

## 磷有效性对大豆根冠中碳分配的影响

赵静, 刘嘉儿, 严小龙, 廖红\*

华南农业大学根系生物学研究中心, 广州 510642

**摘要:** 在水培条件下, 研究不同浓度磷影响大豆根冠中碳分配的结果表明: 磷有效性对大豆根冠中碳分配的影响依赖于磷浓度与胁迫时间。磷浓度高于  $0.125 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  或低磷胁迫 7 d 以内, 大豆根冠中碳分配受到的影响不显著。低磷胁迫 14 d 的大豆的净光合速率和根呼吸速率均显著下降, 根冠比显著提高。这显示长期低磷胁迫下大豆碳同化总量和根呼吸消耗的碳量虽然减少, 但根系生长的碳消耗则增加, 光合碳同化形成的碳水化合物向根部的分配是受到促进的。

**关键词:** 磷有效性; 碳分配; 大豆

## Effects of Phosphorus Availability on Carbon Allocation between Shoots and Roots in Soybean

ZHAO Jing, LIU Jia-Er, YAN Xiao-Long, LIAO Hong\*

Root Biology Center, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

**Abstract:** Effects of phosphorus (P) availability on carbon (C) allocation between shoots and roots in soybean were studied in hydroponics. The results showed that the effects of P availability on C allocation between shoots and roots in soybean mainly depended on P concentration and duration of P deficiency. P concentration higher than  $0.125 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  or duration of P deficiency shorter than 7 days could not affect the C allocation between shoots and roots. But the net photosynthetic rate, root respiration rate of soybean decreased 14 days after P stress and resulted in increased root/shoot ratio. Therefore, long-term P deficiency could reduce the total amount of C assimilation and C cost on root respiration, but increase the C cost on root growth so as to facilitate the C allocation to roots from photosynthetic C source.

**Key words:** phosphorus availability; carbon allocation; soybean

磷是植物生长必需的三大营养元素之一, 参与植物生长发育过程中的各种生理代谢活动, 在细胞膜结构、物质代谢、酶活性调节以及信号转导中均有作用(Marschner 1995)。碳代谢是作物最基本的生理代谢, 包括碳同化和碳分配两个过程。据报道, 低磷会减少 RuBP 羧化酶的含量和活性, 降低光合速率, 影响作物的光合作用和碳同化(Jacob 和 Lawlor 1993)。但也有报道表明, 缺磷条件下植物的净光合速率不变(Kondracka 和 Rychter 1997), 甚至有所升高(Ciereszko 等 1996; Kozłowska 等 2000), 可见磷有效性对植物碳同化的影响尚存争议。此外, 以往关于缺磷对碳代谢的影响大多侧重于对碳同化的影响, 而对碳分配影响的研究较少。本文以大豆为材料, 探讨不同浓度磷对大豆光合作用和根冠中碳分配的影响。

## 材料与方法

以大豆 [*Glycine max* (L.) Merr.] 品种 'BD2' 为试验材料。选择饱满的种子用 10% 的双氧水消毒 1 min 后将种子播到已用 1/4 Hoagland 营养液充分润湿的石英砂中。3 d 后, 小心将均匀一致的幼苗从石英砂中取出, 移栽至 1/2 Hoagland 营养液中(刘鹏等 2008)。磷处理浓度分别为 0、0.125、0.25、0.5 和  $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ KH}_2\text{PO}_4$ 。在磷处理后第 7 天和第 14 天分别采样, 进行各项指标的测定。大豆材料于培养箱中种植, 期间保持正常通气, 营养液的 pH 值在 5.8~6.0 之间, 平均温度为  $28 \text{ }^\circ\text{C}/19 \text{ }^\circ\text{C}$  (日/

收稿 2009-10-30 修定 2009-11-19

资助 教育部新世纪人才基金。

\* 通讯作者(E-mail: hliao@scau.edu.cn; Tel: 020-85283380)。

夜), 相对湿度为 80%, 光照时间为 12 h·d<sup>-1</sup>, 光照强度为 800  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

功能叶的净光合速率测定用红外气体分析仪(LI-6400, 美国 Li-Cor 公司), 测定时间控制在上午 8 点~10 点时间内进行。

根呼吸速率的测定用 CO<sub>2</sub> 分析仪(EGM-4, 英国 PP Systems 公司)。测定的同时迅速称取 2~3 g 左右鲜根样, 用双面刀将根切成 2 mm 左右根段, 放入反应杯中, 加盖并启动测定程序, 反应杯中温度用恒温浴控制在 25 °C, 反应时间为 1 min。记录反应前后 CO<sub>2</sub> 浓度的变化。根呼吸速率=(反应前 CO<sub>2</sub> 浓度 - 反应后 CO<sub>2</sub> 浓度)/根鲜重/反应时间。

测定叶部可溶磷浓度和光合磷效率时, 剪取面积为 2 cm×3 cm 的叶片, 加 0.5 mL 蒸馏水研磨, 提取液加入 1.5 mL 的离心管中, 再以 0.5 mL 蒸馏水

洗涤研钵, 洗涤液也加入到相应的离心管中, 以 10 600×g 离心 3 min。吸取 200  $\mu\text{L}$  (低磷)或 50  $\mu\text{L}$  (高磷)上清液加入试管中, 加 500  $\mu\text{L}$  钼锑抗显色剂, 再加入双蒸水定容到 5 mL, 显色 30 min 后, 在波长 700 nm 处比色。光合磷效率的计算根据公式: 光合磷效率 = 净光合速率 / 叶部可溶磷浓度(Liao 和 Yan 1999)。

试验中所有数据均用 Microsoft Excel 2000 进行平均数和标准差计算, 并用 SAS 统计软件进行单因素方差和 Duncan 多重比较分析。

## 实验结果

### 1 磷有效性对大豆碳同化的影响

图 1~3 显示: (1)不同浓度磷处理第 7 天的大豆净光合速率差异不显著(图 1-a,  $F=0.17\text{ns}$ )。当磷

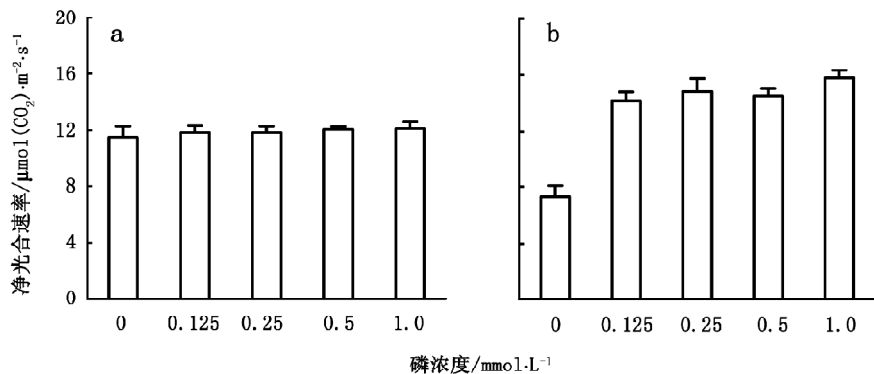


图 1 磷有效性对大豆净光合速率的影响

Fig.1 Effects of P availability on net photosynthetic rate of soybean

a: 磷处理后第 7 天的植株; b: 磷处理后第 14 天的植株。数据为 4 个重复的平均值及其标准误差, 下图同此。

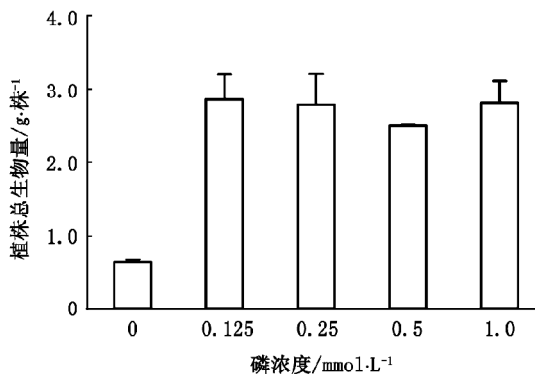


图 2 磷有效性对大豆植株总生物量的影响

Fig.2 Effects of P availability on soybean total biomass

处理 14 d 时, 不施磷的大豆净光合速率显著低于其它 4 个不同浓度磷处理(图 1-b,  $F=93.36^{***}$ )。14 d 不同浓度磷处理的植株总生物量变化趋势与净光合速率一样(图 2), 不施磷的植株总生物量显著减少( $F=22.85^{**}$ )。这些说明短期缺磷对大豆净光合速率的影响不大, 但长期受磷胁迫的大豆净光合速率会下降, 而碳同化的总量也下降, 最终导致植株的总生物量减少。

(2)不同浓度磷处理的植株光合磷效率差异极显著(图 3,  $F=52.94^{***}$ )。在所有的磷处理中, 0.125  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  磷处理的植株光合磷效率最大。

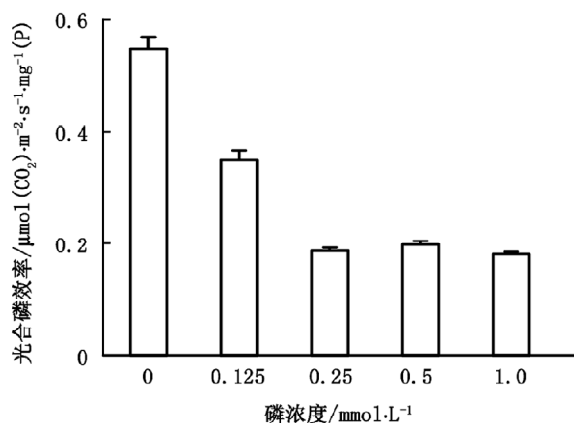


图3 磷有效性对大豆植株中光合磷效率的影响

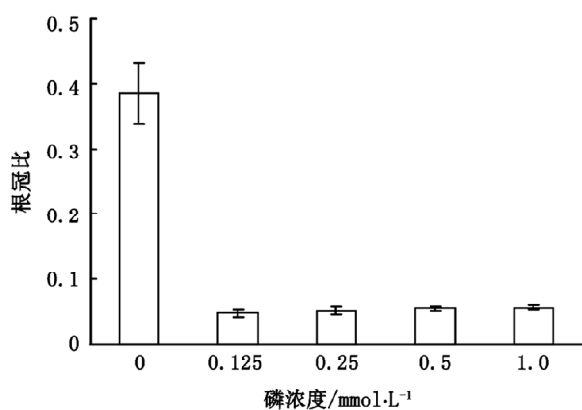
Fig.3 Effects of P availability on soybean photosynthetic P use efficiency  
磷处理后第14天测定。

图4 磷有效性对大豆根冠比影响

Fig.4 Effects of P availability on the ratio of root to shoot

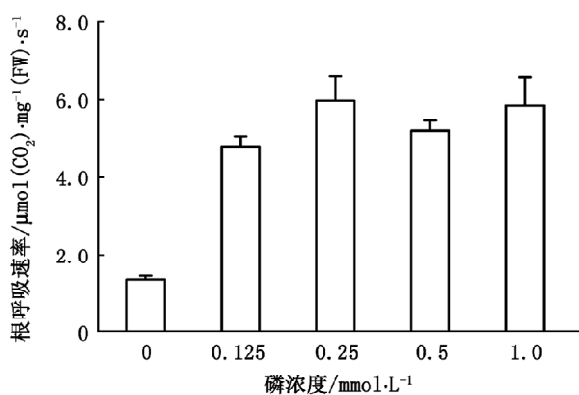


图5 磷有效性对大豆根部呼吸速率的影响

Fig.5 Effects of P availability on soybean root respiration rate

## 2 磷有效性对大豆碳分配的影响

从图4、5可见:(1)缺磷生长14 d的大豆根冠比显著高,而其它4个浓度磷处理之间的植株根冠比差异不显著(图4,  $F=1.11^{**}$ )。说明14 d的缺磷胁迫会影响大豆的碳分配,更多的碳同化物质运输向根部。(2)缺磷的大豆植株根呼吸速率大幅度下降,不同浓度磷处理之间的差异显著(图5,  $F=16.92^{**}$ )。

## 讨论

缺磷对大豆光合作用影响一直都有争议。Fredeen等(1989)认为缺磷会降低大豆的光合速率,但Kondracka和Rychterk(1997)则认为大豆的光合速率在缺磷时不会变化。本文结果表明,处理7 d时,各种浓度磷之间的植株净光合速率没有显著差异(图1-a)。只有当磷处理14 d时,缺磷的与其它不同浓度磷处理之间植株的净光合速率才出现差异,但4个不同浓度磷处理之间并没有差异(图1-b)。可见磷有效性对大豆根冠碳分配的影响依赖于磷的浓度和其胁迫时间的长短。

磷胁迫不仅减少大豆碳同化总量,还改变根冠中碳分配(图1和4)。戴开结等(2006)的研究表明,在低磷条件下,油菜和小麦等植物的根冠比增加,根半径减少,单位根重的表面积增大,因而作物对缺磷环境的适应能力增强。本文结果表明,不施磷的大豆根部的生物量增加,根冠比提高。这一结果与本实验室进行的另一个磷处理40 d的实验所获得的大豆植株根冠比变化趋势是一致的(未发表资料)。侯晓林等(2007)的研究表明,根呼吸所耗碳量占日固定碳量的1/4~2/3,可见根呼吸是植物碳消耗的一个重要组成部分。本文中,磷胁迫14 d后,大豆根部的呼吸速率下降(图5),因而植物缺磷胁迫时,用于地上部生长和根呼吸的碳消耗减少,大部分的碳有可能是用于根的生长发育,以适应低磷胁迫环境的。

## 参考文献

- 戴开结,何方,官会林,沈有信,张光明(2006). 植物与低磷环境研究进展—诱导、适应与对策. 生态学杂志, 25 (12): 1580~1585
- 侯晓林,吕金印,山仑(2007). 水分胁迫对抗旱性不同小麦品种叶

- 片光合及根呼吸等生理特性的影响. 干旱地区农业研究, 25 (6): 37~39
- 刘鹏, 周国权, 严小龙, 廖红(2008). 低磷对大豆主根伸长生长的影响. 植物生理学通讯, 44 (4): 726~728
- Ciereszko I, Gniazdowska A, Mikulska M, Rychter AM (1996). Assimilate translocation in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) during phosphate deficiency. J Plant Physiol, 149: 343~348
- Fredeen AL, Rao IM, Terry N (1989). Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in *Glycine Max*. Plant Physiol, 89: 225~230
- Jacob J, Lawlor DW (1993). Extreme phosphate deficiency decreases the *in vivo* CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> specificity factor of ribulose 1, 5-bis-phosphate carboxylase-oxygenase in intact leaves of sunflower. J Exp Bot, 44: 1635~1641
- Kondracka A, Rychter AM (1997). The role of P<sub>i</sub> recycling processes during photosynthesis in phosphate-deficient bean plants. J Exp Bot, 48: 1461~1468
- Kozłowska B, Zielinski P, Maleszewski S (2000). Involvement of glycolate metabolism in acclimation of *Chlorella vulgaris* cultures to low phosphate supply. Plant Physiol Biochem, 38: 727~734
- Marschner H (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. London: Academic Press, 265~277
- Liao H, Yan XL (1999). Seed size is closely related to phosphorus efficiency and photosynthetic phosphorus efficiency of common beans. J Plant Nutr, 22 (5): 877~888