

文章编号: 0529-6579 (1999) 04-0082-05

磷的有效性对菜豆生理生态特征的影响^{*}

郭志华¹, 彭少麟¹, 王伯荪¹, 余让才²

(1. 中山大学生命科学学院, 广州 510275; 2. 华南农业大学生物系, 广州 510642)

摘 要: 研究了生长在 3 种不同磷水平下 6 种不同基因型菜豆的多项生理生态指标. 结果表明: ① P 水平显著影响菜豆的光合、蒸腾、气孔导度、叶磷浓度、光能和水分利用率、磷利用率及生物量等; ② 在同一磷水平下, 不同基因型菜豆的光合、气孔导度、光能和水分利用率显著不同; ③ 在各基因型中, G2424 的耐低磷性最强.

关键词: 菜豆; 磷水平; 光合作用; 蒸腾作用; 气孔导度; 营养生长

中图分类号: Q 948.1.11 **文献标识码:** A

菜豆 (*Phaseolus vulgaris* L.) 是世界上栽培面积仅次于大豆的食用豆类作物, 几乎遍及世界各大洲, 我国各省均有栽培^[1], 但全球耕地有 43% 缺磷, 我国也有 2/3 耕地缺磷^[2]. 缺磷是菜豆生产的重要限制因子之一, 估计拉美地区 50% 的菜豆种植在低磷土壤上^[3]. 过去常用的施磷肥的方法难以彻底解决该问题, 只有通过遗传育种来改良菜豆的耐低磷性, 才是经济、有效的途径. 而对耐低磷基因型的筛选又可为育种工作提供依据, 这正是本研究试图解决的问题之一. 另外, 有很多研究表明营养元素磷对光合作用的影响很大^[4], 而 Radin 等^[5]的研究表明缺磷降低了棉花 (*Gossypium hirsutum* L.) 叶的扩展, Lynch 等^[3]的研究却表明有效磷对菜豆生长的影响主要通过影响叶的生长而并非通过影响单位面积叶的光合作用来实现. 因此, 本研究的另一目的就是试图确定不同水平磷怎样影响生长在培养液中菜豆的光合作用、蒸腾作用、气孔导度、光能利用率、水分利用率和磷利用率等特性.

1 材料与方法

实验于 1996 年 11 月 13 日~12 月 19 日在华南农业大学温室内进行, 用水培法栽种菜豆. 营养液配方 $c/(\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$: KNO_3 4.5, NH_4NO_3 1.2, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 3.6, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 3.0, K_2SO_4 1.2, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1.2, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.045, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.045, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.0015, H_3BO_3 0.0015, $\text{NH}_4\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.0004, Fe-EDTA^{2+} 0.0300.

实验材料取自 CIAT (国际热带农业中心, 哥伦比亚), 共有 6 个不同基因型菜豆: G19833, G19842, G5273, G2444, G16274 和 BAT881. 每个基因型都用 KH_2PO_4 做 3 种不同

^{*} 收稿日期: 1998-08-23 作者简介: 郭志华, 男, 1965 年生, 博士研究生.

磷水平处理, 即不施磷 P_0 ($c(P)=0$ mmol/L)、施中磷 P_1 ($c(P)=0.1$ mmol/L) 和施足量磷 P_2 ($c(P)=1.0$ mmol/L), 每个处理重复 3 次。

在营养生长末期收获菜豆, 测叶面积和生物量, 叶磷浓度用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮, 钼钼比色法测定。收获之前, 用 CI-301PS 便携式光合作用测定仪 (美国 CID 公司) 的开放系统测定光合有效辐射、净光合速率、蒸腾速率、 x (胞间 CO_2) 和气孔阻力等指标。每次测定都主要在光合速率的高峰期即每天上午 10:00~12:00 左右进行, 并注意温度、湿度等环境条件的一致性。每个处理测 3 个重复, 每个重复选第一个完全展开的复叶上的 4~5 枚小叶, 每小叶测 3~5 次。气孔导度由气孔阻力通过计算获得。瞬时光能利用率 (SUE)、瞬时水分利用率 (WUE) 和瞬时磷利用率 (PUE) 的定义参照 Field 等^[9], 它们分别表示光合能力与同时测定的光合有效辐射、蒸腾速率和叶磷浓度的比值。这些指标旨在表示植物的潜在资源利用率, 而非植物在复杂自然条件下的资源利用率。对所得数据进行统计处理, 并进行方差分析。

2 结果与讨论

2.1 对光合作用和蒸腾作用的影响

磷水平对菜豆光合能力 A 、蒸腾速率、气孔导度、叶磷浓度、SUE、WUE 和 PUE 等的影响高度显著 ($P<0.01$), 对光合能力 A' 和 x (胞间 CO_2) 的影响显著 ($P<0.05$, 表 1)。缺磷会导致 A 及 A' 、蒸腾速率、气孔导度、 x (胞间 CO_2) 和 SUE 的显著降低, 而中等程度磷胁迫和足量磷对 A 及 A' 、蒸腾速率、气孔导度、 x (胞间 CO_2) 和 SUE 的影响无显著差异; 缺磷和中等程度磷胁迫对叶磷浓度和 PUE 的影响无显著差异 ($P<0.05$), 但大量施磷肥会极显著增高叶磷浓度和降低 PUE ($P<0.01$), 同时, 施磷会显著降低叶的 WUE。在相同 P 水平下, 各基因型菜豆虽在 A' 、蒸腾速率、 x (胞间 CO_2)、叶磷浓度和 PUE 上无显著差异 ($P<0.05$), 但在 A 、气孔导度、SUE 和 WUE 上有显著差异 ($P<0.05$, 表 1)。

2.2 对叶面积、生物量及其分配等的影响

磷水平对菜豆叶面积、单位叶面积干质量、 $m(\text{根})/m(\text{冠})$ 和生物量都有极显著的影响 ($P<0.01$, 表 2)。施磷会导致叶面积和生物量的极显著增大 ($P<0.01$); 相反, 施磷却引起单位叶面积干质量和 $m(\text{根})/m(\text{冠})$ 的显著降低 ($P<0.05$), 其中中等程度磷胁迫和足量磷对单位叶面积干质量的影响无显著差异 ($P<0.05$)。由此可见, 磷水平对菜豆营养生长的影响主要是通过对其叶的扩展、生物量及其生物量在光合和呼吸器官中的分配来实现的; 但在叶面积显著增加的同时, 单位叶面积干质量却显著下降。所以, 在以单位干质量来表示光合能力时, 各基因型的光合能力 A' 并无显著差异。同样, 各基因型菜豆在叶面积、单位叶面积干质量、 $m(\text{根})/m(\text{冠})$ 和生物量上有极显著差异 ($P<0.05$, 表 2)。其中 G2444 的单位叶面积干重和生物量均显著高于其它基因型 ($P<0.05$), 且在缺磷和中等磷胁迫的条件下均有最大的叶面积和生物量。因此, G2444 的耐低磷性最好。其次, G16274 和 G19833 的叶面积和生物量均较大, 并且在中等磷胁迫特别是在缺磷时, 它们的叶面积和生物量也较大。因此, G19833 和 G16274 的耐低磷性较好。最不耐低磷的是 BAT881, 它无论是在缺磷还是在中等磷胁迫的条件下叶面积和总生物量都很低, 即使在施足量磷, 其叶面积和生物量也不高, G19842 和 G5273 的耐低磷性较差。

表 1 磷水平对菜豆光合能力 A 及 A' 、蒸腾速率、气孔导度、 x (胞间 CO_2)、叶磷浓度、SUE、WUE 和 PUE 的影响

Tab 1 Effects of P levels on Photosynthesis capacity A and A' , transpiration rate, stomatal conductance, intercellular CO_2 , leaf phosphorus, SUE, WUE and PUE

	磷水平	G19833	G19842	G5273	G2444	G16274	BAT881	均值	方差分析
$\frac{\text{光合能力 } A}{(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})}$	P_0	9.4(0.7)	11.7(1.7)	10.5(1.0) ¹⁶	11.0(1.2)	10.9(1.0)	11.3(1.7)	10.6 ^a	磷水平: ** 基因型: ** A×B: **
	P_1	11.3(1.8)	13.3(2.6) ^{15 11}	11.9(1.2) ¹⁵	13.1(1.1) ¹⁹	13.3(1.8)	14.5(1.9) ¹⁹	12.9 ^b	
	P_2	11.0(0.9)	12.5(1.5)	10.9(0.3) ¹⁵	12.5(1.2) ¹⁶	13.7(1.7) ¹⁵	13.9(1.6) ¹⁶	12.3 ^b	
	均值	10.6 ^a	12.3 ^{b c}	11.1 ^a	12.1 ^{b c}	12.5 ^{b d}	12.6 ^{b d}		
$\frac{A'}{(\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})}$	P_0	350.6	381.1	373.6	404.0	417.3	384.9	385.2 ^a	磷水平: * 基因型: —
	P_1	526.8	505.2	451.8	451.8	515.8	561.8	502.2 ^b	
	P_2	526.3	592.3	412.4	498.3	527.3	496.3	555.0 ^b	
	均值	467.9	492.9	486.8	405.3	551.4	481.0		
$\frac{\text{蒸腾速率}}{(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})}$	P_0	3.7(0.5)	3.7(0.9)	4.4(0.7)	3.8(0.9)	3.5(0.9)	3.5(0.8)	3.7 ^a	磷水平: ** 基因型: — A×B: **
	P_1	4.5(0.3)	4.5(0.4)	4.4(0.2)	4.3(1.0)	4.9(0.6)	5.3(0.8)	4.7 ^b	
	P_2	4.2(0.6)	4.6(0.6)	4.1(0.2)	4.3(0.6)	5.6(1.2)	4.8(0.4)	4.6 ^b	
	均值	4.3	4.2	4.3	4.1	4.5	4.5		
$\frac{\text{气孔导度}}{(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})}$	P_0	134.6(12.4)	149.8(40.6)	169.4(23.9)	154.1(37.4)	147.5(37.5)	169.4(23.9)	148.7 ^a	磷水平: ** 基因型: ** A×B: **
	P_1	195.1(40.2)	192.3(19.8)	192.4(5.2)	237.7(46.9)	247.7(19.5)	192.4(5.2)	224.9 ^b	
	P_2	176.4(40.8)	193.8(56.1)	174.2(11.2)	197.7(52.6)	286.4(67.6)	174.2(11.2)	201.9 ^b	
	均值	168.7 ^a	171.9 ^{a d}	178.1 ^{a d}	194.7 ^{a c d}	215.4 ^{b c}	178.1 ^{b c d}		
$\frac{x(\text{胞间 } \text{CO}_2)}{(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})}$	P_0	309.0(9.1)	297.1(24.9)	315.1(16.3)	306.5(32.4)	306.3(28.2)	302.5(26.0)	305.1 ^a	磷水平: * 基因型: — A×B: —
	P_1	313.9(17.1)	302.1(13.2)	313.3(17.6)	324.2(20.8)	321.2(15.8)	313.9(10.7)	316.8 ^b	
	P_2	316.3(14.8)	307.3(9.7)	319.1(17.9)	306.1(13.5)	319.7(11.8)	312.9(11.0)	313.2 ^b	
	均值	313.1	302.2	315.8	312.7	314.9	309.1		
$\frac{c(\text{P, 叶})}{(\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1})}$	P_0	53.8(4.9)	57.0(15.2)	38.7(8.5)	49.5(6.7)	44.1(13.8)	46.2(1.9)	48.2 ^a	磷水平: ** 基因型: — A×B: —
	P_1	47.3(4.9)	49.5(10.4)	45.2(14.8)	60.2(24.2)	67.7(3.2)	47.3(12.2)	52.9 ^a	
	P_2	155.9(10.4)	206.5(35.5)	171.0(22.6)	181.7(4.9)	178.5(29.3)	184.9(15.2)	179.7 ^b	
	均值	85.8	104.2	84.8	97.1	96.8	92.9		
$x(\text{SUE})$	P_0	8.90(0.9)	9.60(1.3)	10.1(0.6)	9.51(0.8)	10.7(1.0)	11.3(1.5)	10.0 ^a	磷水平: ** 基因型: ** A×B: —
	P_1	12.0(2.3)	11.1(1.9)	11.6(1.5)	12.8(1.9)	11.5(1.8)	13.0(2.8)	12.1 ^b	
	P_2	11.3(2.3)	10.6(1.8)	12.9(2.2)	11.8(1.3)	13.0(2.6)	13.3(2.8)	11.9 ^b	
	均值	10.8 ^a	10.3 ^a	11.4 ^{a b}	11.2 ^{a b}	11.5 ^{a b}	12.4 ^b		
$\frac{x(\text{WUE})}{10^{-3}}$	P_0	2.54(0.31)	3.21(0.43)	2.47(0.44)	3.06(0.76)	3.33(0.78)	3.42(0.48)	2.99 ^a	磷水平: ** 基因型: ** A×B: **
	P_1	2.51(0.39)	2.95(0.35)	2.75(0.40)	3.20(0.76)	2.73(0.47)	2.77(0.30)	2.80 ^b	
	P_2	2.68(0.41)	2.72(0.27)	2.49(0.17)	2.92(0.27)	2.56(0.73)	2.90(0.35)	2.72 ^b	
	均值	2.58 ^a	2.96 ^b	2.56 ^a	3.08 ^b	2.96 ^b	2.91 ^b		
PUE	P_0	6.52	6.69	9.65	8.17	9.46	8.32	8.14 ^a	磷水平: ** 基因型: —
	P_1	11.10	10.20	10.0	7.86	7.61	11.9	9.78 ^a	
	P_2	3.38	2.87	2.28	2.74	2.95	2.68	2.82 ^b	
	均值	7.00	6.59	7.31	6.26	6.67	7.63		

1) 为样本容量, 无标记的样本容量为 20, A' 和 PUE 均由平均值得出. ** 表示极显著 ($P < 0.01$); * 表示显著 ($P < 0.05$); — 表示不显著 ($P > 0.05$); A×B 表示磷水平与基因型的交互作用. 括号里的数值为?

表 2 磷水平对叶面积、单位叶面积干质量、生物量及其分配的影响
Tab. 2 Effects of P levels on leaf area, leaf specific weight, biomass and its distribution

项目	磷水平	G 19833	G19842	G5273	G2444	G 16274	BAT881	均 值	方差分析	
叶	叶面积 cm ²	P ₀	878. 9 (95. 9)	291. 5 (63. 8)	614. 2 (93. 9)	1 059. 1 (93. 4)	559. 0 (31. 4)	250. 4 (60. 0)	608. 9 ^a	磷水平: **
		P ₁	1 302. 7 (32. 9)	1 569. 9 (171. 1)	913. 8 (103. 1)	2 634. 9 (93. 9)	2 030. 9 (252. 1)	448. 1 (33. 6)	1 483. 4 ^b	基因型: **
		P ₂	3 364. 7 (38. 2)	2 546. 7 (39. 6)	2 513. 6 (84. 0)	4 006. 7 (237. 2)	2 427. 5 (347. 2)	1 593. 9 (148. 8)	2 742. 2 ^c	A×B: **
		均值	1 848. 8 ^b	1 469. 4 ^c	1 347. 2 ^c	2 567. 9 ^a	1 672. 5 ^{b c}	764. 2 ^d		
	单位叶面积干质量 (g·m ⁻²)	P ₀	26. 7(1. 6)	30. 7(4. 2)	28. 1(1. 1)	27. 2(1. 2)	26. 1(0. 9)	29. 4(0. 5)	28. 0 ^a	磷水平: **
		P ₁	21. 5(3. 3)	26. 3(0. 4)	26. 3(0. 8)	27. 7(2. 4)	25. 9(1. 5)	25. 8(5. 0)	25. 6 ^b	基因型: *
		P ₂	20. 9(1. 69)	21. 1(0. 9)	26. 4(0. 5)	25. 1(2. 7)	26. 0(3. 3)	28. 0(0. 8)	24. 6 ^b	A×B: —
		均值	23. 0 ^{a b}	26. 1 ^{a b c}	26. 9 ^a	26. 7 ^{a b c}	26. 0 ^{a b c}	27. 3 ^a		
生物量	$\frac{m(\text{根})}{m(\text{冠})}$	P ₀	0. 269 (0. 006)	0. 395 (0. 033)	0. 502 (0. 019)	0. 516 (0. 039)	0. 574 (0. 072)	0. 428 (0. 022)	0. 448 ^a	磷水平: **
		P ₁	0. 345 (0. 009)	0. 306 (0. 025)	0. 332 (0. 030)	0. 399 (0. 031)	0. 372 (0. 016)	0. 408 (0. 040)	0. 360 ^b	基因型: **
		P ₂	0. 243 (0. 035)	0. 219 (0. 058)	0. 241 (0. 011)	0. 371 (0. 044)	0. 332 (0. 036)	0. 454 (0. 016)	0. 310 ^c	A×B: **
		均值	0. 286 ^d	0. 307 ^c	0. 358 ^b	0. 429 ^a	0. 426 ^a	0. 430 ^a		
	$\frac{m(\text{总和})}{g}$	P ₀	4. 73 (0. 34)	2. 08 (0. 42)	3. 20 (0. 39)	5. 02 (0. 36)	4. 31 (0. 32)	1. 79 (0. 25)	3. 52 ^a	磷水平: *
		P ₁	6. 94 (0. 47)	6. 99 (0. 50)	5. 68 (0. 24)	10. 68 (0. 17)	10. 36 (0. 39)	3. 51 (0. 41)	7. 36 ^b	基因型: **
		P ₂	12. 69 (0. 58)	9. 30 (0. 58)	11. 24 (0. 46)	16. 70 (1. 20)	13. 11 (0. 25)	8. 92 (0. 20)	12. 00 ^c	A×B: **
		均值	8. 12 ^c	6. 12 ^d	6. 71 ^d	10. 80 ^a	9. 26 ^b	4. 74 ^c		

但耐低磷与不耐低磷基因型间在其他特征上并无显著差异. 如 G2444 和 G16274 与 BAT881 一样具有较大的 $m(\text{根})/m(\text{冠})$, 所有的基因型在光合能力 A' 、蒸腾速率、 x (胞间 CO_2) 和 PUE 上无显著差异. 所以, 对耐低磷基因型的筛选应以叶面积、生物量和种子产量为主, 同时参考其它生理生态学指标.

磷水平与基因型的交互作用对菜豆的光合能力 A 、蒸腾速率、WUE、叶面积、单位叶面积干质量、 $m(\text{根})/m(\text{冠})$ 和生物量影响极显著 ($P<0.01$, 表 1, 2), 这在今后的研究中应引起重视.

参考文献:

[1] 龙静宜, 林黎奋, 侯修身, 等. 食用豆类植物 [M]. 北京: 科学出版社, 1989. 209~222.
[2] 李继云, 刘秀娣, 周伟, 等. 有效利用土壤营养元素的作物育种新技术研究 [J]. 中国科学 (B 辑), 1995, 25 (1): 41~48.
[3] LYNCH C L, LAUCHLI A, EPSTEIN E. Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition [J]. Crop Science, 1991, 31: 380~387.
[4] FOYER C, SPENDCER C. The relation between phosphate status and photosynthesis in leaves [J]. Planta, 1986, 167: 369~375.

- [5] RADIN J W E. Hydraulic conductance as a factor limited leaf expansion of phosphorus-deficient cotton plants [J] . Plant Physiol 1984 104: 79~84.
- [6] FIELD C, MERINO L, MOONEY H A. Compromises between water-use efficiency and nitrogen-use efficiency in five species of California evergreens [J] . Oecologia 1983 60: 384~389.

Effects of Phosphorus Availability on Characteristics of Physiological Ecology of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

GUO Zhi-hua^{*}, PENG Shao-lin, WANG Bo-sun, YU Rang-cai

Abstract: P deficiency was often a major factor of reducing bean' s output. Six genotypes of common bean grown at 3 different P levels were compared for the their characteristics of physiological ecology. It was concluded that: ① P supply had very outstanding effects on common bean' s photosynthesis capacity, transpiration rate, stomatal conductance, leaf phosphorus, SUE, WUE, PUE and biomass ($P < 0.01$); ② at the same P level, different genotypes' stomatal conductance, SUE, WUE, biomass and etc. were very dominant different ($P < 0.01$); ③ among these genotypes, G2424 had the highest ability of tolerating low P availabilty.

Keywords: common bean; P level; photosynthesis capacity; transpiration rate; stomatal conductance; vegetable growth

^{*} School of Life Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China