

# 大豆钾营养研究进展

闫春娟, 宋书宏, 王文斌, 曹永强, 董丽杰, 王昌陵

(辽宁省农业科学院 作物研究所, 辽宁 沈阳 110161)

**摘要:**从钾肥促进大豆对水分、养分的吸收利用,提高植株的抗旱、抗病虫害、抗倒伏等抗逆性进行综述,并阐述了钾肥对大豆生理特性及产量品质的影响,总结了大豆的需钾特性,为钾肥在大豆生产上的应用提供理论依据。

**关键词:**钾营养;大豆;研究进展

**中图分类号:**S565.1      **文献标识码:**A      **文章编号:**1000-9841(2009)05-0926-05

## Advances of Potassium Nutrition in Soybean

YAN Chun-juan, SONG Shu-hong, WANG Wen-bin, CAO Yong-qiang, DONG Li-jie, WANG Chang-ling

(Crop Institute of Liaoning Academy of Agricultural Science, Shenyang 110161, Liaoning, China)

**Abstract:** Potassium nutrition plays a vital role in the growth and development of soybean, which has positive effect on soybean yield and quality. This paper elucidated the important function of potassium nutrition on accelerating soybean mineral uptake and enhancing its drought, lodging, disease resistance. The review also summarized the effect of potassium fertilizer on physiological characteristics, yield and quality of soybean. And this thesis formulated the characteristics of potassium requirement by soybean. The aim is to provide theory evidences for the potassium fertilizer application in soybean production.

**Key words:** Potassium nutrition; Soybean; Research development

钾是作物必需的大量营养元素。我国农业很早就使用含钾的肥料,如农书上记载的“灰粪”、“火粪”等,所指的就是农村普遍使用的草木灰。除草木灰外,各种农家有机肥中都含有一定数量的钾元素。我国在几千年的农业生产过程中,主要靠施用有机肥提供钾素和其它各种养分。目前,在我国有一些地区已开始大面积施用钾肥,但有机肥料所提供的钾素仍占大部分比例。钾肥不仅是植物生长发育所必需的营养元素,而且是肥料三要素之一。许多植物需钾量都很大,它在植物体内的含量仅次于氮。农业生产实践证明,施用钾肥对提高作物产量和改进品质均有明显的作用。大豆是需钾较多的作物,因此有关钾肥对大豆生长发育影响方面的研究较多,并取得了一定的成果。从钾肥促进大豆对水分及肥料的吸收利用并提高其抗逆性,以及钾肥对大豆生理特性、产量和品质的影响进行综述,以期进一步探索大豆的钾营养理论,为钾肥在大豆生产上的应用提供理论依据。

### 1 钾肥能够促进大豆对水分及肥料的吸收利用并提高其抗逆性

#### 1.1 钾肥能促进大豆对水分的吸收利用

钾在提高大豆的水分利用率(WUE)方面有积极作用。水分利用率是半干旱地区农田降水利用率(RWUE)的基本组分之一,提高水分利用率可有效地提高农田降水利用率。钾肥能提高水分利用效率主要是由于钾离子能较多地累积在细胞之中,因此使细胞渗透压增加并使水分从低浓度的土壤溶液中向高浓度的根细胞中移动,从而有利于大豆根系吸水。而细胞中钾离子浓度的增加可提高细胞的渗透势,防止细胞或植物组织脱水。钾离子还能提高胶体对水的束缚能力,使原生质充水膨胀而保持一定的充水度、分散度和粘滞性。所以钾素能增强细胞膜的持水能力,使细胞膜保持稳定的透性。而渗透势和透性的增强将有利于细胞从外界吸水<sup>[1]</sup>。同时钾离子能够调节气孔的开放,当钾素充足时,可以减少水分的蒸腾,从而使植株更有效的利用水分。

收稿日期:2009-03-14

基金项目:辽宁省科学技术基金资助项目(20082133)。

作者简介:闫春娟(1983-),女,硕士,研究方向为大豆育种及栽培研究。E-mail:yanchunjuan1983@163.com。

1.2 钾肥能促进大豆对其他肥料的吸收

大豆植株的正常生长发育,不仅取决于 N、P、K 三要素营养水平的高低,而且取决于对三要素的平衡吸收,这种平衡吸收的关系又依赖于土壤供肥水平和科学施肥<sup>[2]</sup>。养分供应失调时,就会影响作物的正常生长和发育,近年来,在一些缺钾的土壤上单靠增施氮肥,已不能再增加产量,或者氮肥的效用比以前下降。而土壤中钾素贫乏,氮、钾营养比例失调是氮肥效用下降的原因之一,因此各种养分的平衡供应是作物高产的必要条件。关于大豆氮、磷、钾平衡吸收及相互促进的关系前人已做了大量的研究,并取得了许多成果<sup>[3-5]</sup>。一些研究指出钾肥能够促进大豆对氮肥的吸收而节约氮肥,并可以促进大豆对磷肥的吸收,增加磷肥在植株体内的累积<sup>[6-7]</sup>。而大豆的最优施肥配比则因土壤不同而异。在山东青岛测定的大豆高产最佳肥料配比用量为 N 50 kg·hm<sup>-2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 105 kg·hm<sup>-2</sup>, K<sub>2</sub>O 90 kg·hm<sup>-2</sup>; 而河南驻马店的最优肥料配比为 N 150 kg·hm<sup>-2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg·hm<sup>-2</sup>, K<sub>2</sub>O 75 kg·hm<sup>-2</sup>; 在辽宁省沈阳市的最优施肥配比则为 N 60 kg·hm<sup>-2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 ~ 120 kg·hm<sup>-2</sup>, K<sub>2</sub>O 70 ~ 90 kg·hm<sup>-2</sup><sup>[8-10]</sup>。更为确切的研究发现大豆每生产 100 kg 籽粒,从土壤中摄取的 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 的数量并不是一个恒定值,在辽宁省沈阳市的棕壤试验结果显示每形成 100 kg 大豆籽粒需要 N: 8.71 ~ 9.29 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 1.97 ~ 2.47 kg、K<sub>2</sub>O: 3.24 ~ 3.63 kg<sup>[11]</sup>。

1.3 钾肥能提高大豆植株的抗性

钾的重要生理作用之一是增强细胞对环境条件的调节作用。钾能促进植物对各种不良状况的忍受能力,可增强大豆的抗旱、抗倒伏、抗冻害、抗病虫害侵袭和抗不良土壤环境的能力。钾能提高作物的抗旱性,而水分也能促进作物对钾肥的吸收<sup>[12-15]</sup>。钾在增强作物抗旱能力方面的作用很大。当钾素供应充分时,根系发育好,有利于从土壤中吸收水分;同时钾对水分和各种同化物在植物体内的长距离运输起作用,可提高植株的抗旱性。大豆施钾肥可提高植株和叶片的含钾量,从而促使根、茎、叶的维管束发达,不仅利于水分和养分的运输,而且在较干旱的条件下,能使作物细胞保存足够的水分而维持膨压,增强大豆植株耐高温和抗旱能力,利于作物的正常生长<sup>[16]</sup>。钾可壮秸秆,增强抗逆能力,并能增强厚

角组织,调节细胞水分,影响细胞膨胀压力,使植株挺立,防止倒伏,减轻病害,增强作物的抗虫害、抗冻害和抗不良土壤环境的能力,因此钾是保证大豆健壮生长不可缺少的重要元素。当钾素充足时,植物细胞壁增厚、茎秆坚韧、抗寄生菌穿透的机械阻力增加,同时作物体内的低分子化合物减少,病原菌缺少食物来源,便阻止了病害的发展,故钾在增强作物抗病害方面的作用是很明显的。在我国一些偏施氮肥导致病害严重的地区,配施钾肥后病害大为减轻,故有“钾肥似农药”的说法。此外,一些研究者认为钾肥在降低植物发病率方面,除钾素起作用外,其他伴随阴离子也可能影响植物抗病性,如氯离子、磷酸根离子、硝酸根离子等<sup>[17]</sup>。许多研究也指出施用氯化钾能降低大豆猝死症,而由腐皮镰刀菌 (*Fusarium solani*) 所引起的大豆猝死症可降低达 36%<sup>[5,18-19]</sup>。

2 大豆需钾特性

大豆作为一种喜钾作物,其一生对钾的需求不尽相同,大豆植株吸收 K<sub>2</sub>O 最快的时间约在出苗后第 56 ~ 63 天,大豆整个生育期植株吸钾量随着生物量的增大而增加,各时期吸钾量由大到小的顺序为:成熟期 > 鼓粒期 > 开花期 > 三叶期。大豆单株的 K<sub>2</sub>O 绝对含量的积累动态与干物质的积累动态基本上是同步的,都可用 Logistic 曲线方程加以表达。而随着生育进程的推进,大豆体内钾浓度呈逐渐下降的趋势,即随着植株的增长,钾的浓度逐渐变小,以三叶期植株体内全钾含量最高,其次是盛花期,鼓粒期和成熟期含量较低。在大豆生长发育过程中,植株各部位 K 的百分含量各不相同,并按叶片、叶柄、茎秆和荚皮顺序呈递降趋势<sup>[11,20]</sup>。

大豆的吸钾量同施肥量与品种密切相关。供钾量过高或过低均影响大豆植株对钾的吸收利用,一般而言施钾的大豆植株吸钾量要高于不施钾肥处理,钾肥用量过低满足不了大豆旺盛生长的需要,但钾肥用量过高即浪费资源,又在一定程度上影响大豆生长发育;前人研究指出夏大豆对 K<sub>2</sub>O 的积累(或吸收)速率明显高于春大豆,夏大豆在出苗 ~ 始花期(6 月 16 日 ~ 7 月 16 日)、始花期 ~ 结荚末期(7 月 16 日 ~ 8 月 1 日)2 个阶段 K<sub>2</sub>O 的积累速率分别为 0.0116 ~ 0.0201、0.0567 ~ 0.0806 g·株<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>。而春大豆出苗 ~ 花期(5 月 13 日 ~ 7 月 15 日)、花

期~结荚期(5月13日~7月15日)2个阶段  $K_2O$  的积累速率分别为  $0.0072 \sim 0.0079$ 、 $0.0079 \sim 0.009 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$  [21-23]。

3 钾肥对大豆生理特性及产量品质的影响

3.1 钾肥对大豆生理特性的影响

作为植物营养三要素之一,与氮、磷元素不同,钾不是植物体内有机化合物的成分,而是呈离子状态溶于植物汁液之中,其主要功能与植物的新陈代谢有关。钾在植物体中对60多种酶体系的活化起着关键作用,并促进蛋白质的合成。钾能调节阴阳离子平衡和pH值,而且能平衡酸性氨基酸中的负电荷,促使蛋白质结构稳定。钾可以加快作物导管和筛管的运输速率,并促进多种代谢过程。钾素对光合作用也起着积极的作用,钾营养好的作物,能调节单位叶面的气孔数和气孔大小,促进二氧化碳( $CO_2$ )和来自叶组织的氧( $O_2$ )的交换。

大豆是一种需钾较多的作物,关于钾素对大豆生理特性的影响前人做了大量研究并取得了许多成果[23-27]。钾对大豆生理活性有积极的促进作用,它对大豆的叶绿素含量、光合作用强度有明显的正效应,钾还具有提高大豆硝酸还原酶活性,促进硝态氮代谢的作用[20,28]。钾能促进大豆体内含氮化合物的积累,增加大豆的根瘤数及根瘤重,提高有效根瘤数[29-30]。一定量的钾肥能促进大豆植株地上及地下部的干物重,提高根冠比[31]。钾素对大豆体内超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)等细胞保护酶的活性均有不同程度的影响[32]。

近年来一些研究指出钾对大豆生理特性的影响因品种而异[33-35]。钾低效大豆品系受钾浓度的影响较大,低钾胁迫时大豆根系受到严重影响,而钾高效大豆品系根系在低钾胁迫时受到影响较小[36]。唐劲驰等[37]通过探讨不同基因型大豆低钾胁迫条件下,各品种对钾素的耐性极限及缺钾症状时,指出有些品种表现出较好的耐低钾性,叶片只出现褐色斑点或斑块,并密集于脉间,但多数品种表现出叶片“鱼骨状”失绿、“斑驳状”失绿、“点状”失绿以及叶片皱缩、变薄等症状。

3.2 钾肥对产量的影响

许多研究表明钾肥可以提高大豆产量[38-39]。施用钾肥使大豆增产的主要原因是,钾离子可调节

大豆体内的多种代谢过程的正常运行,并通过调节气孔开放从而促进光合作用,保证植株有较好的源供应,并促进“源”的物质和能量向“库”的运输,最终促进大豆产量的形成。一定量的钾肥能促进产量的形成,但施用过量钾肥不会使产量继续增加,同时会影响大豆对钙、镁等阳离子的吸收。因此研究大豆产量的最优钾浓度意义重大,Ciro等[40]研究巴西热带及亚热带环境下钾肥对大豆产量的影响,指出当土壤钾含量为  $1.2 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ,叶片钾含量大约为  $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时大豆产量最高。

3.3 钾肥对品质的影响

钾是品质元素,它在改善品质方面的良好作用,除了表现在提高基本营养物质(如蛋白质、碳水化合物等)外,还可增加作物体内矿物质含量。钾主要通过提高光合效率,促进光合产物的运输来提高大豆的品质。钾素充足时利于单糖向蔗糖、淀粉合成方向进行。同时钾还能促进作物对氮的吸收和利用,有利于蛋白质的合成。关于钾肥对大豆品质的影响,不同的研究者所得结论不同,一些研究者认为钾肥能够提高大豆蛋白质含量,降低脂肪含量[29];另一些研究者则认为钾肥有提高大豆脂肪,降低蛋白质含量的趋势[41-43],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黑土上施用钾肥会降低蛋白质含量而提高脂肪含量。

4 展望

钾肥在大豆的一生中起着至关重要的作用,钾素能够提高大豆植株对不良环境的抵抗能力,能够调节大豆体内新陈代谢的正常运行,钾离子通过调节并促进各项生理指标的良好运作,从而提高产量,改善品质。但是关于钾肥对大豆生长发育影响的更为内在机理性的报道较少,特别是受其它因素影响较小的水培或沙培条件下,有关不同钾浓度对大豆根固氮能力、根系分泌物及体内各种激活酶等的研究还不够深入。因此有必要对大豆钾营养做更为深入的研究。

参考文献

[1] 陆景陵. 植物营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1994: 65. (Lu J L. Plant nutrition[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 1994: 65. )

[2] 高聚林,刘克礼,李惠智,等. 大豆群体对氮、磷、钾的平衡吸收关系的研究[J]. 大豆科学,2004,23(2):106-110. ( Gao J L, Liu K L,Li H Z,et al. Study on balance absorption of dry farming soybean plants to N,P,K[J]. Soybean Science,2004,23(2):106-110. )

[3] Randall G W, Evans S D, Iragavarapu T K. Long – term P and K applications:II Effect on corn and soybean yields and plant P and K concentrations[ J]. Journal of Production Agriculture, 1997, 10(4):572-580.

[4] Casanova E. Phosphorus and potassium fertilization and mineral nutrition of soybean[ J]. Interciencia,2000 ,25(2) :92-95.

[5] 刘克礼,高聚林,王立刚. 大豆对氮、磷、钾的平衡吸收动态的研究[J]. 中国油料作物学报,2004,26(1):51-54. ( Liu K L, Gao J L, Wang L G. Study on dynamic balance assimilation of N,P and K in soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2004, 26(1):51-54. )

[6] 汪自强,董明远,叶飞华. 不同供钾水平下春大豆的磷积累和利用[J]. 中国油料,1997,19(2):38-41. ( Wang Z Q, Dong M Y, Ye F H. The phosphorus accumulation and utilization of various spring soybean genotypes under different potassium supplies[ J]. Chinese Oil,1997,19(2):38-41. )

[7] 李洪喜,焦占力,王忠. 氮和钾肥对大豆的增产效果[J]. 黑龙江农业科学,2008(3):66-67. ( Li H X,Jiao Z L,Wang Z. Effect of applying nitrogen and potassium fertilizer on enhancing soybean yield[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences,2008(3):66-67. )

[8] 王政,高瑞凤,李文香,等. 氮磷钾肥配施对大豆干物质积累及产量的影响[ J]. 大豆科学,2008,27(4):588-598. ( Wang Z, Gao R F,Li W X,et al. Effect of nitrogen,phosphorus and potassium fertilizer combined application on dry matter accumulation and yield of soybean[J]. Soybean Science,2008,27(4):588-598. )

[9] 许海涛,王友华,许波,等. 氮磷钾优化施肥对高蛋白大豆籽粒及蛋白质产量的影响[J]. 土壤通报,2008,39(1):195-196. ( Xu H T,Wang Y H,Xu B,et al. Effects of optimum N,P and K combination fertilization on grain yield and grain protein of a high protein content soybean [ J]. Chinese Journal of Soil Science, 2008,39(1):195-196. )

[10] 华利民. 氮、磷、钾肥配方施用对大豆产量及经济效益的影响[ J]. 杂粮作物,2003,23(3):174-175. ( Hua L M. Effect of nitrogen ,phosphorus and potassium fertilizer combined application on economic efficiency and yield of soybean [ J]. Rain Fed Crops, 2003,23(3):174-175. )

[11] 董钻,谢甫绶. 大豆氮磷钾吸收动态及模式的研究[ J]. 作物学报,1996,22(1):89-95. ( Dong Z,Xie F T. Studies on dynamics and models of N,P,K absorption in soybeans[ J]. Acta Agronomica Sinica,1996,22(1):89-95. )

[12] 吴秀清,葛家麒,王宏燕,等. 黑土地地区钾肥对大豆产量效应的研究[ J]. 东北农业大学学报,1995,26(1):1-6. ( Wu X Q,Ge J L,Wang H Y,et al. Studies on effect of potassium fertilizer on soybean yield in black soil region[J]. Journal of Northeast Agricultural University,1995,26(1):1-6. )

[13] Royo C,Blanco R. Use of potassium iodide to mimic drought stress in triticale[J]. Field Crops Research,1998,59:201-212.

[14] Dobermann A, Cassman K G, Mamaril C P, et al. Management of phosphorus, potassium, and sulfur in intensive, irrigated lowland rice[J]. Field Crops Research,1998,56:113-138.

[15] 韩晓增,王守宇,刘晓杰. 黑土钾素分布状态与大豆钾肥效应的研究[ J]. 大豆科学,2002,21(1):36-42. ( Han X Z,Wang S Y,Liu X J. Ability of black soil supplying potassium and effect of potassic fertilizer on soybean[ J]. Soybean Science,2002,21(1):36-42. )

[16] 李舒凡,沈桂琴,徐美德. 施钾对增强大豆抗旱性的影响[ J]. 大豆科学,1993,12(4):302-307. ( Li S F,Shen G Q,Xu M D. Effect of potassium application on promotion drought resistance of soybean[ J]. Soybean Science,1993,12(4):302-307. )

[17] 刘晓燕,何萍,金继运. 钾在植物抗病性中的作用及机理的研究进展[ J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(3):445-450. ( Liu X Y,He P,Jin J Y. Advances in effect of potassium nutrition on plant disease resistance and its mechanism[ J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2006,12(3):445-450. )

[18] Howard D D, Chambers A Y, Brawley P W, et al. Fertilization effects on soybean sudden death syndrome[ J]. Better Crops with Plant Food,1992,77(1):14-15.

[19] Sanngo S, Yang X B. Relation of sand content, pH, and potassium and phosphorus nutrition to the development of sudden death syndrome in soybean[J]. Canadian Journal of Plant Pathology,2001, 23(2):174-180.

[20] 李玉影. 大豆需钾特性及钾肥效应[ J]. 植物营养与肥料学报, 1998,4(4):414-418. ( Li Y Y. Characteristics of potassium requirement by soybean and the effect of potash fertilization[ J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,1998,4(4):414-418. )

[21] 蒋工颖,董钻. 大豆养分吸收动态及施肥效果的研究[ J]. 作物学报,1989,15(2):165-173. ( Jiang G Y,Dong Z. Studies on the trends of nutrient uptake and effect of fertilizer application on soybean[ J]. Acta Agronomica Sinica,1989,15(2):165-173. )

[22] 李永孝,崔如,丁发武,等. 夏大豆植株氮、磷、钾含量与水肥的关系[ J]. 作物学报,1992,18(6):463-474. ( Li Y X,Cui R, Ding F W,et al. Relationship between the contents of N,P,K and water supply and fertilizer in summer soybean[ J]. Acta Agronomica Sinica,1992,18(6):463-474. )

[23] Liu X B,Herbert S J. Responses of photosynthetic rates and yield/ quality of main crops to irrigation and manure application in the black soil area of Northeast China[ J]. Plant and Soil,2004,261: 55-60.

[24] 闫春娟,韩晓增,王守宇,等. 水钾耦合对大豆干物质积累和产量的影响[ J]. 大豆科学,2007,26(6):862-867. ( Yan C J,Han X Z,Wang S Y,et al. Effect of water – potassium coupling on dry matter accumulation and yield of soybean[ J]. Soybean Science, 2007,26(6):862-867. )

[25] 郝建军,于长海,王晗,等. 碳酸氢钾对大豆幼苗光合作用的影响[J]. 植物生理学通讯,2008,44(4):723-725. ( Hao J J,Yu C H,Wang H,et al. Effect of  $\text{KHCO}_3$  on photosynthesis of soybean seedlings[J]. Plant Physiology Communications, 2008, 44 ( 4 ): 723-725. )

[26] 王伟,李兴涛,綦左莹,等. 低钾胁迫对不同效应型大豆光合特性及叶绿素荧光参数的影响[J]. 大豆科学,2008,27(3):451-455. ( Wang W,Li X T,Qi Z Y,et al. Effect of low potassium stress on photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters of two soybean varieties with different K - efficiency [ J ]. Soybean Science,2008,27(3):451-455. )

[27] 乔云发,韩晓增,苗淑杰,等. 黑土区水肥耦合对大豆产量的影响[J]. 大豆通报,2008,1:25-27( Qiao Y F,Han X Z,Miao S J, et al. Effects of water and fertilizer coupling on yield of soybean at black soil area[ J ]. Soybean Bulletin,2008,1:25-27)

[28] 郑淑琴. 钾对大豆生理效应及产量和品质的影响[J]. 黑龙江农业科学,2001(4):25-27. ( Zheng S Q. Effect of potassium on the physiology, yield and quality of soybean[ J ]. Heilongjiang Agricultural Science,2001(4):25-27. )

[29] 张学斌,孙克刚,汪立刚,等. 河南省夏大豆施用钾肥的效果研究[J]. 土壤肥料,2002,(1):23-25. ( Zhang X B,Sun K G, Wang L G,et al. The research on effect of potassium fertilizer application to summer - soybean in Henan province[ J ]. Soils and Fertilizers,2002,(1):23-25. )

[30] 刘颖,李玉影,刘凤阁,等. 氮磷钾营养对高油大豆含氮化合物积累及产量的影响[J]. 大豆科学,2008,27(4):645-653. ( Liu Y,Li Y Y,Liu F G,et al. Balanced fertilization of nitrogen, phosphorus and potassium enhanced accumulation of nitrogen compound and yield of high - oil soybean[ J ]. Soybean Science,2008, 27(4):645-653. )

[31] 闫春娟,韩晓增,王树起,等. 钾对大豆干物质积累、产量及品质的影响[J]. 大豆科学,2008,27(1):113-117. ( Yan C J,Han X Z,Wang S Q,et al. Effect of potassium fertilizer on dry matter accumulation,yield and quality of soybean[ J ]. Soybean Science, 2008,27(1):113-117. )

[32] 王伟,曹敏建,王晓光,等. 低钾胁迫对不同钾营养效应型大豆保护酶系统的影响[J]. 大豆科学,2005,24(2):101-105. ( Wang W,Cao M J,Wang X G,et al. Effect of low potassium stress on protective systems of different K - nutrient effective soybean varieties[ J ]. Soybean Science,2005,24(2):101-105. )

[33] 王晓光,曹敏建,王伟,等. 钾对大豆根系形态与生理特性的影响[J]. 大豆科学,2005,24(2):126-129,134. ( Wang X G,Cao M J,Wang W,et al. Effects of potassium concentration in the soil on the morphological and physiological characteristics of soybean root[ J ]. Soybean Science,2005,24(2):126-129,134. )

[34] 唐劲驰,曹敏建. 2 个大豆基因型钾效率的比较研究[J]. 华南农业大学学报,2005,26(1):7-10. ( Tang J C,Cao M J. Comparison of potassium efficiency of two soybean genotypes[ J ]. Journal of South China Agricultural University,2005,26(1):7-10. )

[35] 李植,王伟,周春喜,等. 不同钾营养型大豆主要形态、生理及产量指标的研究[J]. 沈阳农业大学学报,2007,38(4):483-487. ( Li Z,Wang W,Zhou C X,et al. Morphological and physiological characters, and yield of different potassium efficient soybean varieties[ J ]. Journal of Shenyang Agricultural University,2007,38 (4):483-487. )

[36] 綦左莹,王伟,曹敏建. 不同钾效应型大豆根系形态和生理特性差异的比较[J]. 沈阳农业大学学报,2008,39(2):137-140. ( Qi Z Y,Wang W,Cao M J. The morphological and physiological diversities in roots of different potassium efficient soybean lines [ J ]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2008, 39 ( 2 ): 137-140. )

[37] 唐劲驰,曹敏建,祝子平,等. 不同基因型大豆对低钾的耐性极限及缺钾症状研究简报[J]. 大豆科学,2001,20(4):295-297. ( Tang J C,Cao M J,Zhu Z P,et al. Resistance limit and symptom of different genotypes of soybean to low potassium [ J ]. Soybean Science,2001,20(4):295-297. )

[38] 李玉影,刘双全,吴英,等. 长期施钾对草甸土钾素动态变化及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学,2002,(1):26-27. ( Li Y Y, Liu S Q,Wu Y,et al. Effect of potash application on the dynamic change of potassium content in meadow soil and crops yield[ J ]. Heilongjiang Agricultural Science,2002,(1):26-27. )

[39] Yin X H,Tony J Vyn. Residual effects of potassium placement for conservation - till corn on subsequent no - till soybean[ J ]. Soil & Tillage Research,2004,75:151-159.

[40] Ciro A Rosolem,João Nakagawa. Residual and annual potassium fertilization for soybeans[ J ]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2001,59:143-149.

[41] 李春杰,王建国,许艳丽,等. 钾对大豆产量及品质的影响[J]. 农业系统科学与综合研究,2005,21(2):154-160. ( Li C J, Wang J G,Xu Y L,et al. Effect of potassium on the yield and quality of soybean[ J ]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture,2005,21(2):154-160. )

[42] 王海泉,朱继强,汪建学. 钾对高油大豆产量和品质的影响[J]. 黑龙江农业科学,2005(6):19-21. ( Wang H Q,Zhu J Q, Wang J X. Effect of potassium on the yield and quality of high - oil content soybean[ J ]. Heilongjiang Agricultural Sciences,2005(6): 19-21. )

[43] 宁海龙,胡国华,李文滨,等. 氮磷钾底肥对大豆蛋白质含量的效应[J]. 大豆科学,2006,25(3):288-293. ( Ning H L,Hu G H,Li W B,et al. The effects of based NPK fertilizer on protein content in soybean[ J ]. Soybean Science,2006,25(3):288-293. )