

不同低钾耐性大豆品种钾素效率的差异

李兴涛¹, 佟晓楠¹, 于海秋², 王宁³, 王晓光², 曹敏建²

(1. 赣南师范学院 生命和环境科学学院, 江西 赣州 341000; 2. 沈阳农业大学 农学院, 辽宁 沈阳 110161; 3. 中国农业科学院 农业信息研究所, 北京 100081)

摘要:以低钾耐性品种沈农6号和九农15, 低钾敏感性品种铁丰31和GD8521为材料, 通过盆栽试验研究了不同低钾耐性大豆品种的钾利用效率和吸收效率。结果表明:低钾胁迫下耐性品种的钾利用效率都显著提高, 敏感性品种提高不显著;低钾胁迫下耐性和敏感品种钾吸收效率都呈下降趋势;此外, 耐性品种低钾胁迫的籽粒钾利用效率、钾收获指数都显著高于施钾条件, 敏感性品种两处理间无显著差别。综上所述, 耐性品种与敏感性品种相比在低钾胁迫下依然能获得较高产量主要原因是具备更高的钾利用效率。

关键词:大豆品种;低钾耐性;钾吸收效率;钾利用效率

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2014.03.0385

Potassium Efficiency of Different Low K Tolerant Soybean Varieties

LI Xing-tao^{1,2}, TONG Xiao-nan¹, YU Hai-qiu², WANG Ning³, WANG Xiao-Guang², CAO Min-jian²

(1. College of Life and Environment, Gannan Normal University, Ganzhou 341000, China; 2. Agronomy College, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 3. Agricultural Information Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to study K efficiency of different low K tolerant soybean varieties under low K stress, we carried out pot culture, with low K-tolerant soybean varieties Shennong 6 and Jiunong 15, low K sensitive soybean varieties Tiefeng 31 and GD8521 under low K stress and K applied treatment. Significant difference of K utilization efficiency was found in low K tolerant soybean between low K stress and K applied treatment, while the K utilization efficiency of low K sensitive soybean between low K stress and K applied treatment was no significant difference. The K uptake efficiency of low K tolerant and low K sensitive soybean cultivars declined under the low K stress. The grain yield K utilization efficiency and K harvest index of low K tolerant soybean cultivars under low K stress were significant higher than that under K applied treatment. However, no significant differences of low K sensitive soybean cultivars were found between low K stress and K applied treatment. These results implied that the higher K utilization efficiency caused the higher tolerance coefficient for the low K sensitive soybean cultivars.

Key words: Soybean cultivars; Low K tolerance; K uptake efficiency; K utilization efficiency

钾是作物生长发育必需的矿质元素,参与作物体内多种酶活化,对蛋白质合成和光合作用起着重要作用,还具有细胞内渗透压和气孔运动的调控功能。据统计,全世界 1.3×10^9 hm²耕地中,受到严重营养胁迫的占22.5%,其中大约40%是因缺钾引起的^[1]。目前中国农业生产中面临的一个突出问题是较低的农田土壤钾素及钾肥利用效率限制了作物产量潜力的发挥和产品品质的进一步改善^[2]。充分利用我国丰富的植物种质资源,筛选在低钾土壤能获得高产的作物基因型,通过常规育种和生物技术培育在理论和实践中是可行的,且具有重要意义^[3]。

对于描述低钾土壤获得高产的基因型,学术界有两套评价体系,第一种分为低钾耐性(low K-tolerance)和低钾敏感性(low K-sensitive)品种,第二种分为钾高效(high K efficiency)和钾低效(low K effi-

ciency)品种。钾耐性是通过耐性系数(缺钾条件下的经济产量/施钾条件下的经济产量)进行评价^[4]。钾效率的定义是某个基因型在一定的钾养分供给条件下,获得高产或高养分的能力^[3]。计算钾效率的公式很多,一般分为钾吸收效率和钾利用效率。很多学者都认为钾效率是植物营养遗传改良研究的重点^[2-3]。也有学者认为钾效率的研究现在变成各种公式计算不同结果的纯理论,偏离了低钾胁迫下获得更高产量的目标,故耐性才是最简单、方便的研究途径^[4]。众多学者在这两套评价体系下做了相关的大量筛选和生理研究,但是钾耐性品种和钾效率品种之间的关系迄今鲜有相关报道,耐低钾品种和钾高效品种之间的关系并不明确。

近年来,本课题组在辽宁省辽中县低钾土地上,以耐性系数(缺钾条件下的经济产量/施钾条件下的经济产量)为指标,筛选出一批对低钾具有较

收稿日期:2013-11-25

基金项目:国家自然科学基金(31271644)。

第一作者简介:李兴涛(1977-),男,博士,讲师,主要从事植物营养逆境相关研究。E-mail:li-sailor@163.com。

通讯作者:王宁(1981-),女,讲师,博士,主要从事作物逆境生理和文献计量学研究。E-mail:wanning01@caas.cn。

高耐性和较低耐性的大豆品种(系)^[5-6]。本研究对不同低钾耐性大豆品种的钾吸收效率和钾利用效率进行研究,旨在明确不同低钾耐性大豆品种钾效率的生理特性,为进一步开展钾高效大豆育种奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2008年5~9月在沈阳农业大学农学院科研实验基地进行。以耐低钾品种九农15和沈农6号,不耐低钾品种GD8521和铁丰31为材料,采用盆栽方式,所用盆钵为红色泥瓦盆,直径30 cm,高35 cm;供试土壤类型是耕型砂质碳酸盐草甸土;土壤中碱解氮、速效磷和速效钾含量分别为78.3, 70.2, 43.0 mg·kg⁻¹,土壤有机质含量为9.25 mg·kg⁻¹, pH7.0,土壤装盆前晾干后过8目筛,每盆装土16 kg。设低钾(未施钾肥)和施钾(增施速效钾150 mg·kg⁻¹)两个处理,钾肥采用速效钾每盆用量为1.79 g。每个品种不同处理各40盆,2008年5月4日每盆点播3粒种子,出苗一周后定苗,每盆保留1株。N、P肥采用磷酸二氨,每盆施6 g,补充微肥硫酸锌,每盆0.5 g,以底肥形式一次施入。

1.2 测定项目与方法

在大豆生长期内分别于分枝期(7月2日)、开花期(7月22日)、结荚期(8月11)、鼓粒期(8月31日)和成熟期(9月18日)取样5次。每次取样3株,自子叶节处剪去根系,测量时将叶片(含叶柄)、茎(含分枝)、豆荚分开,在105℃下杀青40 min,在

80℃烘干至恒重,使用百分之一称重。精确称取样品1.000 0 g,采用H₂SO₄-H₂O₂消化后,定容于50 mL容量瓶中,成为待测液。待测液稀释2.5倍后用英国Sherwood M425型火焰亮度计测定钾含量,具体测定方法按照Lu等^[7]的方法进行。

根据Damon的计算公式计算钾吸收、利用和籽粒的钾效率^[8]。计算公式如下:

植株钾利用效率(g·g⁻¹) = 全株干重/植株地上部钾积累量

植株钾吸收效率(g·g⁻¹) = 整株钾积累量/根干重

籽粒钾利用效率(g·g⁻¹) = 粒干重/植株地上部钾积累量

钾收获指数(g·g⁻¹) = 籽粒钾积累量/地区部钾积累量

1.3 数据处理

运用DPS V7.01进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 大豆植株钾素利用效率的差异

钾利用效率侧重植物对体内钾利用、转化能力。如表1所示,不同时期各品种钾利用效率普遍表现为低钾处理高于施钾处理,九农15在开花期、结荚期和鼓粒期差异均极显著,沈农6号在结荚和鼓粒期差异显著。4个大豆品种在测定的4个生育时期,钾利用效率变化总的趋势是分枝期最低,之后缓慢升高,结荚期达到最高,除铁丰31外其他3个大豆品种在鼓粒期降低。

表1 不同耐性大豆钾利用效率的差异

Table 1 K utilization efficiency of different low K-tolerance soybean varieties (%)

时期 Stage	品种 Cultivar	低钾 K deficiency	施钾 K sufficiency
分枝期 Branching stage	九农15 Jiunong 15	32.08 ± 1.77	29.37 ± 2.06
	沈农6号 Shennong 6	27.57 ± 2.72	29.24 ± 1.94
	GD8521	32.63 ± 1.64	30.81 ± 0.78
	铁丰31 Tiefeng 31	32.55 ± 1.15	29.19 ± 2.66
开花期 Flowering stage	九农15 Jiunong 15	42.81 ± 2.54 A	35.17 ± 3.24 B
	沈农6号 Shennong 6	34.96 ± 2.10	32.33 ± 3.25
	GD8521	33.25 ± 4.58	33.88 ± 6.58
	铁丰31 Tiefeng 31	31.91 ± 2.34	30.51 ± 1.44
结荚期 Podding stage	九农15 Jiunong 15	43.94 ± 2.34 A	36.07 ± 3.42 B
	沈农6号 Shennong 6	39.71 ± 3.75 a	34.28 ± 3.68 b
	GD8521	36.65 ± 1.66	35.71 ± 3.37
	铁丰31 Tiefeng 31	35.17 ± 2.23	33.71 ± 1.43

续表 1

时期 Stage	品种 Cultivar	低钾 K deficiency	施钾 K sufficiency
鼓粒期 Graining stage	九农 15 Jiunong 15	42.22 ± 2.14 A	35.05 ± 1.76 B
	沈农 6 号 Shennong 6	39.13 ± 3.00 a	33.79 ± 3.16 b
	GD8521	35.53 ± 1.33	34.02 ± 1.40
	铁丰 31 Tiefeng 31	35.62 ± 2.14	33.89 ± 1.84

同行数值后不同大小写字母表示差异极显著 ($P \leq 0.01$) 和显著水平 ($P \leq 0.05$), 下同。

Values in the same row with different capital or lowercase letters are significantly different at 0.01 or 0.05 probability level, respectively, the same below.

2.2 大豆植株钾素吸收效率的差异

从表 2 可以看出, 钾吸收效率除沈农 6 在结荚期低钾处理外, 4 个大豆品种在低钾胁迫下的钾吸

收效率值均低于施钾处理。耐性品种九农 15 在结荚期, 敏感性品种铁丰 31 在结荚期和鼓粒期两处理间都达到了显著或极显著差异。

表 2 不同耐性大豆钾吸收效率的差异

Table 2 Difference in K uptake efficiency of different low K-tolerance soybean varieties ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)

时期 Stage	品种 Cultivar	低钾胁迫 K deficiency	施钾对照 K sufficiency
分枝期 Branching stage	九农 15 Jiunong 15	0.15 ± 0.02	0.16 ± 0.02
	沈农 6 号 Shennong 6	0.12 ± 0.01	0.14 ± 0.01
	GD8521	0.12 ± 0.03	0.14 ± 0.01
	铁丰 31 Tiefeng 31	0.14 ± 0.02	0.16 ± 0.01
开花期 Flowering stage	九农 15 Jiunong 15	0.13 ± 0.01	0.14 ± 0.01
	沈农 6 号 Shennong 6	0.12 ± 0.03	0.13 ± 0.01
	GD8521	0.11 ± 0.02	0.12 ± 0.02
	铁丰 31 Tiefeng 31	0.14 ± 0.02	0.15 ± 0.01
结荚期 Podding stage	九农 15 Jiunong 15	0.12 ± 0.01a	0.14 ± 0.01b
	沈农 6 号 Shennong 6	0.12 ± 0.01	0.11 ± 0.00
	GD8521	0.10 ± 0.01	0.11 ± 0.02
	铁丰 31 Tiefeng 31	0.13 ± 0.01 A	0.15 ± 0.01 B
鼓粒期 Graining stage	九农 15 Jiunong 15	0.15 ± 0.02	0.17 ± 0.02
	沈农 6 号 Shennong 6	0.13 ± 0.01	0.13 ± 0.01
	GD8521	0.13 ± 0.01	0.14 ± 0.01
	铁丰 31 Tiefeng 31	0.14 ± 0.01 a	0.16 ± 0.01 b

2.3 大豆籽粒钾效率的差异

大豆籽粒钾效率分为籽粒钾利用效率和钾收获指数。籽粒钾利用效率是籽粒干重比植株地上部钾积累量, 是地上部分各个器官每单位钾所能生产的籽粒重量。如表 3 所示, 与施钾相比, 低钾胁迫下的九农 15、沈农 6 号、GD8521 和铁丰 31 分别升高了 14%、19%、5% 和 9%。耐性品种九农 15 和沈农 6 号的两处理间差异极显著, GD8521 和铁丰 31

低钾和施钾处理间差异不显著。

钾收获指数是籽粒钾积累量比地上部器官钾积累量, 是衡量籽粒含钾量占地上部器官钾积累量的比值。与施钾处理相比在低钾条件下, 九农 15、沈农 6 号、GD8521 和铁丰 31 分别升高了 27%、30%、-7% 和 9%。耐性品种九农 15 和沈农 6 号不同处理间差异分别达到了极显著和显著水平。

表3 不同耐性大豆籽粒钾效率的差异

Table 3 Difference in grain K efficiency of different low K-tolerance soybean varieties ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)

指标 Index	品种 Cultivar	低钾 K deficiency	施钾 K sufficiency
籽粒钾利用效率 Seed K utilization efficiency	九农 15 Jiunong 15	11.35 ± 0.73 A	9.97 ± 0.35 B
	沈农 6 号 Shennong 6	11.45 ± 0.57 A	9.60 ± 0.58 B
	GD8521	10.79 ± 0.64	10.27 ± 0.25
	铁丰 31 Tiefeng 31	10.66 ± 0.70	9.77 ± 0.52
钾收获指数 K harvest index	九农 15 Jiunong 15	0.19 ± 0.01 A	0.16 ± 0.02 B
	沈农 6 号 Shennong 6	0.13 ± 0.01 a	0.10 ± 0.01 b
	GD8521	0.12 ± 0.01	0.13 ± 0.02
	铁丰 31 Tiefeng 31	0.12 ± 0.01	0.11 ± 0.01

3 结论与讨论

通过钾效率筛选到的高效基因类型,低钾胁迫下都会表现出比施钾条件更高的吸收或利用效率,也可能两者都有提高^[9,12]。本研究发现低钾胁迫下耐性品种九农 15 和沈农 6 号的钾吸收效率在生长阶段的中后期显著升高,而敏感品种没有显著性升高。同时,还发现低钾胁迫下 4 个品种吸收效率都呈降低趋势,而且在某些时期耐性和敏感性类型品种都会有显著性降低的现象。本研究中吸收效率计算公式为整株钾素积累量比根干重,分析下降的原因是低钾条件下两类品种对于钾素的吸收减少量都低于根干重的减少量。进一步对属于吸收效率的籽粒钾利用效率和钾收获指数进行了研究,发现耐性品种在低钾胁迫下籽粒钾利用效率和钾收获指数都是显著性提高。这些结果都说明耐性品种与敏感性品种相比在低钾胁迫下依然能获得较高产量主要原因是具备更高的钾利用效率。现在众多研究表明钾吸收效率更多受到栽培介质中钾素的影响,与植物根系和生长环境因子的耦合有重要关系^[9],这可能是耐性和敏感性类型中各自有品种钾吸收效率显著降低原因。在这样的情况下单纯依靠吸收效率选择高效品种是不可靠的,而利用效率则应该是有效的反映钾高效品种的特征。

参考文献

- [1] 姜存仓. 不同基因型棉花对钾的反应差异及其机理研究[D]. 武汉:华中农业大学,2006:101-108. (Jiang C C. Different effects and mechanisms of potassium on varied cotton genotypes[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006: 101-108.)
- [2] 王利,陈防,万开元. 植物钾效率及其评价的研究进展与展望[J]. 土壤,2010,42(2):164-170. (Wang L, Cheng F, Wang K Y. Progress and expectation of the research on plant K efficiency

and its evaluation[J]. Soils, 2010, 42(2): 164-170.)

- [3] 姜存仓,王运华,鲁剑巍,等. 植物钾效率基因型差异机理的研究进展[J]. 华中农业大学学报,2004,23(4):483-487. (Jiang C C, Wang Y H, Lu J W, et al. Advances of study on the K-efficiency in different plant genotypes[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2004, 23(4): 483-487.)
- [4] Römheld V, Kirkby E A. Research on potassium in agriculture: Needs and prospects [J]. Plant and Soil, 2010, 335 (1-2): 155-180.
- [5] 唐劲驰,曹敏建,刘限. 大豆品种(系)耐低钾性的筛选与评价[J]. 大豆科学,2003,22(1):18-21. (Tang J C, Cao M J, Liu X. Resistance mechanism and screening of soybean genotype resistance to low potassium [J]. Soybean Science, 2003, 22 (1): 18-21.)
- [6] 王伟,曹敏建,周春喜,等. 大豆耐低钾胁迫品种(系)的筛选[J]. 大豆通报,2005(4):7-8. (Wang W, Cao M J, Zhou C X, et al. Screening of tolerance low potassium soybean cultivars[J]. Soybean Bulletin, 2006(4): 7-8.)
- [7] Lu G, George M S, Zhou W. Genotypic variation of sweet potatoes grown under low potassium stress [J]. Journal of Plant Nutrition, 2003, 26(4): 745-756.
- [8] Damon P M, Osborne L D, Rengel Z. Canola genotypes differ in potassium efficiency during vegetative growth [J]. Euphytica, 2007, 156(3): 387-397.
- [9] Rengel Z, Damon P M. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use [J]. Physiologia Plantarum, 2008, 133 (4): 624-636.
- [10] Sas L, Rengel Z, Tang C. The effect of nitrogen nutrition on cluster root formation and proton extrusion by *Lupinus albus* [J]. Annals of Botany, 2002, 89(4): 435-442.
- [11] Fernández F G, Brouder S M, Volencé J J, et al. Root and shoot growth, seed composition, and yield components of no-till rainfed soybean under variable potassium [J]. Plant and Soil, 2009, 322 (1-2): 125-138.
- [12] George M S, Lu G, Zhou W. Genotypic variation for potassium uptake and utilization efficiency in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) [J]. Field Crops Research, 2002, 77(1): 7-15.