

大豆粒重的粒位效应及其空间分布特征

李彦生^{1,2}, 刘兵^{1,2}, 张秋英¹, 刘晓冰¹, Stephen J Herbert³

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 中国科学院 黑土区农业生态重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150081; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 美国麻省大学 植物与土壤科学系, Amherst, MA, 01003, USA)

摘要:通过对2个密度的大豆群体在开花初期进行光富集处理,研究了大豆不同粒位籽粒的粒重及其空间分布特征。结果表明:大豆籽粒的单粒重呈现明显的粒位效应。在多粒荚内,基粒的粒重最小。2、3和4粒荚的第2粒位籽粒的粒重比基粒分别高10.6%、14.8%和17.3%。光富集和高密度增加基粒粒重的幅度高于其它粒位的籽粒,增幅为17.7%~27.9%,但并未改变其原有的粒位粒重特征。大豆的不同粒位粒重在主茎上呈明显的“纺锤形”分布,下部节位上的籽粒单粒重略小,而中部节位上的籽粒单粒重较大。多粒荚内不同粒位的粒重空间分布曲线的变异程度小,1粒荚内的籽粒大小受光照和密度影响最大。高密度条件下,上部节位的不同粒位籽粒对光照更加敏感。不同粒位的籽粒大小与灌浆顺序并无直接关系,受荚内同化产物均衡分配机制的调节,粒位数的增加减小了单个籽粒的增重程度。

关键词:光富集;籽粒发育;空间分布;粒位效应

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2010)02-0218-05

Effect of Seed Position Within Pod on Seed Size and Its Spatial Distribution Across Main Stem in Soybean

LI Yan-sheng^{1,2}, LIU Bing^{1,2}, ZHANG Qiu-ying¹, LIU Xiao-bing¹, Stephen J Herbert³

(1. Key laboratory of Mollisol Agroecology, Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS, Harbin 150081, Heilongjiang; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Department of Plant, Soil and Insect Sciences, University of Massachusetts, Amherst, MA, 01003, USA)

Abstract: Seed size in different seed position and its spatial distribution across main stem were investigated by glyphosate-resistant soybean cultivar SV19-U2 grown under both ambient and light-enriched conditions at low and high densities. Obvious effect of seed position on seed size was found. Seed size of first-seeded position within several-seeded pod was minimal. In two, three and four-seeded pod, the seed size of second-seeded position was 10.6%, 14.8% and 17.3% larger than that of first-seeded position. Light enrichment and high density increased seed size of first-seeded position by 17.7%-27.9%. The increment in seed size from first-seeded position was greater than that from second-, third- and fourth-seeded position, while the inherent seed size character in different position was not changed. The spatial distribution of seed size from different seed position across main stem showed the “spinning shape” from top to bottom. Seed size at bottom node position was smaller, and was larger at middle node position. The curve of seed size’s spatial distribution across main stem was even and seed size in one-seeded pod was much sensitive to light and density conditions. Under high density, light enrichment imposed more influence on seed size at top node position than at lower node position. The more seed number in a pod could decrease the increment of single seed size. It is proposed that seed size at different position might not be directly related to the sequence of seed filling, and seed size is modulated by assimilate distribution mechanism within pod.

Key words: Light enrichment; Seed size; Yield components; Node position

对于籽实型作物来说籽粒的大小是产量的重要构成因素之一。大豆的籽粒大小是由数量遗传基因所控制,但也受环境条件的影响^[1]。长期以来,国内外学者就影响大豆籽粒大小的各种因素进行了研究。Spears等^[2]研究表明,大豆籽粒灌浆期频繁的高温严重影响籽粒的正常生长发育,明显降

低粒重。Mark等报道^[3],在大豆籽粒同化物质填充时期,缺水导致大豆籽粒体积显著减小。与温度和水分等环境因素相比,光照是影响大豆粒重的最显著因素^[4-5]。Mathew等^[6]指出,结荚初期光富集增加籽粒粒重8%~23%。刘晓冰等^[7]研究发现,光富集显著地增加大豆单株产量,产量增加的部分原

收稿日期:2009-11-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30671315);黑龙江省杰出青年科学基金资助项目(JC200617);黑龙江省留学基金资助项目(LC07C29);哈尔滨留学基金资助项目(2007RFLXN026),中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09-09)。

第一作者简介:李彦生(1983-),男,在读硕士,研究方向为作物生理生态学。E-mail: liyansheng4500@163.com。

通讯作者:张秋英,研究员。E-mail: zhangqy@neigahrb. ac. cn。

因来自于单粒重的增加,一般增加幅度为 9% ~ 28%,当年际间其它产量性状保持一致时,由于单个籽粒重量的差异,产量可增加 25%,甚至更多。一般来说,籽实型作物的籽粒均存在粒位效应。李玉玲等指出^[8],玉米种子萌发及幼苗生长特性与粒位效应显著相关。对于小麦不同粒位籽粒的研究表明^[9],第 1 粒位和第 2 粒位籽粒的粒重相近,均高于第 3 粒位。屈会娟等报道^[10],小麦上部和顶部小穗位的第 1 粒位粒重较大,第 3 粒位粒重次于第 1 和第 2 粒位,第 4 粒位粒重最小,要使得小麦高产稳产必须最大限度发挥第 3、4 粒位的粒重潜力。小麦不同粒位蛋白质积累相对含量的顺序第 2 小花粒最早,其次是第 1 小花粒,最后是第 3 小花粒^[11]。安昌范等研究指出^[12],在一个豆荚内首先是尖端先鼓粒,其次是基部鼓粒,最后是中部鼓粒,秕粒往往出现在荚的中部。该研究的目的是揭示大豆的粒位效应,明确大豆不同粒位籽粒的粒重及其空间分布特征对种植密度和光富集响应,为深化大豆生物学规律和株型育种提供一定理论参考。

1 材料与方法

试验在美国麻省大学农学试验站进行,土壤为典型砂壤土。播种前施用氯化钾 306 kg · hm⁻²。供试品种为亚有限结荚习性抗草甘膦大豆 S19-V2 (由美国 Northrup King 公司提供)。播种前对种子进行根瘤菌接种,于 2003 年 5 月 24 日机械播种,每

小区 9 行,行长 12 m,行距 25 cm,种植密度分别为 30 和 80 株 · m⁻²。在 V5 期喷施草甘膦进行除草。随机区组设计,3 次重复。光富集处理是通过生育期间把每小区中间行利用 90 cm 宽的金属筛网向中间行外以 45°角放置,该方式不影响根系的竞争,但为中间行植株增加更多的光截获,该方式与不处理的植株相比可增加中间行植株底部光截获 25% 以上^[6]。收获时,每小区随机选取 15 株并分节位和粒位进行精确考种,记录荚数、粒数及并对每粒位粒重称重。第 1 粒位(基粒)是指每荚最靠近着生点的位置。利用 SPSS 软件进行统计分析,用 Sigma-Plot 2000 作图。

2 结果与分析

2.1 大豆不同粒位籽粒粒重特征

大豆同类型荚内不同粒位籽粒的粒重存在明显差异(表 1),基部粒位籽粒的粒重显著低于其它粒位籽粒的粒重($P < 0.05$)。2 粒荚的第 2 粒位籽粒的粒重比基粒粒重平均高出 8.1% ~ 10.6%。在 3 粒荚中,第 2 粒位籽粒的粒重最高,比基粒粒重高 14.8%,第 3 粒位籽粒的粒重与第 2 粒位籽粒的粒重相差不大,比基粒粒重高 13.4% ~ 14.2%。在 4 粒荚中,第 2 和第 3 粒位籽粒粒重相当,均比基粒粒重高出 16.3% ~ 18.7%,第 4 粒位籽粒的粒重其次,比基粒粒重高约 12.9% ~ 13.5%。

表 1 大豆不同粒位籽粒大小

Table 1 Seed size in different seeded position of soybean

荚类型 Pod types	密度 Density/plants · m ⁻²	处理 Treatments	基粒粒位 First-seeded position / mg	第 2 粒位 Second-seeded position / mg	第 3 粒位 Third-seeded position / mg	第 4 粒位 Fourth-seeded position / mg
1 粒荚 One-seeded pod	30	CK	130			
		LE	146 *			
	80	CK	147			
		LE	179 *			
2 粒荚 Two-seeded pod	30	CK	132b	146a		
		LE	169a *	175a *		
	80	CK	149b	161a		
		LE	184b *	197a *		
3 粒荚 Three-seeded pod	30	CK	142b	162a	161a	
		LE	169b *	183a *	183a *	
	80	CK	148b	170a	169a	
		LE	181b *	200a *	199a *	
4 粒荚 Four-seeded pod	30	CK	139b	163a	165a	157a
		LE	169c *	189a *	186ab *	181b *
	80	CK	141b	164a	164a	160a
		LE	180b *	197a *	201a *	198a *

不同字母代表同类型荚内不同粒位籽粒粒重差异比较;“*”代表同粒位籽粒粒重光富集前后差异比较,显著水平 5%

D30、D80 分别表示密度为 30 株 · m⁻² 和 80 株 · m⁻²,下同。CK 和 LE 分别表示自然光光照条件和光富集光照条件,下同。

Different letter mean significant difference of seed size in different seeded position; “*” mean significant difference of seed size in the same seeded position from the same type pod.

D30 and D80 are 30 plants · m⁻² and 80 plants · m⁻², same as follow. CK and LE mean natural light and light enrichment, the same as follow.

光富集能显著地增加不同粒位籽粒的粒重。在低密度条件下,光富集使得1粒荚内籽粒增重12.3%;2粒荚内基粒和第2粒位籽粒分别增重28.0%和19.9%;3粒荚内基粒、第2和3粒位籽粒分别增重27.0%、13.0%、13.7%;4粒荚内基粒、第2、3和4粒位籽粒分别增重21.6%、16.0%、12.7%和15.3%。在高密度条件下,光富集使得1粒荚内籽粒增重17.9%;2粒荚内基粒和第2粒位籽粒分别增重23.5%和22.4%;3粒荚内基粒、第2和3粒位籽粒分别增重22.3%、17.6%、17.8%;4粒荚内基粒、第2、3和4粒位籽粒分别增重27.7%、20.1%、22.6%和23.8%。

增加密度后,不同粒位籽粒的粒重也有不同程度的增加。在自然光条件下,与低密度比较,高密度使得1粒荚内籽粒增重12.6%;2粒荚内基粒和第2粒位籽粒分别增重12.4%和10.6%;3粒荚内基粒、第2和3粒位籽粒分别增重4.3%、5.3%和5.0%;4粒荚内基粒和第4粒位分别增重1.2%和1.9%,而第2粒位和第3粒位籽粒粒重变化不大。在光富集条件下,随着密度的升高,1粒荚内籽粒增重21.9%;2粒荚内基粒和第2粒位籽粒分别增重8.8%和12.4%;3粒荚内基粒、第2和第3粒位籽粒分别增重6.8%、9.3%和8.7%;4粒荚内基粒、第2、3和4粒位籽粒分别增重6.9%、4.2%、8.1%和8.9%。

虽然光富集与高密度均能显著地增加荚内各个粒位的籽粒粒重,但并未改变其原有的粒位粒重特征,即基部粒位籽粒的粒重仍显著地小于其它粒位籽粒的粒重($P < 0.05$)。

2.2 大豆不同粒位籽粒空间分布特征

从图1~4可看出,在不同类型荚中基部粒位、第2粒位、第3粒位和第4粒位籽粒粒重在主茎不同节位空间上均成“纺锤形”分布,即上下部节位的单个籽粒粒重较低,而中部节位的单个籽粒粒重较高。光富集处理后,单个籽粒粒重的增加在大豆主茎的全部节位上都得到体现,但不同节位单个籽粒粒重增重幅度有一定差异。在低密度条件下,光富集的单粒粒重空间分布曲线与自然光的单粒粒重空间分布曲线之间的间距要小于高密度条件下的相应间距。在不同类型荚内,光富集的单粒粒重空间分布曲线与自然光的单粒粒重空间分布曲线,在上中下部存在一定差异。2种密度条件下,1粒荚表现为顶部和下部节位的粒重差距小,其它节位间距大(图1),2粒荚表现为中上部节位(7~18节)间距大于下部节位(2~7节)间距(图2),而3、4粒

荚则表现不同。在低密度条件下,3、4粒荚不同节位粒重曲线间距比较均匀,上部节位和下部节位相当,中部3个节位间距较小;在高密度条件下,3、4粒荚上部节位粒重曲线间距要明显大于下部节位,2条曲线构成“喇叭口形”(图3、4)。3粒荚和4粒荚内不同粒位的粒重空间分布曲线与1粒荚和2粒荚内的空间分布曲线相比,前者的变异程度要明显小于后者。上部节位的单个籽粒粒重增重幅度要大于中下部节位,单个籽粒粒重在空间上的分布仍呈“纺锤形”。

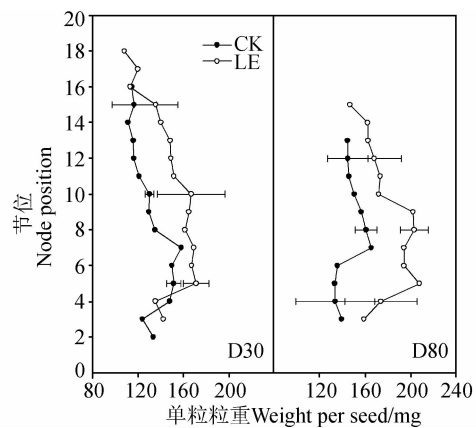


图1 一粒荚内籽粒粒重空间分布特征

Fig.1 Seed size spatial distribution character in one-seeded pod

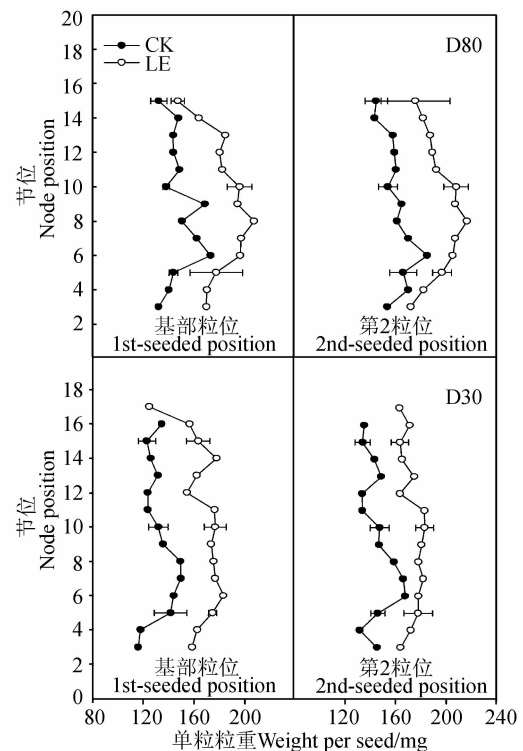


图2 二粒荚不同粒位籽粒粒重空间分布特征

Fig.2 Seed size spatial distribution character in two-seeded pod

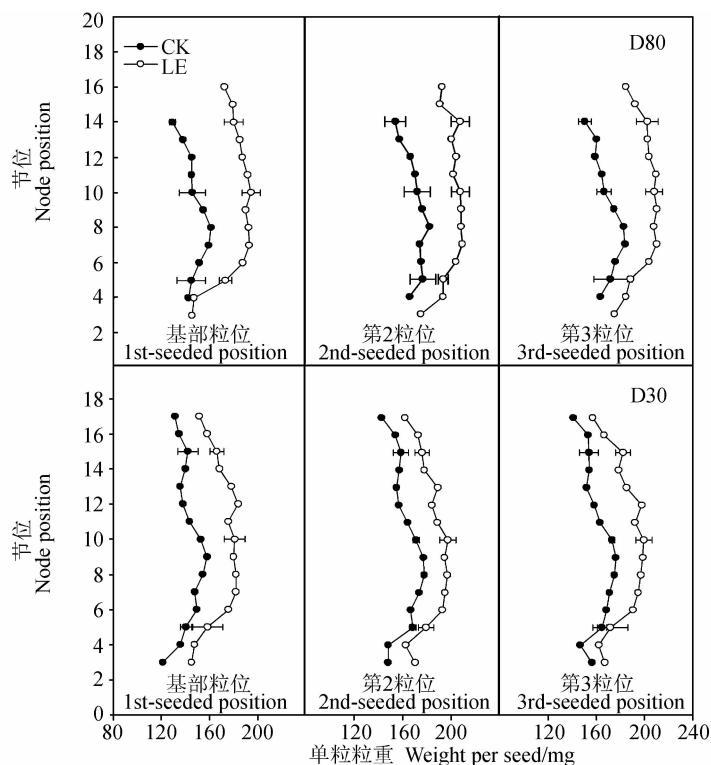


图3 三粒荚不同粒位籽粒粒重空间分布特征

Fig. 3 Seed size spatial distribution character in three-seeded pod

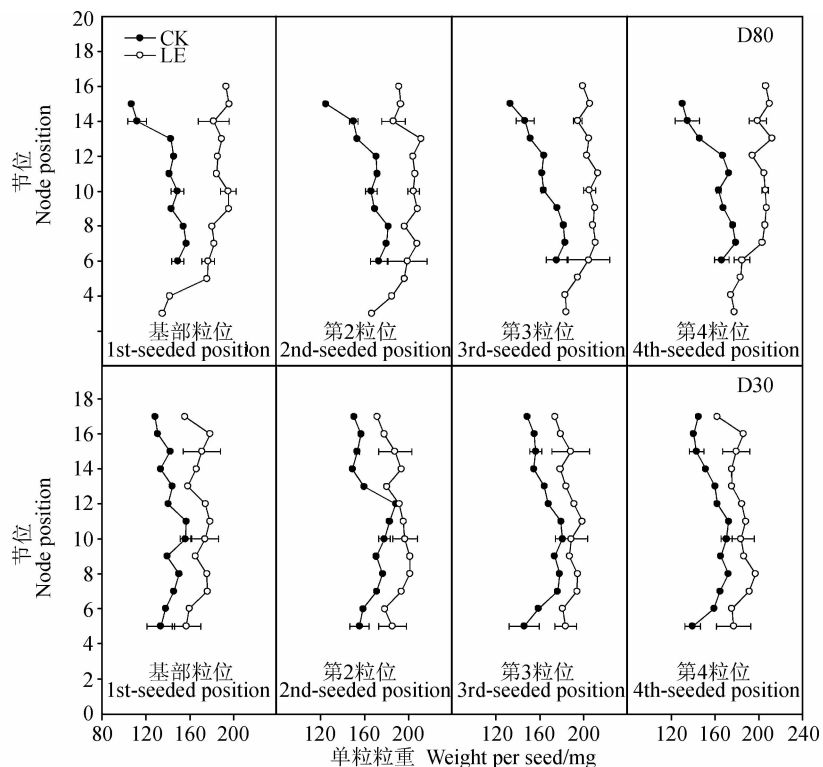


图4 四粒荚不同粒位籽粒粒重空间分布特征

Fig. 4 Seed size spatial distribution character in four-seeded pod

3 讨论

对玉米和小麦籽粒的研究发现,不同粒位的玉米和小麦籽粒品质和粒重均存在显著差异,有明显的粒位效应^[8-9]。结果表明,大豆同样存在显著的

粒位效应,表现为基部粒位籽粒粒重显著小于其它粒位籽粒粒重。有研究表明,3粒荚内不同粒位的籽粒灌浆有着一定的顺序,第3粒位籽粒最先灌浆,基部粒位籽粒次之,第2粒位籽粒最后灌浆,秕粒往往出现在第2粒位^[10]。研究还发现,在3粒荚

中,第2和第3粒位籽粒粒重相当,比基粒粒重高出13.4%~14.9%。这表明不同粒位籽粒的灌浆顺序与最终籽粒大小并无直接关系。光富集和增加密度处理后不同粒位籽粒的粒重均有增加,但基部粒位籽粒粒重还是显著小于其它粒位籽粒粒重,表明各类型荚内,基粒粒重最小的现象可能是由大豆籽粒内在的遗传特性所决定,不受光照条件和种植密度的影响。然而,对比同类型荚内不同粒位籽粒粒重变化却发现,光富集和增加密度使得基部粒位籽粒的增重的幅度要大于其它粒位的籽粒,相对而言,基部粒位籽粒有着更大的增重潜力。

产量构成因素的合理空间分布对影响和发掘大豆产量潜力至关重要,源库在空间的对应和相互协调是不同产量空间分布类型形成的根本原因^[13]。大豆花荚干重的垂直分布与叶面积的垂直分布相吻合,产量空间分布与荚粒形成期间叶片分布存在着叶-粒对应关系^[14-15]。结果表明,不同粒位籽粒粒重在空间上均呈现“纺锤形”分布,表明在大豆主茎的空间上,叶片的叶面积分布不仅与荚数和粒数存在对应关系,还与不同粒位籽粒的单粒重存在对应关系。这种对应关系与籽粒快速灌浆期,主茎中部节位叶片有着最大的叶面积,且具有长的叶柄,能更靠近冠层的外围,从而获得最大的光截获,导致中部节位荚粒重最大有关^[16-17]。

光富集和自然光的单粒粒重空间分布曲线的间距,在中上部节位较大,表明中上部节位籽粒粒重对光富集的响应更为强烈,这可能是由不同冠层叶位的光合速率由上到下依次递减所致^[18]。结果表明,3、4粒荚内不同粒位的粒重空间分布曲线比1、2粒荚内的空间分布曲线的变异程度小,粒位数的增加减小了单个籽粒增重的程度,在一定量同化产物供应条件下,荚内同化产物存在着均衡分配的内在调节机制,1粒荚内的籽粒大小受环境影响更大。在低密度条件下,3、4粒荚光富集与自然光空间分布曲线间距较均匀,而在高密度条件下,表现为上部节位大下部节位小的“喇叭口形”,这表明在高密度条件下,上部节位的不同粒位籽粒对光照改变更加敏感。不同类型荚各个粒位籽粒粒重曲线在主茎空间上均成“微弧型”分布,即中部节位的单个籽粒粒重较高,由于当低部节位上的籽粒开始灌浆时,大多数中高节位上仍在开花,中高节位和低节位上的籽粒有15~20 d的灌浆时间差异^[13]。因此,不同节位上籽粒灌浆速率的差异还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 刘晓冰,金剑,王光华,等. 调节大豆粒重的生理生态因素[J]. 大豆科学,2007,26(4):607-610. (Liu X B, Jin J, Wang G H, et al. Regulation of soybean seed size by eco-physiological factors [J]. Soybean Science, 2007, 26(4):607-610.)
- [2] Spears J F, TeKrony D M, Egli, D B. Temperature during seed filling and soybean seed germination and vigour [J]. Seed Science

- Technology, 1997, 25:233-244.
- [3] Mark E, Schussler J R. Effect of water deficits on seed development in soybean [J]. Plant Physiol, 1989, 91:1980-1985.
- [4] Loomis R S, Connor D J. Productivity and management in agricultural systems [M]. Cambridge: Cambridge University Press, U K, 1992.
- [5] Evans L T. Crop evolution, adaptation and yield [M]. Cambridge, U K, 1996.
- [6] Mathew J P, Herbert S J, Zhang S H. Differential response of soybean yield components to the timing of light enrichment [J]. Agronomy Journal, 2000, 92: 1156-1161.
- [7] Liu X B, Herbert S J, Hashemi A M. Yield-density relation of glyphosate-resistant soybeans and their responses to light enrichment in northeastern USA [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2006, 192:140-146.
- [8] 李玉玲,台国琴. 玉米籽粒灌浆及种子萌发特性的粒位效应研究[J]. 玉米科学,2005,13(1):60-63. (Li Y L, Tai G Q. Study on the kernel position effects of grain filling and seed germination characteristics in maize [J]. Journal of Maize Science, 2005, 13(1): 60-63.)
- [9] 裴雪霞,王娇爱,党建友,等. 小麦结实粒数、粒重和品质的小穗位和粒位效应[J]. 中国农业科学,2008,41(2):381-390. (Pei X X, Wang J A, Dang J Y, et al. Effects of spikelet and grain position on fertile spikelet number, grain weight and quality of wheat [J]. Scientia Agricultural Sinica, 2008, 42(2): 381-390.)
- [10] 屈会娟,李金才,沈学善,等. 播种密度对冬小麦不同穗位与粒位结实粒数和粒重的影响[J]. 作物学报,2009,35(10):1875-1883. (Qu H J, Li J C, Shen X S, et al. Effects of plant density on grain number and grain weight at different spikelets and grain positions in winter wheat cultivars [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(10): 1875-1883.)
- [11] 刘晓冰,李文雄. 春小麦不同穗位和粒位籽粒蛋白质积累方式的初步研究[J]. 种子,1996(5):4-6. (Liu X B, Li W X. A preliminary study on protein accumulation of grains in different spikelet and grain locations of spring wheat [J]. Seed, 1996(5): 4-6.)
- [12] 安昌范,李今兰,李昌权,等. 大豆生长发育规律的研究报告[J]. 延边大学农学学报,1982(2):67-68. (An C F, Li J L, Li C Q, et al. Study on developmental patterns of soybean [J]. Agricultural Science Journal of Yanbian University, 1982(2): 67-68.)
- [13] 王程,刘兵,金剑,等. 密度对大豆农艺性状及产量构成因素空间特征的影响[J]. 大豆科学,2008,27(6):936-943. (Wang C, Liu B, Jin J, et al. Influences of planting density on agronomic traits and spatial distribution of yield components across main stem in soybean [J]. Soybean Science, 2008, 27(6): 936-943.)
- [14] 刘士达. 大豆群体发展与田间小气候关系的初步探讨[R]. 农业气象研究报告选编(第二集),1963. (Liu S D. Preliminary study on relationship of soybean population development and field microclimate [R]. Selection of agricultural meteorology report (Second issue),1963.)
- [15] 董钻. 大豆株型、群体结构与产量关系的研究[J]. 大豆科学,1986,5(2):110-120. (Dong Z. Studies on relationship of soybean stature, population structure and yield [J]. Soybean Science, 1986,5(2): 110-120.)
- [16] Koller H R. Analysis of growth within distinct strata of the soybean community [J]. Crop Science, 1971, 11: 400-402.)
- [17] Willcott J, Herbert S J, Li Z Y. Leaf area display and light interception in short season soybeans [J]. Field Crops Research, 1984,9:173-182.
- [18] 金剑,刘晓冰,王光华. 不同熟期大豆 R4~R5 期冠层某些生理生态性状与产量的关系[J]. 中国农业科学,2004,37(9):1293-1300. (Jin J, Liu X B, Wang G H. Some eco-physiological characteristics at R4-R5 stage in relation to soybean yield differing in maturities [J]. Scientia Agricultural Sinica, 2004, 37(9): 1293-1300.)