

不同磷效率大豆干物质积累、光合生理特性及产量的研究

吴俊江^{1,2}, 马凤鸣¹, 林浩^{1,2}, 刘丽君², 钟鹏², 林蔚刚², 董德建², 王金生², 刘德生³

(1. 东北农业大学 农学院, 农业部寒地作物生理生态重点开放实验室, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省农业科学院 大豆研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 海伦市农业技术推广中心, 黑龙江 海伦 152300)

摘 要: 利用不同磷效率基因型大豆品种, 采用盆栽控制磷供应量, 探讨其同化物积累及光合生理特性与产量性状的差异。结果表明: 磷高效品种在低高磷处理下, 相对干物质质量比较高, 能达 0.9 左右, 而磷低效品种多在 0.6 左右; 在低磷处理下, 磷高效品种的净光合速率 P_n 均大于高磷处理, 磷低效品种则小于高磷处理; 高磷处理使气孔导度 $Cond$ 、胞间 CO_2 浓度 (C_i)、蒸腾速率 (Tr) 增加; 低磷处理加强大豆叶片水分利用率 (WUE); 磷高效品种低高磷处理下产量比在 0.9 左右, 磷低效品种仅为 0.62。因此, 可以将低高磷干物质质量比和产量比作为筛选不同磷效率基因型大豆的指标。

关键词: 大豆; 磷效应; 同化物积累; 光合生理; 产量

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2010)02-0247-04

Assimilate Accumulation, Photosynthetic Characteristics and Yield of Soybean Genotypes with Different Phosphorus Efficiency

WU Jun-jiang^{1,2}, MA Feng-ming¹, LIN Hao^{1,2}, LIU Li-jun², ZHONG Peng², LIN Wei-gang², DONG De-jian², WANG Jin-sheng², LIU De-sheng³

(1. College of Agronomy, Key Opening Laboratory of Physiology and Ecology of Crop in Cold Terra of Agriculture Ministry, Northeast Agriculture University, Harbin 150086; 2. Soybean Research Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086; 3. Hailun, Agrotechnology Extension Center, Hailun 152300, Heilongjiang, China)

Abstract: Two high phosphorus efficiency soybean (HPES) cultivar of HP134 and HP119, and two low phosphorus efficiency soybean (LPES) cultivar of LP113 and LP102 were planted in pot experiments, and two phosphorus fertilizer application level were applied. The dry matter accumulation, photosynthetic traits and yield were calculated to investigate the indexes that can differentiate soybean cultivars with different phosphorus efficiency. The relative ratio of dry matter accumulation under low phosphorus (LP) to high phosphorus (HP) was higher in HPES cultivar (0.9) than in LPES cultivar (0.6). Under LP treatment, net photosynthetic rate (P_n) of HPES cultivar was higher, while LPES cultivar was lower, than that under HP treatment. HP treatment increased stoma conductance ($Cond$), intercellular CO_2 concentration (C_i) and transpiration rate (Tr), while LP treatment increased leaf water use efficiency (LWUE). The relative ratio of yield under LP to HP was higher in HPES cultivar (0.9) than in LPES cultivar (0.62). Results suggest that the dry matter ratio and yield ratio under low phosphorus to high phosphorus application level could be used for selecting soybean germplasms with different phosphorus efficiency.

Key words: Soybean; Phosphorus efficiency; Assimilate accumulation; Photosynthetic Characteristics; Yield

磷是植物所必需的三大营养元素之一, 占植物体干重的 0.2%, 具有重要的生理功能^[1]。土壤缺磷是限制大豆产量的一个重要因子。据统计, 全世界 43% 耕地面积缺磷^[2], 发挥植物的自身潜力, 筛选与应用磷高效植物品种来开发利用土壤难溶态的磷素资源, 已成为近年来世界许多学者关注的焦点^[3]。在对小麦、水稻、玉米、油菜等作物的磷效率研究中, 已发现磷高效率作物基因型对提高土壤磷

肥利用率和抗低磷胁迫有非常大的潜力^[4-7]。如果能够选育出一些适应生长于缺磷土壤, 在不施或少施磷肥的情况下仍能获得优质高产的磷高效大豆品种, 对我国经济、农业、环境的可持续发展将具有重要意义^[8-9]。在磷胁迫条件下具有较高的生物学产量和籽粒产量是磷高效大豆品种的重要特征。植株的生物学产量和籽粒产量的 90% 以上来自光合作用, 磷高效大豆品种磷胁迫条件下籽粒产量的

收稿日期: 2009-10-20

基金项目: 引进国际先进农业计划资助项目 (2006-G5); “十一五” 国家科技支撑计划资助项目 (2006BAD21B01-6, 2009BADA8B02); 黑龙江省自然科学基金资助项目 (C2007-13); 农业部寒地作物生理生态重点开放实验室基金资助项目。

第一作者简介: 吴俊江 (1970-), 男, 在职博士, 副研究员, 研究方向为大豆高产栽培理论与技术。E-mail: nkywujj@126.com。

通讯作者: 马凤鸣, 教授, 博士生导师。E-mail: fengming_ma@sohu.com。

增加与其光合能力的提高密切相关。

该文在低磷高磷处理下,比较了不同磷效率基因型大豆生长关键时期同化物积累和光合特性与产量性状的差异,为揭示不同磷效率基因型大豆品种的生理特点,以及为利用磷效率差异来筛选磷高效基因型大豆提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2008年在黑龙江省农业科学院盆栽场进行,供试材料有磷高效基因型大豆 HP119、HP134 和磷低效基因型大豆 LP113、LP102。供试土壤取100 cm以下深层黑土,土壤含有有机质 $5.30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $32.60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $2.10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $45.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

采用盆栽试验,每盆装土14 kg。试验设施磷(+P)和低磷(-P)2个供磷水平,施磷处理每盆施磷酸二铵4.56 g,尿素1.52 g,硫酸钾1.60 g,低磷处理施入尿素1.52 g,硫酸钾1.60 g,不施磷肥。肥料分底肥和追肥2次放入,底肥放入总施肥量的2/3。采用随机区组排列,10次重复。5月7日播种,出苗后每盆保留4株,生育期间正常浇水除草,9月10日收获。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 干物质积累测定 大豆生长3个关键时期(开花期、结荚期、鼓粒期)取样,随机取4株大豆植株,测定各部分干物重。计算低高磷处理下干物质质量比。

1.2.2 光合生理参数 在R5期采用便携式光合系统测定仪LI-6400XT(LI-COR Lincoln, USA)测定叶片净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、细胞间隙

CO_2 浓度(C_i)及气孔导度($Cond$)。设定光强的光量子数为 $1500 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 叶室温度 25°C 、 CO_2 浓度为 $350 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,选取9片倒3叶分别进行测定,取平均值。

1.2.3 水分利用率 叶片瞬时水分利用效率(LWUE)为叶片光合速率/叶片蒸腾速率。

1.2.4 农艺性状与产量 成熟后,单株收获,每个处理随机取4株,求平均。测量农艺性状:株高、节数、有效荚数、粒数、产量、百粒重。

1.3 数据分析

用DPS7.05和Excel进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 干物质积累

不同生育时期,低高磷处理下大豆单株干物质积累量比和荚干物质质量比的结果见图1。在开花期,磷高效品种的单株干物质质量比达0.90;磷低效品种仅为0.5左右。

在结荚期,磷高效品种 HP119 和 HP134 单株干物质质量比分别为0.83和0.97;而磷低效品种 LP113 和 LP102 分别为0.80和0.66。此时期,磷高效品种 HP119 和 HP134 豆荚干物质质量比分别为0.77和1.01,而磷低效品种 LP113 和 LP102 分别为0.66和0.55。在鼓粒期,磷高效品种的单株干物质质量比和豆荚干物质质量比均大于0.8,而磷低效基因型品种均为0.5左右。

结果表明,在大豆生长关键时期(花期、结荚期、鼓粒期),磷高效型大豆的低高磷处理单株干物质重比值、豆荚干物质重比值均大于磷低效基因型,这也表明磷素丰缺对磷高效基因型大豆的干物质积累影响不大。

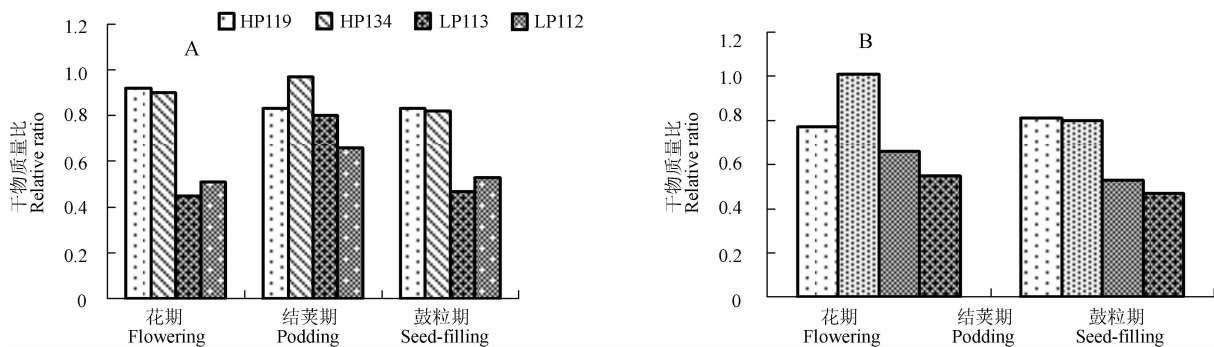


图1 不同供磷水平下大豆在生长关键时期的干物质积累比

Fig. 1 Dry matter accumulation ratio of whole plant (A) and pod (B) under different phosphorus application level during important growing stages

2.2 R5期光合生理参数

2.2.1 净光合速率(P_n) 磷高效型大豆 HP119 和 HP134 在低磷处理下保持着较高的 P_n 值,且均

高于同组高磷处理;磷低效型大豆 LP113 和 LP102 在低磷处理下的 P_n 值都小于同组高磷处理,其中 LP113 的 P_n 值低磷比高磷处理显著下降了11.16%

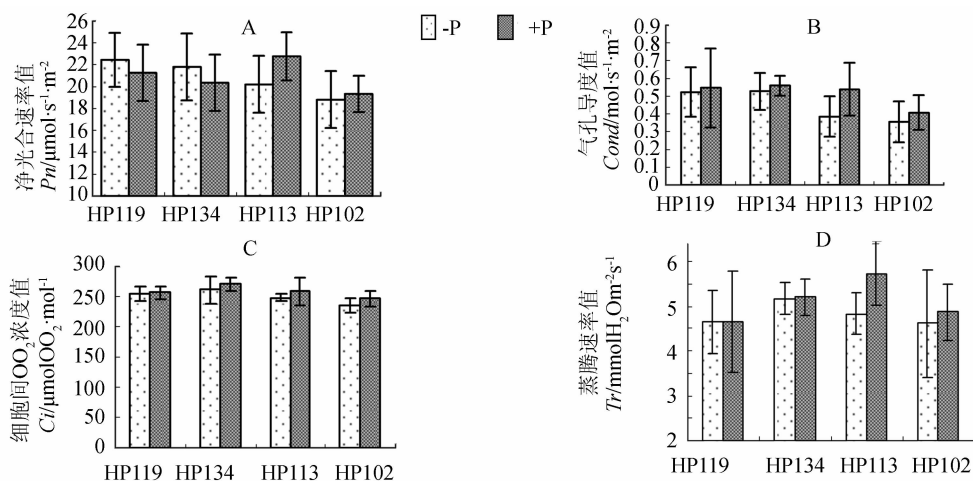


图2 不同磷效率基因型大豆在R5期光合重要性能参数

Fig.2 Important photosynthetic capability indexes of soybean genotypes with different phosphorus efficiency at R5 stage

(图2A)。表明磷高效型大豆在低磷处理下通过自身调节机制增加净光合速率值,保证其光合能力。

2.2.2 气孔导度(*Cond*) 不同磷效率基因型大豆在高磷处理下其*Cond*值有不同幅度增加(图2B),其中磷高效型品种变化幅度不大,而磷低效型品种LP113和LP102在低磷高磷处理下其组内*Cond*值呈显著差异,高磷比低磷处理分别增加了28.63%和12.95%。可见高磷处理能增加大豆气孔导度,促进气孔开放。

2.2.3 胞间CO₂浓度(*Ci*) 不同磷效率型大豆在高磷处理下其*Ci*都有不同幅度增大(图2C),且磷低效型大豆的增幅较大。其中磷高效型大豆HP134施磷与不施磷处理的*Ci*均大于其它各处理,而磷低效型品种LP102施磷与不施磷处理的*Ci*均小于其它各处理,这与气孔导度的变化规律相一致。

2.2.4 蒸腾速率(*Tr*) 磷高效型品种HP119和HP134在低高磷处理下*Tr*变化不大,磷低效型品种在高磷处理下*Tr*明显增加,LP113和LP102组内低磷比高磷增加了18.63%和25.00%,可见磷低效型大豆品种蒸腾作用较强,植物体水分代谢速率较高。

2.2.5 叶片瞬时水分利用效率(LWUE) 磷高效型大豆HP119的LWUE显著高于磷低效型品种LP113和LP102,不同磷效率基因大豆在高磷处理下其LWUE均小于低磷处理(图3),表明低磷处理能加强植物瞬时水分利用率,这可能是植物在低磷状态下通过关闭自身调节机制来提高水分利用效率。

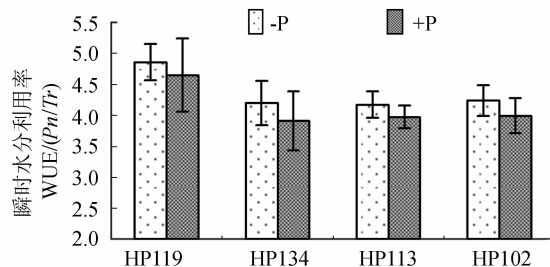


图3 不同磷效率基因型大豆在R5期叶片瞬时水分利用效率

Fig.3 Leaf water use efficiency of soybean genotypes with different phosphorus efficiency at R5 stage

2.3 不同磷效基因型大豆低高磷处理下农艺性状与产量

不同磷效率基因型大豆的主要农艺性状在高

表1 不同磷效率基因型大豆主要农艺性状及产量

Table1 Data analysis of major agronomic traits in soybean genotypes with different phosphorus efficiency

基因型	品种	株高	节数	有效荚数	单株粒数	产量
Gene tyke	Cultivar	Plant height/cm	Node number	Fertile pod number	Seed number per plant	Yield/g · plant ⁻¹
磷高效 基因型	HP-119	49.00 ± 2.94dD	17.70 ± 1.26abAB	30.50 ± 1.73aA	74.00 ± 3.46aA	13.125 ± 0.62aAB
	HP + 119	56.70 ± 3.30bcABC	18.25 ± 0.5aA	31.75 ± 2.63aA	77.25 ± 5.44aA	14.15 ± 1.00aA
	HP-134	53.25 ± 2.06dEF	14.00 ± 0.8165eD	18.75 ± 3.59cdC	45.00 ± 6.63cdCD	6.90 ± 0.08cD
	HP + 134	55.50 ± 1.29d DE	15.50 ± 0.58d CD	20.00 ± 1.83c BC	54.50 ± 3.87bcBC	7.75 ± 0.57cD
磷低效 基因型	LP-113	61.00 ± 2.94abAB	16.00 ± 0cdC	18.50 ± 2.65cdC	51.25 ± 7.59cBCD	6.625 ± 0.44cD
	LP + 113	62.75 ± 2.87aA	18.25 ± 0.5aA	27.50 ± 2.38abA	76.00 ± 4.76aA	10.30 ± 0.66bC
	LP-102	56.25 ± 2.06cBC	16.50 ± 0.58cdBC	15.25 ± 2.99dC	37.75 ± 9.00dD	7.30 ± 0.82cD
	LP + 102	57.00 ± 4.24bcABC	16.75 ± 1.26bcABC	25.50 ± 4.80bAB	63.00 ± 11.63bAB	11.48 ± 2.12bBC

同一列中数据标明不同大写字母的值差异达0.01显著水平,小写字母的值差异达0.05显著水平。

Values followed by a different capital and small letter are significant different at the 0.01 and 0.05 probability level, respectively.

磷处理下变化规律表现为,株高平均值均增高,节数均略有增加,有效荚数、单株粒数均增加(表1)。不同大豆基因型间差异极显著(16.779**),证明了大豆的不同品种或品系之间存在着磷效率方面的差异,不同磷效率基因型大豆各农艺性状的磷处理间差异也达极显著(16.44**)。

由表1可以看出,低磷处理较高磷处理各品种产量都降低,但程度不同,其中磷低效型大豆LP113和LP102在低高磷处理下产量差异达极显著水平;磷高效型大豆HP134和HP119未达显著水平;由低磷与高磷下产量比,可以明显看出磷高效型大豆产量比维持在很高水平(0.9左右),而磷低效型产量比值明显较低(0.62左右)。

3 讨论

不同基因型作物对低磷胁迫的反应存在较大的差异,一些学者在大豆、马铃薯、小麦、玉米等作物^[6,10-12]低磷胁迫机制上作了探索。该研究利用不同磷效率基因型大豆品种,在低高磷处理下,探讨其干物质积累、光合生理、农艺性状及产量的差异,探索和验证筛选耐低磷大豆品种的有效方法。

在大豆关键生长期,缺磷增加了品种间各农艺性状的差异。不同磷效率基因型大豆低高磷处理下单株干物质积累量比呈明显差异,并且磷高效基因型的单株和豆荚干物质重比值均大于磷低效基因型,从而证实在大豆生长关键时期,利用低高磷处理下相对干物质重比值可以作为筛选不同磷效率基因型大豆品种的指标。

在R5期,低磷处理下磷高效型大豆组内净光合速率(P_n)均大于高磷处理,而磷低效型大豆表现恰好相反。高磷处理促进气孔导度($Cond$),胞间 CO_2 浓度(C_i)和蒸腾速率(Tr),低磷处理能加强大豆瞬时水分利用率,这可能是大豆在低磷状态下关闭自身调节机制,提高水分利用效率。这也表明在注意平衡施肥条件下,适量少施磷肥能够使植物提高自身水分利用效率。

不同磷效率基因型大豆在低高磷处理下农艺性状及产量表现出明显的差异,高磷均能促进株高、有效荚数、单株粒数和产量的增加。由于低高磷处理下磷高效基因型大豆单株产量比显著高于磷低效基因型大豆。因此,利用单株低高磷处理下产量比值,结合株高、有效荚数和单株粒数可以较好的区分不同磷效率基因型大豆。

参考文献

[1] 王艳,李晓林,张福锁.不同基因型植物低磷胁迫适应机理的

研究进展[J].生态农业研究,2000,8(4):34-36. (Wang Y, Li X L, Zhang F S. Current research on suitable mechanisms on different plant genotypes under Phosphorous stress[J]. Eco-agriculture Research, 2000,8(4):34-36.)

- [2] 刘建中,李振声,李继云.利用植物自身潜力提高土壤中磷的生物有效性[J].生态农业研究,1994,2(1):16-23. (Liu J Z, Li Z S, Li J Y. Utilization of plant potentialities to enhance the Bio-efficiency of Phosphorus in soil[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 1994,2(1):16-23.)
- [3] 王庆仁,李继云,李振声.植物高效利用土壤难溶态磷研究动态及展望[J].植物营养与肥料学报,1998,4(2):107-116. (Wang Q R, Li J Y, Li Z S. Dynamics and prospect on studies of high acquisition of soil unavailable phosphorus by plants[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998,4(2):107-116.)
- [4] 郭程瑾,李宾兴,王斌,等.不同磷效率小麦品种的光合特性及其生理机制[J].作物学报,2006,32(8):1209-1217. (Guo C J, Li B X, Wang B, et al. Photosynthetic characteristics and relative physiological mechanism of wheat cultivars with different phosphorus efficiencies[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(8):1209-1217.)
- [5] 李永夫.水稻适应低磷胁迫的营养生理机理研究[D].杭州:浙江大学,2006. (Li Y F. Nutritional and physiological mechanisms of rice plant adaptation to low phosphorus stress[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.)
- [6] 林海建,张志明,高世斌,等.玉米耐低磷研究现状及磷高效育种策略的探讨[J].中国农学通报,2008,24(1):181-185. (Lin H J, Zhang Z M, Gao S B, et al. The research actuality of maize (*Zea mays* L.) tolerance to low phosphorus and the strategy of high phosphorus efficiency breeding[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008,24(1):181-185.)
- [7] 段海燕,徐芳森,王运华.甘蓝型油菜不同品种磷运转和再利用差异的研究[J].中国油料作物学报,2002,24(4):46-49. (Duan H Y, Xu F S, Wang Y H. Study on difference of phosphorus allocation and accumulation among different cultivars of Brassica napus[J]. Chinese Journal of Oil Crop Science, 2002, 24(4):46-49.)
- [8] 严小龙,黄志武,卢仁骏,等.关于作物磷效率的遗传学研究[J].土壤,1992,24(2):101-105. (Yan X L, Huang Z W, Lu R J, et al. Genetical research on crop phosphorus efficiency [J]. Soils, 1992, 24(2):101-105.)
- [9] 严小龙,张福锁.植物营养遗传学[M].北京:农业出版社,1997:1-21. (Yan X L, Zhang F S. Plant nutritional genetics [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997:1-21.)
- [10] 钟鹏,吴俊江,刘丽君,等.水磷互作对不同磷效率基因型大豆苗期生理生化指标的影响[J].大豆科学,2007,26(6):873-878. (Zhong P, Wu J J, Liu L J, et al. The couple effect of water and phosphorus on physio-biochemical characters of different genotypic soybean at seedling stage[J]. Soybean Science, 2007, 26(6):873-878.)
- [11] 王西瑶,朱涛,邹雪,等.缺磷胁迫增强了马铃薯植株的耐旱能力[J].作物学报,2009,35(5):875-883. (Wang X Y, Zhu T, Zou X, et al. Drought tolerance enhanced by phosphorus deficiency in potato plants[J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(5):875-883.)
- [12] 黄亚群,马文奇,刘社平,等.春小麦品种磷营养效率研究Ⅲ.磷高效品种的特征特性[J].麦类作物学报,2001,21(1):32-38. (Huang Y Q, Ma W Q, Liu S P, et al. Study on the phosphorus efficiency in varieties of spring wheat Ⅲ. Characteristics of phosphorus efficient varieties [J]. Journal of Triticeae Crop, 2001, 21(1):32-38.)