂交豆1号选育报告[J]. 中国油料作物学报, 2004,26(3):15-17. (Zhao L M, Sun H, Wang S M, et al. A breeding report of hybrid soybean ‘HybSoy 1’ [J]. Journal of Chinese Oil Crops, 2004,26(3):15-17. )

[3] 孙寰. 吉林大豆[M]. 长春:吉林科学技术出版社,2005. (Sun H. Jilin soybean [M]. Changchun: Jilin Science & Technology Press,2005. )

[4] 彭玉华,胡水秀. 北方大豆种质引种南方后种子皱缩的研究[J]. 大豆科学,1997, 16(4):343-347. (Peng Y H, Hu S X. Study on shriveled seeds of soybean developed in northern and grown in Southern area [J]. Soybean Science, 1997, 16(4): 343-347. )

[5] 李正德,王成社,杨天章,等. 小麦T型雄性不育系及其杂交种种子皱缩问题的研究[J]. 西北农业大学学报,1987,15(2): 1-9. (Li Z D, Wang C S, Yang T Z, et al. Research on the problem of shrinkage of wheat type T male sterile line and its hybrid seed [J]. Journal of Northwest Agricultural University, 1987, 15 (2):1-9. )

[6] 管春英. 改变源库关系对大豆产量与品质的影响[D]. 长春: 吉林农业大学,2005. (Guan C Y. Effects of changing source-sink relationship on yield and quality in soybean[D]. Changchun: Jilin Agricultural University,2005. )

[7] 王光华,刘晓兵,杨恕平,等. 生殖生长期源库改变对大豆籽粒产量和品质的影响[J]. 大豆科学,1999,18(3):234-241. (Wang G H, Liu X B, Yang N P, et al. Effects of source-sink change on soybean grain yield and quality during reproductive growth period [J]. Soybean Science,1999,18(3):234-241. )

[8] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2006. (Wang X K. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiments [M]. Beijing: Higher Education Press,2006. )

[9] 吴纪民,吴兆苏. 源-库变化对小麦籽粒性状和干物质积累的影响[J]. 种子,1988(12):22-25. (Wu J M, Wu Z S. Effects of source-sink changes on grain traits and dry matter accumulation in wheat [J]. Seed,1988(12):22-25. )

[10] 赵鑫,彭宝,张井勇,等. 异交率对大豆不育系种子质量的影响及调控方法[J]. 大豆科学,2017,36(4):487-493. ( Zhao X, Peng B, Zhang J Y, et al. Influence of out-crossing rate on seed quality in sterile soybean lines and regulating ways[J]. Soybean Science,2017,36(4):487-493. )

[11] 张晓龙. 测定小麦种子饱满度的新方法[J]. 作物学报,1983,9(2):123-128. (Zhang X L. A new method for determining the plumpness of wheat seed[J]. Journal of Crop,1983,9(2):123-128. )

[12] Tsai C Y, Larkins B A, Glover D V. Interaction of the Opaque-2 gene with starch forming mutant genes on the synthesis of zein in maize endosperm[J]. Biochemistry Genetic,1978,16:883-896.

[13] Hedley C L, Smith C M, Ambrose M J, et al. An analysis of seed development in Pisum Sativum II. The effect of their locus on the growth and development of the seed[J]. Annals of Botany,1986, 58:371-379.