

钾对大豆干物质积累、产量及品质的影响

闫春娟^{1,2}, 韩晓增^{1,2}, 王树起¹, 王守宇¹, 李海波¹, 王凤仙^{1,2}

(¹中国科学院东北地理与农业生态研究所, 黑龙江哈尔滨, 150081; ²东北农业大学, 黑龙江哈尔滨, 150030)

摘要:盆栽条件下, 通过设置不同的钾素水平, 研究钾肥对大豆干物质积累及其产量和品质的影响。结果表明, 钾增加了 R1 期根及地上部的干物质积累, 但处理间差异不显著; R3、R5 时期取样, 随着钾肥用量的增加, 根及地上部干物重表现为先增加后降低的趋势, K3 (0.068 g K₂O kg⁻¹ 土) 处理干物质积累量最多, 但 R3 时期取样处理间差异不显著, R5 时期取样处理间差异显著。随着大豆的生长发育, 根冠比逐渐减小, R5 时期根冠比值最小。R1、R3 时期随着钾肥用量的增加根冠比表现为先增加后逐渐降低的趋势, K2 (0.034 g K₂O kg⁻¹ 土) 处理根冠比值最大; R5 时期以 K3 处理根冠比值最大。钾有提高大豆脂肪降低蛋白质含量的趋势。钾能促进大豆产量的形成, 以 K5 (0.136 g K₂O kg⁻¹ 土) 处理产量最高, 并且显著高于不施钾肥的处理。

关键词:大豆; 钾; 干物质积累; 根冠比; 蛋白质; 脂肪; 产量

Effect of Potassium Fertilizer on Dry Matter Accumulation, Yield and Quality of Soybean

YAN Chun-juan^{1,2}, HAN Xiao-zeng^{1,2}, WANG Shu-qi¹, WANG Shou-yu¹, LI Hai-bo¹, and WANG Feng-xian¹

(¹Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Harbin 150081, Heilongjiang; ²Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang, China)

Abstract: Spring soybean is one of main crops cultivated in Heilongjiang province in China. The annual planted area is 2-2.3 million hectares. Thus, it is urgent to enhance the yield and its quality. Potassium fertilizer plays a vital role in the period of crop growth and development as well as its quality improving. The objective of current research was to provide technical support for high yield and quality of soybean production with high efficiency fertilization in Heilongjiang province. Pot-experiments were carried out to study the effect of potassium fertilizer on dry matter accumulation, yield and quality of soybean. Five potassium fertilizer supply levels 0, 0.034, 0.068, 0.102, 0.136 g K₂O kg⁻¹ soil denoted as K1, K2, K3, K4, K5, were used in this experiment. The results showed that potassium enhanced the dry matter accumulation at flowering (R1), however, no significant difference was observed for the five K treatments. The dry matter accumulation showed increased and then decreased trend with the increment of potassium amount at podding (R3) and pod filling (R5), and significant difference among different treatments were observed at pod filling (R5) but not at podding (R3). The optimum application rate of potassium was K3 (0.068 g K₂O kg⁻¹ soil) for dry matter accumulation at podding (R3) and pod filling (R5). The ratio of root to shoot decreased with the growing of soybean, which was lowest at pod filling (R5). The root to shoot ratio declined sharply after the peak in K2 with potassium fertilizer application at flowering (R1) and podding (R3). K3 was the maximum value for the root to shoot ratio at pod filling stage (R5). The application of potassium fertilizer was beneficial to oil accumulation but not to protein accumulation. The more the application of potassium fertilizer, the more yield soybean would reach. The optimum rate of potassium fertilizer for yield was K5 (0.136 g K₂O kg⁻¹ soil), which was significantly superior to no-potassium (K1) treatment.

Key words: Soybean; Potassium; Dry matter accumulation; Root to shoot; Protein; Fat; Yields

黑龙江省是我国大豆主要产区 and 重要出口基地, 年种植面积 200 ~ 233 万 hm² (刘佩印, 2001)。

收稿日期 (Received): 2007-09-08; 接受日期 (Accepted): 2007-11-12

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (2005CB121106, 2005CB121103); 国家科技支撑计划 (2006BAD21B01, 2006BAD05B05)

作者简介: 闫春娟 (1983-), 女, 硕士研究生, 主要从事作物生理研究。E-mail: yanchunjuan1983@163.com

通讯作者 (Corresponding author): 韩晓增, 研究员。Tel: 0451-86602940; E-mail: hanxz@cern.ac.cn

钾是作物生长发育所需的三大营养元素之一,大豆是需钾较多的作物。长期以来,人们习惯认为黑龙江省土壤钾含量丰富,能满足作物生长发育的需要。因此生产中重视氮、磷肥的投入,而忽视钾肥的施用,导致土壤中 N、P、K 三要素失衡限制了作物单产的提高。在此基础上许多研究者开始探讨农田黑土条件下钾肥对大豆生长发育的影响(李玉影等,2002;韩晓增等,2002;韩秉进等,2003;郑淑琴,2001),但关于钾素对大豆各生育时期干物质积累的影响,以及钾素如何影响干物质在根冠间分配比例方面的研究较少,本文旨在通过设置不同的钾肥水平,探讨盆栽条件下钾对大豆干物质积累、根冠比、产量及品质的影响,以期对黑龙江省大豆优质、高产、高效施肥提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试大豆品种为当地主栽品种黑农 35,无分枝,亚有限结荚习性,平均蛋白质含量为 42.24%,平均脂肪含量为 18.36%。

1.2 试验设计

试验于 2006 年在中国科学院海伦农业生态实验站(北纬 47°26',东经 126°38',海拔 240 m)进行。该区气候属温带大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨,雨热同季,全年降水量 500~600 mm,无霜期为 120~130 d,≥10℃ 的有效积温为 2400~2500℃。该区 0~20 cm 耕层土壤养分状况,有机质 51.55 g kg⁻¹,全氮 2.6 g kg⁻¹,碱解氮 206.75 mg kg⁻¹,全磷 0.71 g kg⁻¹,有效磷(Olsen P) 14.2 mg kg⁻¹,全钾 22.20 g kg⁻¹,有效钾 190.80 mg kg⁻¹,pH 值 6.28。采用盆栽试验,设置 5 个钾肥水平,分别为 K1(不施钾肥);K2(0.034 g K₂O kg⁻¹土);K3(0.068 g K₂O kg⁻¹土);K4(0.102 g K₂O kg⁻¹土);K5(0.136 g K₂O kg⁻¹土)每盆装风干土 16.5 kg,每两天用台秤测定土壤水分,补充至田间持水量的 65%,每盆播 6 粒种子,出苗后定苗 4 株,重复 12 次,其中 9 次重复用于各时期取样,另外 3 次重复待成熟后测定产量及品质。

1.3 测定项目与方法

分别在大豆的始花期(R1)、始荚期(R3)、始粒期(R5)取样测定植株的地上部及根干物重(105℃杀青 30 min,75℃烘至恒重)。收获后测定子粒产量及其构成要素,并进行蛋白质及脂肪含量的测定,

采用干样索氏脂肪抽提法测定脂肪含量,半微量凯氏定氮法测定蛋白质含量(鲁如坤,1999)。

1.4 数据分析

用 Excel2003 和 SPSS14.0 统计软件进行绘图和数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同钾素水平对大豆干物质积累的影响

植物总干物质的累积是作物产量形成的基础,其动态变化主要受光合作用和呼吸作用的动态变化制约,一切影响光合和呼吸过程的因子都会影响干物质的积累(张银锁等,2002)。由于钾能够促进光合作用,提高 CO₂ 的同化率,因此钾在一定程度上影响植株生物量的形成。钾素对植株地上部及地下部干物重的影响与生育期密切相关(图 1),R1 时期取样结果显示,钾肥能促进地上部及地下部干物质的积累,此时期各处理地上部生物量分别为 1.10、0.93、0.93、1.23 和 1.24 g plant⁻¹,地下部生物量分别为 0.22、0.23、0.21、0.25 和 0.25 g plant⁻¹,总体而言钾肥虽促进根及地上部干物质的积累,但不施钾肥并未表现出最小的生物量,并且显著性测验显示处理间差异不显著(地上部: $LSD_{0.05} = 0.13$ g plant⁻¹;根: $LSD_{0.05} = 0.28$ g plant⁻¹)。

R3 时期地上部及地下部生物量因供钾水平的不同而表现出差异,此时期生物量以 K3 为最优(图 1),即钾肥对地上及地下生物量的影响表现为先增高后降低的趋势,K3 处理的地上部生物量为 2.32 g plant⁻¹,并且显著高于 K2(1.80 g plant⁻¹)处理,但与其它处理间无显著差异($LSD_{0.05} = 0.31$ g plant⁻¹);不同钾肥处理间根生物量的变化以 K3(0.44 g plant⁻¹)值最高,比较而言高量钾肥的根生物量(K4、K5)要优于低量钾肥(K1、K2),但方差分析表明处理间差异不显著($LSD_{0.05} = 0.10$ g plant⁻¹)。

不同钾肥处理对 R5 时期地上部及根干物重的影响变化并不完全一致,随着钾肥用量的增加地上部生物量表现为先增加后降低的趋势,并且仍然以 K3(13.82 g plant⁻¹)值最高,显著性测验表明不同处理间差异显著($LSD_{0.05} = 0.31$ g plant⁻¹);地下部生物量仍表现为 K3(1.93 g plant⁻¹)处理最优,比对照 K1(1.51 g plant⁻¹)增加 27.82%。钾肥能促进作物早熟,而始粒期(R5)地上部生物产量的差异主

要是由于不同处理的植株生育时期进程并不完全一致,即不同植株的籽粒干物重间存在很大差异,因此钾肥多地上部干物重大,但 K5 处理干物重反而下

降可能是由于光、温、水、气等因素限制或植株自身生理特性的差异而致使生育期滞后,豆荚干物重较低,致使地上部干物重小。

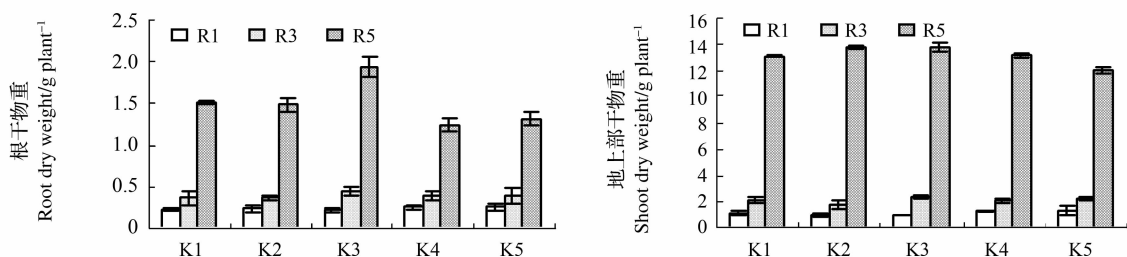


图 1 不同生育时期钾对大豆干物重的影响

Fig. 1 Plant dry matter weight in different K treatment at different stages

2.2 钾对大豆根冠比的影响

根系生长所需的养分来自于地上部茎叶的合成,而茎叶生长则需要根系不断从土壤中吸收水分、矿质元素及合成有关物质来维持。根系生长的快慢与地上部光合产物的积累成反比(Aung, 1974)。根冠比的大小可以反映干物质在地下、地上部分的分配协调状况。图 2 显示了不同施肥处理在大豆不同生育时期内根冠比的变化动态,随着大豆生育进程的推进,根冠比值逐渐下降,说明进入生殖生长期以后根系的生长速度远小于光合产物的积累。比较不同生育时期处理间的差异可以发现 R1 时期与 R3 时期处理间根冠比的变化趋势一致,即 K2 根冠比高于 K1, K2 以后随着钾肥用量的增加根冠比逐渐下降;R5 时期取样根冠比的变化为 K3 值最高,该时期各处理根冠比的差异主要源于不同处理生育进程并不完全一致,即各处理豆荚重量的差异引起根冠比之间有较大的变异。方差分析结果显示 R1 时期 K2 显著高于 K1、K4、K5,其它处理间差异不显著 ($LSD_{0.05} = 0.03$), R3 时期不同钾肥处理间差异不显著, ($LSD_{0.05} = 0.05$), R5 时期处理间差异极显著 ($LSD_{0.05} = 0.01$)。

2.3 不同钾素水平对大豆蛋白质及脂肪含量的影响

钾素影响蛋白质及脂肪在籽粒中的分配(图 3),钾对大豆蛋白质及脂肪含量的影响因不同的环境条件而表现出差异。随着钾肥用量的增加,蛋白质含量总体上呈下降趋势, K1 ~ K5 的蛋白质含量分别为 45.76%、43.85%、44.34%、43.40%、43.54%,方差分析表明 K1 处理显著高于 K2、K4、K5 处理 ($LSD = 1.81\%$);与蛋白质含量变化不同的

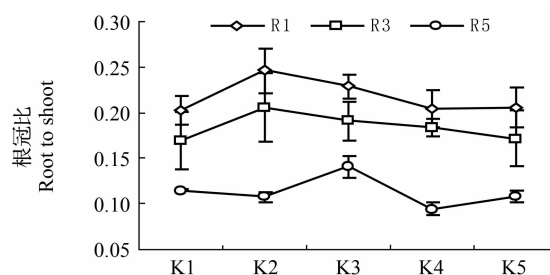


图 2 各时期钾处理对大豆根冠比的影响

Fig. 2 Root to shoot ratio of soybean in different K treatment at different stages

是随着钾肥施用量的增加,脂肪含量逐渐增加, K1 ~ K5 脂肪含量分别为 19.12%、20.02%、20.08%、20.15%、21.08%,与无肥处理 K1 相比,施用钾肥处理均显著提高了脂肪的含量 ($LSD = 0.98\%$)。由图 3 可以看出当蛋白质含量增加时,脂肪含量就相应地下降,二者之和约为籽粒总重的 63%~65%,由于蛋白质和脂肪都是光合作用初级产物衍生而来的,所以二者的消长相互制约,凡环境条件有利于脂肪含量形成时,蛋白质含量则较低(董钻, 2000)。

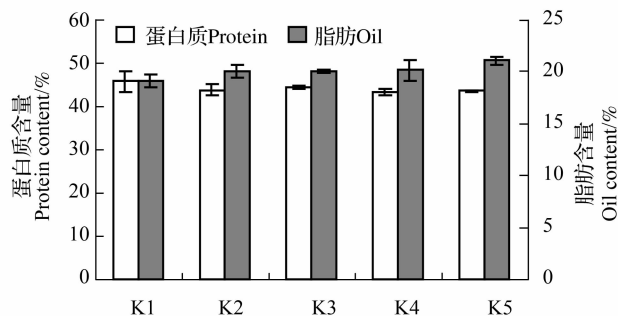


图 3 不同钾处理对大豆蛋白质及脂肪含量的影响

Fig. 3 Percentage of soybean protein and oil under different K treatment

2.4 钾对大豆产量及其构成要素的影响

从表 1 可以看出,钾素对大豆产量的影响因钾肥施用量的不同而表现出差异,总体上钾肥会促进大豆产量的形成,K5、K3 分别比不施钾肥处理 K1 增加了 28.35%、15.73%,并且达到了显著差异,K2、K4 与 K1 间无显著差异,大豆单株产量是单株荚数、每荚粒数、百粒重的综合体现,只有单株荚数多、每荚粒数大、百

粒重高,产量才相应的提高。单株产量并不随着钾肥用量的增加而表现出连续递增的趋势,而是在 K2 与 K4 时略有下降。已有研究表明适量的钾肥对高油大豆有显著增产效果,高量钾肥表现为减产效果(王海泉等,2005)。本试验结果表明钾肥促进大豆产量的形成,随着钾肥用量的增加并未表现钾过量现象,但 K5 与 K3 处理间差异不显著。

表 1 钾肥对大豆产量及其构成因素的影响

Table 1 Effect of potassium fertilizer on yield and yield components in soybean

| 处理 Treatments | 施钾量 Potassium application rate /g K ₂ O kg ⁻¹ soil | 单株荚数 Pods per plant | 每荚粒数 Seeds per pod | 百粒重 100-seed weight/g | 单株产量 Yield per plant/g |
|------------------|--|------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|
| K1 | 0 | 16.63 | 1.80 | 21.51 | 6.42 c |
| K2 | 0.034 | 18.00 | 1.58 | 21.89 | 6.19 c |
| K3 | 0.068 | 18.00 | 1.92 | 21.47 | 7.43 ab |
| K4 | 0.102 | 18.17 | 1.93 | 21.09 | 7.40 b |
| K5 | 0.136 | 19.08 | 2.05 | 21.09 | 8.24 a |
| LSD(0.05) | 1.61 | 0.16 | 2.03 | 0.82 | |

3 讨论

钾肥既是作物生长发育必需的营养元素,同时又是参与品质形成的重要元素,大豆是需钾较多的作物,因此关于钾肥对大豆生长发育及品质影响的研究历来受到人们的重视(吴秀清等,1995;Yin and Tony,2004;Ciro et al.,2001),大豆植株干物质积累与分配和矿质营养元素间的关系是合理运筹肥料的重要依据,本试验发现花期(R1)取样随着钾肥用量的增加,植株地上及地下干物重均有增加,但处理间差异不显著,而荚期(R3)、鼓粒期(R5)取样以 K3 生物量最大,过高的钾肥反而不利于干物质的积累,这与张晓燕和华春(2003)的研究结果一致。由此可见在有效钾含量为 190.80 mg kg⁻¹的黑土上施用一定量的钾肥对干物质积累的影响并未表现出明显的变化规律。

在营养元素亏缺条件下,根系生长通常快于地上部分生长,即保持较高的根冠比,这是因为根系从土壤中所获得的营养和水分将优先保证根系生长的需要,但有研究者认为,作物根系增长并不一定意味着作物高产(Passiowra,1983),本研究发现根冠比因不同生育时期而表现出差异,随着大豆的生长发育,根冠比逐渐下降,即植株地上部的生长发育要快于地下部的生长,R1 与 R3 时期以 K2 处理根冠比值最高,以后随着钾肥用量的增加,根冠比逐渐下降;R5 时期以 K3 处理根冠比最大。

关于钾肥对大豆品质的影响,不同的研究者所

得结论不同,张学斌等研究发现钾肥能够增加大豆蛋白质含量,降低脂肪含量(张学斌等,2002);李春杰等则认为钾肥有提高大豆脂肪,降低蛋白质含量的趋势(李春杰等,2005),钾肥品质效应的差异可能源于试验气候条件的差异,也可能同土壤中有效钾含量多少有关,一般而言在含钾量较高的北方土壤上施用钾肥会降低蛋白质提高脂肪含量。本试验表明随着钾肥用量的增加,蛋白质含量呈下降趋势,而脂肪含量呈上升趋势。大豆的产量是单株荚数、每荚粒数、百粒重的综合体现,本试验中钾肥能提高大豆的单株产量,但主要是通过提高单株荚数及每荚粒数来实现的,而对百粒重没有明显的影响。

4 结论

R1 及 R3 时期取样,不同处理对地上部及根干物重的影响并未达到显著差异水平,R5 时期取样根及地上部干物重以 K3 处理为最优,并且显著高于不施钾肥的处理。随着生育进程的推进,植株干物质的累积逐渐增大,但根冠比值逐渐降低,以 R5 时期干物质积累最多且根冠比值最小。钾肥有提高大豆脂肪降低蛋白质含量的趋势。钾肥能促进产量的形成,随着钾肥用量的增加,产量总体呈上升趋势,K5 处理产量最高,并且显著高于不施钾肥的处理。

References

Aung I H. 1974. Root-shoot relationship. In: Carson E V(ed). The plant root and its environment. University Press of Virginia, Charlottesville-

- ville, US, pp. 29-52
- Ciro A, Rosolem, and João Nakagawa. 2001. Residual and annual potassium fertilization for soybeans. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 59:143-149
- Dong Z, ed. 2000. Soybean yield physiology. China Agricultural Press, China, Beijing, pp. 209 (董钻, 著. 2000. 大豆产量生理. 中国农业出版社, 中国, 北京, pp. 209)
- Han B J, Chen Y, Han X Z, Li H Y, Wang D J, and Sun H. 2003. The dosage of NPK fertilizer in soybean at black soil area. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 19(2):145-152 (韩秉进, 陈渊, 韩晓增, 李惠英, 王德建, 孙航. 2003. 黑土区大豆适宜 NPK 肥料用量研究. *农业系统科学与综合研究*, 19(2):145-152)
- Han X Z, Wang S Y, and Liu X J. 2002. Apply of black soil supplying potassium and effect of potassic fertilizer on soybean. *Soybean Science*, 21(1):36-42 (韩晓增, 王守宇, 刘晓洁. 2002. 黑土钾素分布状态与大豆钾肥效应的研究. *大豆科学*, 21(1):36-42)
- Li C J, Wang J G, Xu Y L, and Li Z L. 2005. Effect of potassium on the yield and quality of soybean. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 21(2):154-160 (李春杰, 王建国, 许艳丽, 李兆林. 2005. 钾对大豆产量及品质的影响. *农业系统科学与综合研究*, 21(2):154-160)
- Li Y Y, Liu S Q, Wu Y, Lin C Z, Zhao Y F, and Sheng X J. 2002. Effect of potash application on the dynamic change of potassium content in meadow soil and crops yield. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, (1):26-27 (李玉影, 刘双全, 吴英, 林春芝, 赵云峰, 升显江. 2002. 长期施钾对草甸土钾素动态变化及产量的影响. *黑龙江农业科学*, (1):26-27)
- Liu P Y. 2001. A survey of continuous and every other cropping of soybean in Heilongjiang province. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, (3):31-34 (刘佩印. 2001. 黑龙江省大豆重迎茬现状及对策. *黑龙江农业科学*, (3):31-34)
- Lu R K, ed. 1999. Analytic technique of soil agricultural chemistry. China Agriculture Science and Technology Press, China, Beijing, pp. 431-434, 458-462 (鲁如坤, 著. 1999. 土壤农业化学分析方法. 中国农业科技出版社, 中国, 北京, pp. 431-434, 458-462)
- Passiowra J B. 1983. Root and drought resistance. *Agricultural Water Management*, 7:265-280
- Wang H Q, Zhu J Q, and Wang J X. 2005. Effect of potassium on the yield and quality of high-oil content soybean. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, (6):19-21 (王海泉, 朱继强, 汪建学. 2005. 钾对高油大豆产量和品质的影响. *黑龙江农业科学*, (6):19-21)
- Wu X Q, Ge J Q, Wang H Y, and Sun C S. 1995. Studies on effect of potassium fertilizer on soybean yield in black soil region. *Journal of Northeast Agriculture University*, 26(1):1-6 (吴秀清, 葛家麒, 王宏燕, 孙聪妹. 1995. 黑土地区钾肥对大豆产量效应的研究. *东北农业大学学报*, 26(1):1-6)
- Yin X H, and Tony J Vyn. 2004. Residual effects of potassium placement for conservation-till corn on subsequent no-till soybean. *Soil & Tillage Research*, 75:151-159
- Zhang X B, Sun K G, Wang L G, Liu C M, Wang J Y, and Jia G H. 2002. The research on effect of potassium fertilizer application to summer-soybean in Henan Province. *Soils and Fertilizers*, (1):23-25 (张学斌, 孙克刚, 汪立刚, 刘纯敏, 王继印, 贾改花. 2002. 河南省夏大豆施用钾肥的效果研究. *土壤肥料*, (1):23-25)
- Zhang X Y, and Hua C. 2003. The effect of potassium fertilizer on dry matter accumulation and its partition in different organs of rape. *Journal of Huaiyin Teachers College (Natural Science Edition)*, 2(4):333-337 (张晓燕, 华春. 2003. 钾肥对油菜干物质积累及分配的影响. *淮阴师范学院学报(自然科学版)*, 2(4):333-337)
- Zhang Y S, Yu Z R, and Driessen P M. 2002. Experimental study of assimilate production, partitioning and translocation among plant organs in summer maize (*Zea mays*) under various environmental and management conditions. *Acta Agronomica Sinica*, 28(1):104-109 (张银锁, 宇振荣, Driessen P M. 2002. 环境条件和栽培管理对夏玉米干物质积累、分配及转移的实验研究. *作物学报*, 28(1):104-109)
- Zheng S Q. 2001. Effect of potassium on the physiology, yield and quality of soybean. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, (4):25-27 (郑淑琴. 2001. 钾对大豆生理效应及产量和品质的影响. *黑龙江农业科学*, (4):25-27)