

供磷水平对不同磷效率基因型大豆生物量积累及分配影响

吴俊江^{1,2},王金生²,刘丽君²,林蔚刚²,刘庆莉²

(1. 黑龙江省农业科学院博士后科研工作站,黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院 大豆研究所,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:以高磷效和低磷效基因型品种为材料,采用土壤盆栽法,研究了不同供磷水平对大豆生物量积累及分配的影响。结果表明:苗期磷高效基因型品种地上部(茎、叶)的生物量在施磷处理 P640 达到最高,磷低效基因型品种地上部(茎、叶)的生物量随着施磷量的增加而显著增加。随着供磷水平的提高,磷高效基因型大豆品种的根冠比值大于磷低效基因型大豆品种;花期磷高效基因型品种茎、叶、根干重在施磷处理 P320 达到最高,磷低效基因型品种茎、叶、根的干重随着施磷量的增加而显著增加;结荚期磷高效基因型品种的叶干重在施磷处理 P640 达到最高,根干重在施磷水平 P320 达到最高,茎干重随着施磷水平的提高而显著升高。磷低效基因型品种的茎、叶、根干重随着施磷量的增加而增加,荚干重在处理 P640 处达到了最高值,不同磷效基因型品种随着施磷量的增加根冠比值大体呈现降低趋势;鼓粒期不同磷效基因型品种随着施磷量的增加荚干重、叶干重、茎干重均有所增加。磷高效基因型品种相同施磷水平下生物量呈现荚≥茎≥根≥叶。磷低效基因型品种在高磷处理下叶干重大于根干重,并且根冠比值较低磷处理时显著降低。

关键词:大豆;基因型;磷效率;生物量
中图分类号:S565. 1 **文献标识码:**A **DOI:**10. 11861/j. issn. 1000-9841. 2015. 06. 1020

Effect of Phosphorous Application Rate on Biomass Accumulation and Its Distribution of Soybean with Different Phosphorus Efficient Genotype

WU Jun-jiang^{1,2}, WANG Jin-sheng², LIU Li-jun², LIN Wei-gang², LIU Qing-li²

(1. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences Postdoctoral Station, Harbin 150086, China; 2. Soybean Research Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: The effect of different phosphorus application rate on soybean biomass accumulation and distribution were analyzed by pot experiment in soil under high phosphorus-efficient and low phosphorus-efficient genotypes. The stem and leave biomass of high phosphorus efficiency genotypes increased with the increase of phosphorus application and reached peak values at P640 of phosphorus treatment, and the biomass of stems and leaves still increased for low phosphorus efficiency genotypes. The root cap ratio of high phosphorous efficiency genotypes was higher than that of low phosphorous efficiency with increase of phosphorous application. The dry biomass of stems, leaves, and roots reached peak values at P320 of phosphorus application treatment for high phosphorus efficient soybean genotypes and the dry biomass of stems, leaves, and roots increased significantly with the increase of phosphorous application for low phosphorus efficient genotypes at flowering stage. At podding stage, the leave dry biomass reached the peak values at P640 of phosphorus treatment, root dry biomass reached the peak values at P320 of phosphorus application treatment, and stem dry biomass increased with the increase of phosphorus application rate for high phosphorus efficient genotypes soybean varieties. Meantime, the dry biomass of stems, leaves, and roots increased with the increase of phosphorus application rate, the dry biomass of pod reached peak values at P640 of phosphorus application rate, and the dry biomass of root cap ratio decreased with the increase of phosphorus application rate. For the two genotypes, the dry mass of pods, leaves, and stems increased with the increase of phosphorous at filling stage, high phosphorous efficiency genotypes. The value size order of biomass was as follows: pods ≥ stems ≥ root ≥ stems for the high phosphorus treatment. Under high P application treatment, dry weight of roots was higher than that of leaves for low phosphorus efficient genotype varieties, and root cap ratio was higher than under low P application treatment significantly.

Keywords: Soybean; Genotype; Phosphorous efficiency; Biomass

磷是作物营养三要素之一。然而自然土壤中的有效磷很少能满足植物最佳生长的需要,缺磷是我国乃至世界农业生产中限制作物产量的一个重要因子^[1-2]。磷素营养对大豆干物质积累与分配起着非常重要的作用,在大豆生育期间,植株干物质生产量及其向各器官的分配率是制约大豆产量的关键因素。王文启^[3]认为磷肥能较为明显地促进大豆干物质积累量的增多,从而促进大豆的生长发育。吴明才等^[4]和胡根海等^[5]的研究结果表明,施磷对大豆不同品种植株干物质积累有较大影响,干

物质积累与施磷量关系密切,大豆整个生育期对磷的反应敏感。适宜的施磷能显著提高大豆各器官的干物质积累,并且分配到豆荚中的干物质量较高,有利于产量的形成。在大豆中,近年来有关磷效率基因型大豆生物量测定研究已有报道^[6-7]。但梯度定量施肥下的生物量分析比较少,对量化肥料下生物量的研究尤为必要。

本研究以两种磷效基因型品种为试材,通过测定大豆不同施肥量下生长关键时期的植株生物量,对比分析不同磷效基因型大豆生物量积累的变化趋势及分配规律,以期大豆高产高效、合理施用磷肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

以磷高效基因型品种(PH)丰收 24、黑河 27、绥农 4 号、克交 05-1397 和磷低效基因型品种(PL)垦鉴 4 号、丰收 25、绥农 23、绥农 10 号为试验材料。

1.2 方法

盆栽试验,每盆装风干土拌沙,装盆后与尿素、硫酸钾、磷酸二铵 3 种肥料混匀。试验设 7 个供磷水平,分别施入的磷酸二铵为 0,0.56,1.12,2.24,4.48,8.92,13.4 g,折合施磷量分别为 0,40,80,160,320,640,960 mg·kg⁻¹(代号分别为 P0、P40、P80、P160、P320、P640、P960),所有处理施尿素量为 1.52 g,施硫酸钾量为 1.60 g。采用随机区组排列,每盆留苗 5~6 株,3 次重复。分别于大豆苗期、花期、结荚期、鼓粒期进行采样。烘干后测定植株生

物量(根、茎、叶)。

1.3 数据分析

采用 Excel 2003 进行数据分析和作图。调查及统计结果表明,磷高效基因型品种间或磷低效基因型品种间表现型均相似,但差异均没有达到统计上的显著水平。为避免重复,本文中只列出具有代表性的品种丰收 24 和垦鉴 4 号两个基因型的试验数据。

2 结果与分析

2.1 供磷水平对苗期大豆生物量积累及分配的影响

对供试品种施磷处理苗期生物量进行了测定。结果表明,无论磷高效基因型品种还是磷低效基因型品种相同施磷水平下生物量均呈现叶≥茎≥根。磷高效基因型品种地上部(茎、叶)的生物量随着施磷量的增加呈现抛物线状式变化,茎、叶干重在施磷处理 P640 达到最高(图 1 A)。但随着施磷量的增加根干重均没有表现出极显著的变化。这就造成其根冠比值随着施磷量的增加而降低,且在施磷处理 P640 达到最低。磷低效基因型品种地上部(茎、叶)的生物量随着施磷量的增加而显著增加(图 1 B),所有施磷处理的根冠比值均显著小于无磷处理 P0。综上所述,适量的磷肥可以促进苗期大豆光合产物和碳水化合物过多地向地上部分分配,从而明显引起地上部干物质的积累,但针对磷高效基因型品种磷肥过量则会产生抑制作用。

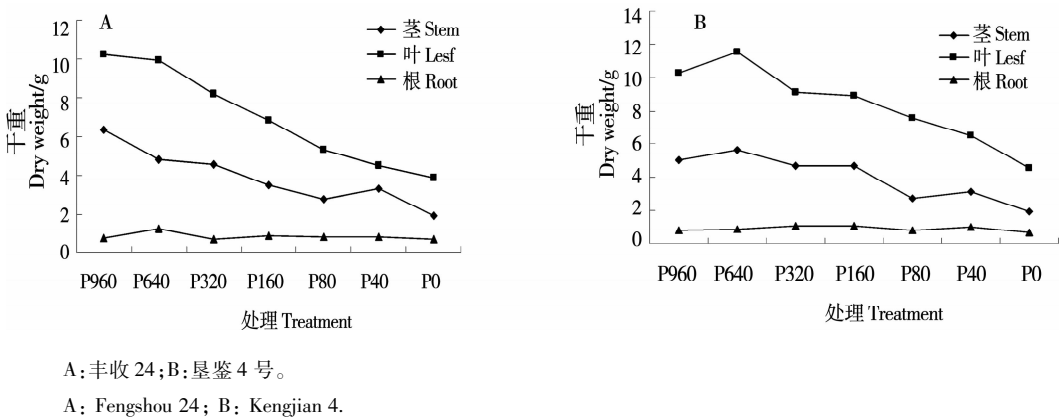


图 1 供磷水平对不同磷效率基因型大豆苗期生物量的分布影响
Fig. 1 Effect of phosphorous on soybean biomass at seedling stage

2.2 供磷水平对花期大豆生物量积累及分配的影响

施磷处理花期生物量的测定发现:磷高效基因型品种茎干重、叶干重、根干重随着施磷量的增加呈现出高磷抑制现象,均在施磷处理 P320 处干物质

积累量达到最高,各处理之间生物量差异达到极显著水平。磷高效基因型品种高磷处理(P320、P640、P960)的根冠比值显著小于其它处理,说明随着磷肥施入量的增加干物质积累受到抑制,但有限的干物质积累仍然优先供应给地上部分(表 1)。

磷低效基因型品种茎、叶、根的干重随着施磷量的增加而显著增加,各处理之间差异均达到极显著水平。其中,茎、叶干重在施磷处理 P960 处增加幅度较大,与其它施磷处理之间差异极显著不同,可见施磷处理 P960 对大豆生长及地上部干物质积

累的显著作用。随着施磷量的增加各处理根冠比值逐渐升高,但全株生物量随着施磷量增加也逐渐升高,说明随着施磷量的增加植株干物质积累量显著增加,而向根系分配的生物量比例也逐渐升高(表1)。

表 1 不同供磷水平下不同基因型大豆花期生物量积累差异

Table 1 The difference of biomass accumulation between soybean genotypes with different phosphorous treatments at flowering stage

处理 Treatment	丰收 24(PH) Fengshou 24				垦鉴 4 号(PL) Kenjian 4			
	根	茎	叶	根/冠	根	茎	叶	根/冠
	Root	Stem	Leaf	R/T	Root	Stem	Leaf	R/T
P0	2.100 gG	2.132 gG	2.591 gG	0.443 cC	2.357 gG	2.241 gG	3.053 gG	0.445 dD
P40	2.315 fF	2.503 fF	2.801 fF	0.435 dD	2.940 eE	2.964 fF	3.484 fF	0.455 cC
P80	2.933 eE	3.020 eE	3.384 eE	0.457 bB	2.875 fF	3.184 eE	3.806 dD	0.411 eE
P160	3.800 bB	3.851 dD	3.815 cC	0.495 aA	3.161 dD	3.193 dD	3.591 eE	0.466 bB
P320	4.003 aA	4.613 aA	4.628 aA	0.433 eE	3.400 cC	3.450 cC	3.827 cC	0.467 abAB
P640	3.607 cC	4.400 cC	4.415 bB	0.409 fF	3.551 bB	3.683 bB	3.910 bB	0.468 aA
P960	3.265 dD	4.413 bB	3.645 dD	0.405 gG	3.923 aA	4.794 aA	5.508 aA	0.380 fF

同列数值后不同大小写字母分别表示 0.01 和 0.05 水平差异显著。下同。
Values followed by different capital and lowercase letters are significantly different at 0.01 and 0.05 probability level, respectively. The same below.

2.3 供磷水平对结荚期大豆生物量积累及分配的影响

对供试品种荚期的生物量测定发现:不同基因型品种每个处理的荚干重总是明显小于叶干重、茎干重和根干重,并且随着施磷量的增加荚干重有所增加。与花期相比,茎干重大于叶干重、根干重,可能由于荚期植株产生的大量营养物质通过茎源源不断地运往荚,营养物质滞留茎中所制。
磷高效基因型品种的叶干重在施磷处理 P640 达到最高,根干重在施磷水平 P320 达到最高,茎干重随着施磷水平的提高而显著升高。同时,随着施磷量的增加根冠比值大体呈现降低趋势(表2)。

磷低效基因型品种的荚干重随着施磷量的增

加呈现出抛物线状式变化,在施磷处理 P640 处干物质积累量达到最高,各处理之间差异极显著。结荚期根冠比随着施磷量的增加呈现降低趋势,各处理之间根冠比值差异极显著。说明磷素水平对磷低效基因型品种结荚期生物量的根冠分配影响较为明显(表2)。

根冠比值对比分析发现:高磷水平 P960 下磷低效基因型品种的根冠比值大于磷高效基因型品种,其它磷水平均小于磷高效基因型品种。说明在一定供磷水平下,磷高效基因型品种能够较磷低效基因型品种充分利用土壤中的磷素,在不影响正常生长的前提下,产生的营养物质更大比例地分配于根系(图2)。

表 2 不同供磷水平下不同基因型大豆结荚期生物量积累差异

Table 2 The difference of biomass accumulation between different phosphorous treatments

处理 Treatment	丰收 24(PH) Fengshou 24					垦鉴 4 号(PL) Kenjian 4				
	根	茎	叶	荚	根/冠	根	茎	叶	荚	根/冠
	Root	Stem	Leaf	Pod	R/T	Root	Stem	Leaf	Pod	R/T
P0	5.458 cB	4.943 gG	4.845 gG	2.451 gG	0.444 aA	3.935 fE	4.150 eE	4.324 eE	2.415 gG	0.360 bB
P40	5.331 abcAB	5.905 eE	5.330 eE	3.101 fF	0.371 bB	4.843 eD	5.551 dD	5.781 dD	4.173 fF	0.312 fF
P80	5.533 bcAB	5.985 fF	5.557 fF	3.150 eE	0.370 bB	5.196 dC	5.552 dD	5.782 dD	4.364 eE	0.330 cC
P160	5.491 cB	7.063 dD	6.211 dD	3.194 dD	0.333 eD	5.197 cdC	5.552 dD	5.788 cC	4.490 dD	0.328 dD
P320	6.585 aA	7.950 cC	6.785 cC	3.337 cC	0.365 cC	5.197 cC	5.687 cC	5.795 bB	4.547 cC	0.324 eE
P640	6.435 abAB	8.401 bB	7.270 aA	3.553 bB	0.334 dD	5.371 bB	6.283 bB	5.797 bB	5.227 aA	0.310 gG
P960	6.527 abAB	8.913 aA	6.921 bB	3.911aA	0.330 fE	7.191 aA	8.577 aA	7.756 aA	4.697 bB	0.370 aA

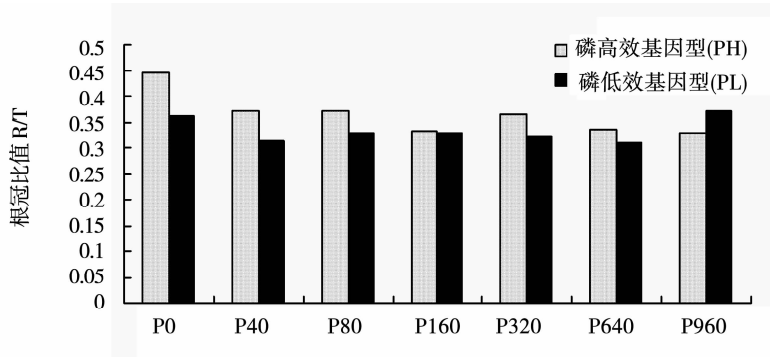


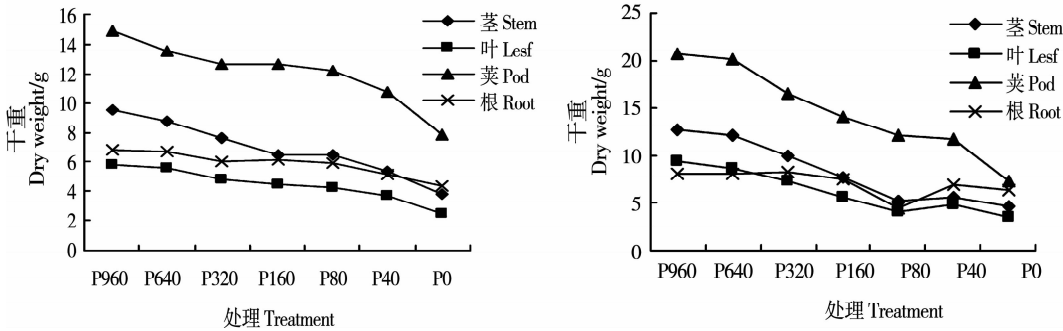
图2 不同供磷水平下不同基因型大豆结荚期根冠比比较

Fig. 2 The comparision of ratio of root to cap of soybean genotypes with different phosphorous treatments at podding stage

2.4 供磷水平对鼓粒期大豆生物量积累及分配的影响

鼓粒期的生物量测定发现:无论磷高效基因型品种还是磷低效基因型品种随着施磷量的增加荚

干重、叶干重、茎干重均有所增加。磷高效基因型品种相同施磷水平下生物量呈现荚≥茎≥根≥叶。磷低效基因型品种在高磷处理下叶干重大于根干重,并且根冠比值较低磷处理时显著降低(图3)。



A: 丰收 24; B: 垦鉴 4 号。
A: Fengshou 24; B: Kengjian 4.

图3 供磷水平对不同磷效率基因型大豆鼓粒期生物量的分布影响

Fig. 3 Effect of phosphorous on soybean biomass distribution at filling stage

3 讨论

本研究中大豆整个生育期对磷的反应敏感,适宜的施磷能显著地提高大豆各器官的干物质积累,并且分配到豆荚中的干物质质量较高,有利于产量的形成,这与前人的研究结果一致^[4-5,8-9],干物质在各器官的分配随生长发育中心转移而变化。花期以前两个基因型品种干物质主要分配至根、茎、叶中,分配到荚中的干物质表现为盛花期到鼓粒期逐渐升高,显示茎叶贮藏的物质开始转移到豆荚中,这与何天祥等^[10]的研究结果相似。本研究表明磷高效基因型品种生长早期和中期,随磷肥用量的加大干物质积累基本呈现抛物线状式变化。但在末期,各施磷处理高磷抑制干物质积累的现象有所缓解。这可能是因为磷营养的过量投入导致大豆植株营养失衡的结果。

另外,大豆苗期磷低效基因型大豆品种在供磷水平较低的情况下,根冠比值均大于磷高效基因型

大豆品种。随着供磷水平的提高磷高效基因型大豆品种的根冠比值大于磷低效基因型大豆品种,造成这种现象的原因可能由于磷低效基因型大豆对磷素丰缺的适应性反应较为明显,而磷高效基因型大豆则能充分利用土壤中少量的磷。低磷条件可以促进磷低效基因型大豆品种光合同化物更多地向根系分配,以便根系更好地生长以获取更多的磷素营养。这可能是磷低效基因型植物适应磷素胁迫的形态学反应。

鼓粒期磷低效基因型品种在高磷处理下叶干重大于根干重,并且根冠比值较低磷处理时显著降低。造成这种现象的原因可能是随着植株生长以及磷素的消耗,土壤中过量的磷素开始对磷低效基因型品种的植株生长产生作用,即过量的磷素促使营养物质过多地分配到地上部分,植株生长旺盛,叶片的光合作用加强,产生过多的同化物滞留于叶片中。

- [M]. Beijing: Science Press, 1977:271.)
- [8] 吴千红,邵则歆,苏德明. 昆虫生态学实验[M]. 上海:复旦大学出版社,1991:271. (Wu Q H, Shao Z X, Su D M. Insect ecology experiment[M]. Shanghai: Fudan University Press,1991: 271.)
- [9] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社,2002. (Tang Q Y, Feng M G. DPS data processing system for practical statistics[M]. Beijing: Science Press, 2002.)
- [10] 张慧杰,段国琪,张战备,等. 空气和土壤湿度对美洲斑潜蝇发育与存活的影响[J]. 生态学报,2004, 24(3):538-541. (Zhang H J, Duan G Q, Zhang Z B, et al. Effect of air and soil humidity on development and survival of *Liriomyza sativae* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(3):538-541.)
- [11] 党志浩,陈法军. 昆虫对降雨和干旱的响应与适应[J]. 应用昆虫学报,2011, 48(5):1161-1169. (Dang Z H, Chen F J. Responses of insects to rainfall and drought[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2011, 48(5):1161-1169.)
- [12] 陈法军,翟保平,张孝羲. 棉铃虫入土化蛹的生物学习性[J]. 植物保护,2002, 28(1):18-20. (Chen F J, Zhai B P, Zhang X X. Biological habits of tunneling and pupation of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) [J]. Plant Protection, 2002, 28(1):18-20.)
- [13] 陈法军,翟保平,张孝羲. 棉铃虫蛹期土壤水分对其种群发生的影响[J]. 生态学报,2003, 23(1):112-121. (Chen F J, Zhai B P, Zhang X X. Effects of soil moisture during pupal stage on populating development of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) [J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(1):112-121.)
- [14] 常晓娜,高慧璟,陈法军,等. 环境湿度和降雨对昆虫的影响[J]. 生态学杂志,2008, 27(4):619-625. (Chang X N, Gao H J, Chen F J, et al. Effects of environmental moisture and precipitation on insects: A review [J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(4):619-625.)
- [15] 吴孔明,郭予元. 土壤含水量对不同地理种群棉铃虫羽化及抗寒能力的影响[J]. 植物保护学报,1997, 24(2):142-146. (Wu K M, Guo Y Y. The influences of soil moisture content on emergence and cold hardiness of different geographical populations of cotton bollworm [J]. Acta Phytophylacica Sinica, 1997, 24(2):142-146.)
- [16] 吴子江. 大田土壤含水量与棉铃虫蛹期数量变动规律的相关分析[J]. 昆虫知识,1992, 29(2):77-79. (Wu Z J. Correlation analysis of soil moisture and law of population bollworm pupal stage [J]. Entomological Knowledge, 1992, 29(2):77-79.)

(上接第 1023 页)

参考文献

- [1] 刘建中,李振声,李继云. 利用植物自身潜力提高土壤中磷的生物有效性[J]. 生态农业研究,1994,2(1):16-23. (Liu J Z, Li Z S, Li J Y. Utilization of plant potentialities to enhance the bio-efficiency of phosphorus in soil [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 1994,2(1):16-23.)
- [2] 刘国栋,李继云,李振声. 植物高效利用土壤磷营养的化学机理[J]. 植物营养与肥料学报,1995(3):72-78. (Liu G D, Li J Y, Li Z S. Chemical mechanism of plants efficiently utilizing phosphorus [J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 1995(3): 72-78.)
- [3] 王文启. 不同熟期大豆磷素吸收积累规律的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2013. (Wang W Q. Soybean of phosphorus uptake and accumulation in different maturity study [D]. Harbin: Northeast Agriculture University, 2013.)
- [4] 吴明才,肖昌珍,郑普英. 大豆磷素营养研究[J]. 中国农业科学,1999,32(3):59-65. (Wu M C, Xiao C Z, Zheng P Y. Study on phosphorus nutrition of soybean [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1999,32(3):59-65.)
- [5] 胡根海,章建新,唐长青. 北疆春大豆生长动态及干物质积累与分配[J]. 新疆农业科学,2002,39(5):264-267. (Hu G H, Zhang J X, Tang C Q. Growth changing and dry matter accumulation and distribution in spring soybean Bei Jiang [J]. Xinjiang Agriculture Science, 2002,39(5):264-267.)
- [6] Li Y D, Wang Y J, Tong Y P, et al. QTL mapping of phosphorus efficiency to lencein soybean (*Glycine max* L.) [J]. Euphytica, 2005,142:137-142.
- [7] 李一丹. 大豆耐低磷相关性状的 QTL 分析[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2004. (Li Y D. QTL mapping of phosphorus deficiency tolerance in soybean (*Glycine max* L. Merr.) [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2004.)
- [8] 李远明,刘丽君,祖伟,等. 不同基因型大豆品种干物质积累与产量形成的关系[J]. 东北农业大学学报,1999,30(4):324-328. (Li Y M, Liu L J, Zu W, et al. The relationship between dry matter accumulation and yield among different genotypes of soybean [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 1999, 30(4):324-328.)
- [9] 孙贵荒,刘晓丽,董丽杰,等. 高产大豆干物质积累与产量关系的研究[J]. 大豆科学,2002,21(3):199-202. (Sun G H, Liu X L, Dong L J, et al. Studies on the relationship between yield and drymatter accumulation in high yield potential [J]. Soybean Science, 2002,21(3):199-202.)
- [10] 何天祥,郑传刚,吉牛拉惹,等. 攀西地区秋大豆干物质积累与分配规律的研究[J]. 大豆科学,2001,20(3):215-220. (He T X, Zheng C G, Ji NiuLare, et al. Study on accumulation and distribution of drysubstances of autumn soybeans in Panxi [J]. Soybean Science, 2001,20(3):215-220.)