

# 钾肥对不同基因型大豆叶片生理功能的影响<sup>\*</sup>

王晓光 曹敏建 蒋文春 王 伟 李 植 于海秋

(沈阳农业大学, 沈阳 110161)

**摘要** 采用盆栽试验,研究了钾素营养对不同基因型大豆叶片光合功能的影响。试验结果表明,低钾胁迫导致叶面积减小,叶绿素含量降低,气孔导度降低,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度升高,蒸腾速率和光合速率下降。但不同基因型间表现出明显差异,低钾不敏感型品种(系)沈农 6 号和 GD1617 随着钾浓度的下降,叶面积、叶绿素含量、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率和光合速率的变化均不明显,相反,钾敏感型品系铁 95068-5、铁 95079-2 则随着钾浓度的下降,各指标变化明显。

**关键词** 大豆;低钾胁迫;光合功能

中图分类号 S565.1 文献标识码 A 文章编号 1000-9841(2006)02-0133-04

钾是大豆必需的营养元素之一。它参与大豆体内的一系列生理生化过程,在促进酶的活化、渗透调节、有机物合成和提高作物抗逆性等方面具有重要的生理功能。低钾营养胁迫下大豆生长受阻,体内代谢发生变化,且表现出基因型差异<sup>[1,2]</sup>。我国耕地普遍缺钾,严重缺钾土壤(速效钾 $<50\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )和一般缺钾土壤(速效钾为 $50\sim70\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )总计 0.23 亿公顷,约占耕地面积的 23%<sup>[1,3]</sup>;而且,钾肥在我国当季利用率仅为 20%~60%<sup>[4,5]</sup>。充分利用我国丰富的大豆种质资源,筛选出钾高效率的基因型,进一步培育出钾高效利用的大豆新品种,有利于提高钾肥利用率,缓解我国钾肥资源的不足。光合作用是决定产量最重要的因素。一般认为,作物生物学产量 90%~95%的物质来自光合作用的产物,只有 5%~10%的物质来自根部吸收的营养物质。近些年来,关于不同钾营养基因型叶片光合功能差异在水稻等其它作物的报道较多<sup>[6,7]</sup>,而对大豆在此方面的研究却少见报道。本文拟通过研究大豆不同基因型低钾胁迫下叶片光合功能的变化,弄清大豆钾高效的有关营养生理基础,为选育钾高效大豆基因型提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2004 年和 2005 年在沈阳农业大学农学院科研试验基地进行。选用 4 个大豆品种(系):低钾不敏感型品种(系)沈农 6 号(耐性系数 0.9988)和 GD1617(耐性系数 0.9515);低钾敏感型品系铁 95068-5(耐性系数 0.4430)和铁 95079-2(耐性系数 0.5724)<sup>[3]</sup>。供试土壤取自辽宁省辽中县大黑岗子乡生产田,土壤类型为耕型沙质碳酸盐草甸土,本底速效钾含量为 $50.0\text{mg}/\text{kg}$ ,缓效钾含量为 $1.71\text{g}/\text{kg}$ 。试验采用白色塑料盆,盆口直径 32cm,盆高 40cm,每盆盛风干土 20kg。

### 1.2 试验方法

试验设 4 个处理(K0、K1、K2、K3),分别为每盆施硫酸钾 0g、0.6g、1.2g、1.8g,使 4 个处理的速效钾含量分别为 $50\text{mg}/\text{kg}$ 、 $71.6\text{mg}/\text{kg}$ 、 $93.2\text{mg}/\text{kg}$ 、 $114.8\text{mg}/\text{kg}$ ,此浓度为辽宁省土壤含钾量的范围值。另外,每盆施磷酸氢二铵 6.0g、硫酸锌 0.5g。每处理设 10 次重复。试验用土在装盆前晾干并过筛,均匀混入底肥。

播种前对种子进行精选,然后用 50%多菌灵拌种并阴干。5 月 8 日播种,每盆留苗 3 株,生育期间根据土壤墒情每盆等量浇水,常规管理。

于大豆结荚期用鲜样称重法测定平均单株叶面积。用叶绿素仪 SPAD-502 对植株进行活体叶绿素含量测定,每品种(系)选取 10 株,测定相同部位

<sup>\*</sup> 收稿日期:2005-10-11

作者简介:王晓光(1970-),女,副教授,在读博士生,从事大豆生理研究。

通讯作者:曹敏建,沈阳农业大学农学院。

的叶片,每叶片测3点,求平均值,以叶绿素含量的相对值(SPAD值)表示。SPAD是“土壤、作物分析仪器开发”(Soil and Plant Analyzer Development)的英文缩写,该仪器主要用来测定作物叶片的叶色<sup>[8]</sup>。用LI-6400便携式光合仪测定叶片光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $C_s$ )、胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ )和蒸腾速率( $R_t$ ),测定选点方法与叶绿素含量的测定相同,测定时间为上午9:30~11:30,空气温度 $29.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $29.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 $57.6\%$ ~ $70.1\%$ , $CO_2$ 浓度 $374\mu\text{l/L}$ ~ $379\mu\text{l/L}$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 低钾胁迫对不同基因型大豆叶面积的影响

叶片是大豆进行光合作用的主要器官,在干物质积累、产量形成过程中具有十分重要的作用。试验表明(图1),各品种(系)大豆的平均单株叶面积都随着钾浓度的升高而增大。但不同钾浓度处理对各类大豆单株叶面积影响是不同的。不敏感型品种(系)沈农6号和GD1617的平均单株叶面积变化不大,从K0浓度到K3浓度的变化幅度均仅为 $171\text{cm}^2$ 。而敏感型品系铁95068-5和铁95079-2的平均单株叶面积变化很大,变幅分别为 $875\text{cm}^2$ 和 $709\text{cm}^2$ 。

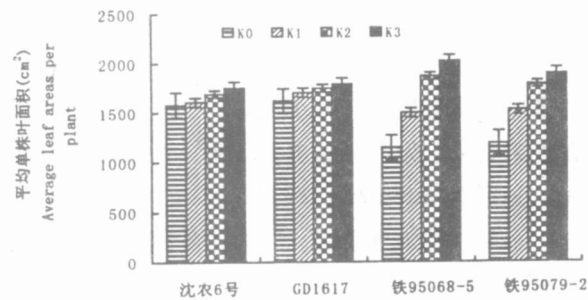


图1 不同钾浓度下单株叶面积的比较

Fig.1 The comparison of leaf areas per plant under different potassium levels

### 2.2 低钾胁迫对不同基因型大豆叶片叶绿素含量的影响

叶绿素含量高低与光合作用密切相关,是反映大豆光合能力的一个重要指标。图2为结英期不同钾浓度下大豆叶片叶绿素含量的SPAD值。从图2可以看出,低钾胁迫下大豆叶片叶绿素含量都有不同程度的下降,即随着钾浓度的降低,结英期大豆叶片叶绿素的含量有减少趋势。说明低钾胁迫影响结

英期大豆叶片叶绿素的合成。此外,叶绿素含量的变化呈现出基因型差异,低钾不敏感型大豆沈农6号和GD1617随着钾浓度的降低,叶绿素含量降幅较小,前者降低了 $7.8\%$ ,后者降低了 $6.9\%$ ;而低钾敏感型大豆铁95068-5和铁95079-2的叶绿素含量随着钾浓度的降低明显下降,分别下降 $14.1\%$ 和 $13.0\%$ 。

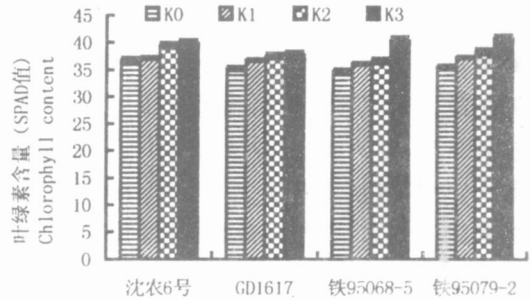


图2 不同钾浓度下叶片叶绿素含量的比较

Fig.2 The comparison of chlorophyll content under different potassium levels

### 2.3 低钾胁迫对不同基因型大豆叶片气孔导度的影响

气孔是 $CO_2$ 进入叶片细胞的通道,而钾离子能调节其导度,所以钾营养对叶片气孔导度定产生影响,进而影响光合作用。测定结果表明(图3),低钾不敏感型大豆沈农6号和GD1617的气孔导度随着钾浓度的降低而下降幅度较小(降幅分别为 $0.36\text{ molH}_2\text{O m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ 和 $0.22\text{ molH}_2\text{O m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ),而低钾敏感型大豆铁95068-5和铁95079-2则随着钾浓度的降低而明显下降(降幅分别达 $0.72\text{ molH}_2\text{O m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ 和 $0.66\text{ molH}_2\text{O m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ )。总之,低钾胁迫下大豆叶片的气孔导度下降,随着钾浓度的提高,叶片气孔导度也相应增加。

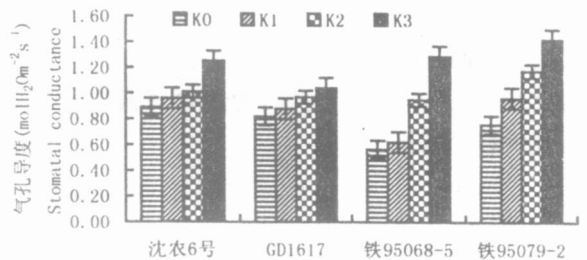


图3 不同钾浓度下叶片气孔导度的比较

Fig.3 The comparison of leaf stomatal conductance under different potassium levels

### 2.4 低钾胁迫对不同基因型大豆叶片胞间 $CO_2$ 浓

度的影响

图 4 为不同基因型大豆在不同钾浓度下的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度。从该图可以看出, 随着钾浓度的降低, 不同类型大豆胞间 CO<sub>2</sub> 浓度有上升趋势。这是由于低钾浓度下, 大豆叶片气孔开度很小, 气孔导度较低, 光合作用比高钾浓度处理的弱, 导致光合作用的底物 CO<sub>2</sub> 被利用的相对较少; 相反, 高钾浓度处理的大豆叶片光合作用较强, 吸收的 CO<sub>2</sub> 较多, 细胞间隙的 CO<sub>2</sub> 进入叶肉细胞而使胞间 CO<sub>2</sub> 浓度降低。

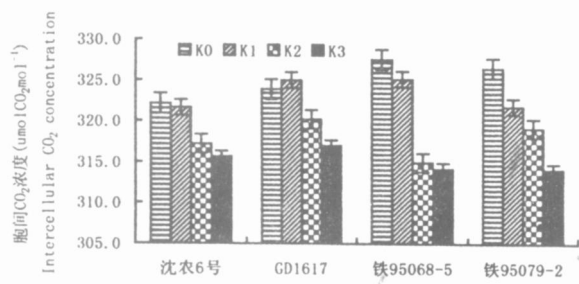


图 4 不同钾浓度下叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的比较

Fig. 4 The comparison of intercellular CO<sub>2</sub> concentration under different potassium levels

同时, 从图 4 也可以看出, 大豆胞间 CO<sub>2</sub> 浓度

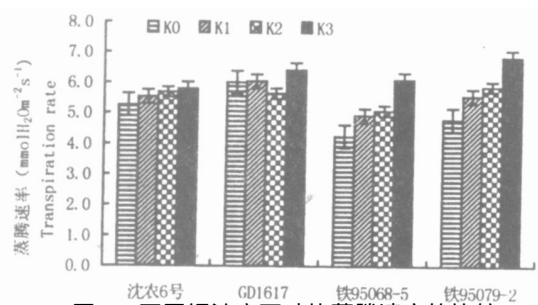


图 5 不同钾浓度下叶片蒸腾速率的比较

Fig. 5 The comparison of leaf transpiration rate under different potassium levels

3 结论与讨论

干物质积累主要取决于光合作用。光合作用是一个十分复杂的生理过程, 在特定的环境条件下, 叶片光合能力与叶片自身的大小、叶绿素含量、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率和光合速率等因素密切相关。

本试验证明, 大豆平均单株叶面积在一定的 K<sup>+</sup> 范围内都随着钾浓度的升高而增大, 不敏感型品种(系)沈农 6 号和 GD1617 增幅较小, 而敏感型品系铁 95068-5 和铁 95079-2 的增幅较大。低钾胁迫下大豆叶片叶绿素含量都有不同程度的下降, 且呈现出基因型差异。

对不同钾浓度处理也存在基因型差异, 低钾不敏感型大豆沈农 6 号和 GD1617 随着钾浓度的降低, 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度升幅较小, 沈农 6 号上升 2.1%, GD1617 上升 2.2%; 而低钾敏感型大豆铁 95068-5 和铁 95079-2 的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度则随着钾浓度的降低明显上升, 分别上升 4.2% 和 3.9%。

2.5 低钾胁迫对不同基因型大豆叶片蒸腾速率和光合速率的影响

图 5、图 6 分别为低钾胁迫对不同基因型大豆叶片蒸腾速率和光合速率的影响, 可以看出, 低钾胁迫对大豆叶片蒸腾速率和光合速率都有明显的影响, 随着钾浓度的降低, 大豆叶片蒸腾速率和光合速率均逐渐降低, 而且不同基因型大豆下降幅度不同。低钾不敏感型大豆沈农 6 号和 GD1617 降幅较小, 蒸腾速率分别仅下降 9.1% 和 6.5%, 光合速率仅分别下降 8.3% 和 9.4%; 而低钾敏感型大豆铁 95068-5 和铁 95079-2 的蒸腾速率、光合速率则明显下降, 蒸腾速率降幅分别达 30.4%、29.9%, 光合速率降幅分别达 45.1%、29.0%。

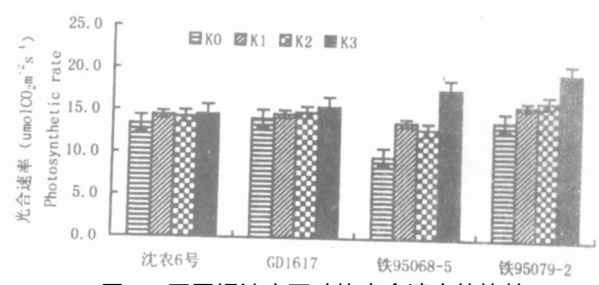


图 6 不同钾浓度下叶片光合速率的比较

Fig. 6 The comparison of leaf photosynthetic rate under different potassium levels

低钾胁迫下, 叶片气孔导度降低, 这一结果与饶立华等<sup>[9]</sup>研究的低钾下水稻气孔导度明显下降、施钾的叶片气孔导度提高的结论一致。这是由于低钾使细胞质内的钾离子浓度降低, 进而降低了保卫细胞的渗透势, 细胞失水, 体积变小, 导致气孔关闭; 相反, 钾充足能提高叶片中的含钾量, 增强叶片的保水能力, 尤其是增加保卫细胞的细胞溶质浓度后, 气孔导度值增加<sup>[10, 11]</sup>。但气孔因素并不是影响光合作用的唯一因素<sup>[6]</sup>。

钾营养影响胞间 CO<sub>2</sub> 浓度, 随着钾浓度的降低, 不同类型大豆胞间 CO<sub>2</sub> 浓度有上升趋势。但童贯和(2003)对扬花期小麦旗叶的研究表明, 钾营养对胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的影响非常复杂, 两者间相关性较弱( $y = 259.060 - 0.131x$ ,  $r = -0.919$ )。每日中午

12 时之前, 胞间  $\text{CO}_2$  浓度都是随着钾浓度的降低而升高, 但 12 时以后, 胞间  $\text{CO}_2$  浓度变化却无规律<sup>[12]</sup>。本试验是在上午 9:30 ~ 11:30 测定, 结果也证明, 低钾处理的大豆叶片光合速率低于高钾处理, 这导致了低钾处理的  $\text{CO}_2$  被利用的相对较少, 因此, 胞间  $\text{CO}_2$  浓度较高。至于中午 12 时以后大豆胞间  $\text{CO}_2$  浓度的变化规律还有待进一步研究。

关于低钾胁迫对叶片蒸腾速率和光合速率的影响, 蒋德安等用水培法发现, 低钾处理使水稻光合速率降低<sup>[13]</sup>。作者对大豆所做的盆栽试验也获得了类似的结果。随着钾浓度的降低, 大豆叶片蒸腾速率和光合速率均逐渐降低, 而且不同基因型大豆下降幅度是不同的。低钾不敏感型大豆沈农 6 号和 GD1617 降幅较小, 而低钾敏感型大豆铁 95068-5 和铁 95079-2 的光合速率则明显下降。前已述及, 气孔因素并不是影响光合作用的唯一因素, 影响光合速率的非气孔原因可能是参与光合作用的酶类, 因为钾是植物体内多种酶的活性因子, 可以激活多种酶的活性。究竟钾素在光合作用中起哪些作用也有待深入研究。

由于不敏感基因型大豆受低钾胁迫影响较小, 在低钾胁迫下能较好地维持叶片光合功能, 所以, 充分利用我国丰富的种质资源、充分利用大豆自身的抗逆能力, 在对低钾不敏感的大豆品种中筛选出钾高效利用的基因型, 以适应低钾环境种植, 不失为提高钾利用效率的一种途径。

## 参 考 文 献

- 1 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
- 2 王伟, 曹敏建, 王晓光, 等. 低钾胁迫对不同钾营养效应大豆保护酶系统的影响 [J]. 大豆科学, 2005, 24(2): 101-105
- 3 中国农科院土肥所编. 中国化肥区划 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1986
- 4 国家统计局编. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1997.
- 5 曾宪坤. 中国化肥工业的现状和展望 [J]. 土壤学报, 1995, 32(2): 117-125.
- 6 刘建祥, 杨肖娥, 吴良欢, 等. 低钾胁迫对水稻叶片光合功能的影响及其基因型差异 [J]. 作物学报, 2001, 27(6): 1000-1006.
- 7 郑炳松, 蒋德安, 翁晓燕, 等. 钾营养对水稻剑叶光合作用关键酶活性的影响 [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2001, 27(5): 489-494.
- 8 北川靖夫, 岡山清司, 広川智子. 葉緑素計によるコシヒカリの葉色と稲と稲体窒素濃度 [R]. 富山県農業技術センター研究報告, 1997, 1: 1-7.
- 9 饶立华, 蒋德安, 薛建明, 等. 钾对水稻光合器功能和谷粒产量的效应 [J]. 植物生理学报, 1989, 15(2): 191-197
- 10 许大全. 气孔运动与光合作用 [J]. 植物生理学通讯, 1984, 6: 6-12.
- 11 向明惠, 余叔文. 以保卫细胞原生质体为实验系统的气孔生理研究进展 [J]. 植物生理学通讯, 1991, 27(1): 1-6.
- 12 童贯和. 钾营养对扬花期小麦旗叶光合速率日变化的影响 [J]. 植物生理学通讯, 2003, 39(5): 433-436.
- 13 蒋德安, 徐银发. 水稻光合速率、气孔导度和 Rubisco 活力的日变化 [J]. 植物生理学报, 1996, 22(1): 87-93.

## EFFECTS OF POTASSIUM DEFICIENCY ON PHOTOSYNTHETIC FUNCTION OF DIFFERENT SOYBEAN GENOTYPES

Wang Xiaoguang Cao Minjian Wang Wei Li Zhi Yu Haiqiu

(Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161)

**Abstract** Different genotypes soybean were potted up to study the effects of potassium nutrition on the photosynthetic function of leaves. The results showed that the leaf area, chlorophyll contents, stomatal conductance, transpiration rate and photosynthetic rate were all decreased as potassium deficiency, while the intercellular  $\text{CO}_2$  concentration under potassium deficiency were higher than that in normal condition. With the decreasing of potassium concentration, all the tested physiological parameters of the lines sensitive to potassium deficiency such as Tie95068-5 and Tie95079-2 were changed significantly, while there were not obvious changes to the cultivars (lines) insensitive to potassium deficiency such as Shennong 6 and GD-1617, demonstrating difference in genotypes.

**Key words** Soybean; Potassium deficiency; Photosynthetic function