植物营养与肥料学报 1999, 5 (1): 40~45
Plant Nutrition and Fertilizer Science

不同磷营养油菜品种根系形态及生理特性差异研究①

刘慧　刘景福　刘武定

（华中农业大学资源环境与农业化学系，武汉 430070）

摘要　研究不同磷营养油菜对磷素的反应及其根系形态特征、生理特性等方面的差异，结果表明：磷高效油菜需磷量较小，而在缺磷时吸磷量较大；缺磷时两种油菜品种根冠比增加，且磷高效品种增加幅度大于磷低效品种；缺磷时，磷高效品种具有较长的根系，较大的根体积、根表面积与根活跃吸收表面积，而加磷时，两品种差异不大。油菜缺磷时，磷高效品种磷外渗率小于磷低效品种，加磷时两品种磷外渗率差异不大。缺磷时磷高效品种对磷的亲和力大于磷低效品种，加磷时磷高效品种中磷进入根系的最大净流量小于磷低效品种。

关键词　油菜　磷吸收效率　品种差异　根系形态　生理特性

作物磷营养基因型差异早就引起了人们的注意，Smith 在 1934 年已报道了玉米在吸收、利用磷方面的差异[1]。近年来，这方面的研究甚为引人注目[2,3]。这种基因型差异不仅存在于不同的植物种类之间[2,4,5]，而且存在于同一植物的不同品种之间，这在玉米、高粱、蚕豆、大麦、水稻、小麦等作物上均有报道[1,6~11]。

关于作物磷营养基因型差异的可能机理已有一些研究报道。Clark[6]和 Michalik[9]研究表明，磷高效品种在低磷介质中能比磷低效品种吸收和积累更多的磷，这是通过一些形态和生理上的变化差异来实现的。Foehse 等[2]发现磷低效基因型植物根冠比低于磷高效基因型；一些研究表明，磷高效基因型可通过增加根长[11]、根体积[12]，根毛和侧根数量[13]、减少根半径[11]以增加根系与土壤的接触面积，从而提高根系对磷这种难移动元素的吸收机会。

在磷营养胁迫条件下，根系对离子的吸收动力学参数对植物吸磷特性有重要意义。Imax 值只有在部分根系获得高磷供应时才可能成为植物吸磷量的限制因子。不同基因型植物的 Km 值和 Cmin 值不同，用玉米和大麦所做的试验表明，磷高效基因型有 Imax 大，Km 和 Cmin 小的特点，这些结果表明，植物对磷的主动吸收的控制是磷高效率的一种可能机理。

油菜是对缺磷很敏感的作物，土壤缺磷是油菜获得高产的重要限制因子，选择、培育和利用磷高效基因型油菜是改善缺磷状况的一条节能、低耗、高产、高效的新途径。关于油菜磷营养基因型差异机理研究甚少，本试验旨在研究不同基因型油菜根系形态特征及生理特性的差异，以揭示其吸磷特性差异的机理。

①农业部 95-农-17-04-01 课题资助.
收稿日期：1997-09-01

1 材料与方法

1.1 土培试验

供试土壤为武汉市狮子山黄棕壤，其全磷含量为 0.0497%，速效磷（P）含量为 4.73mg/kg，供试作物为从 32 个甘兰型油菜品种中筛选出来的对缺磷敏感程度不同的两个品种：HB（磷高效品种）和 SH（磷低效品种）。

试验设缺磷（-P）和加磷（+P）2 个处理，肥底加 N 0.25g/kg，K 0.1g/kg，加磷处理在肥底基础上加 P 0.1g/kg。每钵装土 1kg，重复 3 次，4~5 叶期收获幼苗，经 105 ± 2℃杀青 30 分钟，70℃烘干称重，钼兰比色法测磷含量。

1.2 水培试验

根形态参数的测定　油菜幼苗在石英砂中培养 1 周，移栽至加磷的 Hoagland 营养液中培养 3 天，然后分别移至缺磷与加磷的 Hoagland 营养液中培养两周后，用网格法测根长，排水法测根体积，吸附甲烯蓝染色法测根表面积和根活跃吸收表面积，电导仪法测根膜透性，（表 4 中液 I 为每克根在去离子水中放置 1 小时后溶液的电导率，它可以反映 1 小时根中释放出电解质的多少，而液 II 为每克根在去离子水中被煮过后溶液的电导率，它可以反映根中总电解质量的多少，二者比值可以反映根膜透性的大小）。磷的外渗率是将植株移栽于 0.5mol/L $CaCl_2$ 溶液 4 小时内，每克油菜根（鲜重）每小时释放出的磷量，这个结果并不是磷的绝对外渗率，而是一个相对结果，因为外渗出来的磷在 4 小时内又有一部分被吸收了。

根系吸收动力学参数测定　油菜幼苗在石英砂中培养 1 周后，移至加磷的 Hoagland 营养液中培养 10 天，再在缺磷与加磷处理的 Hoagland 营养液中培养 2 周，即出现明显的缺磷症状，饥饿 1 天后，将幼苗移入 100mL 1/10 Hoagland（含 P 0.1mol/L）培养液中，每 0.5,1.0,1.5,2,3,4,5,6,7,9,11h 取样一次，每次 5mL，并每次补加 5mL 蒸馏水于营养液中，用钼兰比色法测磷含量。

2 结果与分析

2.1 不同磷营养油菜生长量及吸磷量

表 1 表明，在缺磷情况下，HB 的相对生长量大于 SH，说明 HB 的磷营养效率高于 SH；同时 HB 的吸磷量也明显大于 SH，说明 HB 吸磷能力强于 SH。而加磷时 HB 的吸磷量小于 SH，说明 HB 的需磷量小于 SH，而相对吸磷量则 HB 大于 SH。

表 1 磷对不同磷营养油菜生长量及吸磷量的影响（土培）

Table 1　Effect of P on growth and absorpted P in different rape cultivars (soil culture)

油菜品种 Cultivars	地上部干重(g/pot) Shoot dry wt.		相对生长量（%） Relative amount	吸磷量(g/pot) P absorbed		相对吸磷量（%） Relative amount
	-P	+P		-P	+P	
HB	0.67	3.10	21.7	1.35	8.74	15.4
SH	0.28	2.85	9.8	0.80	10.41	7.7

相对生长量及相对吸磷量=(-P/+P) × 100

Notice: relative growth amount and relative amount of P absorbed=(-P/+P) × 100

2.2 不同磷营养油菜根系形态特性的差异

缺磷降低两油菜品种地上部干重及根干重，但地上部干重降低幅度大于根干重，根冠比提高（表 2），表明不同磷营养油菜根冠比受缺磷影响不同。HB 缺磷时根冠比较

加磷时增加 106%，而 SH 为 76.4%，说明 HB 在缺磷环境中除有效地利用土壤磷外（表 1），还可能有较强的自我调节能力，使更多的光合产物分配到根系，以保证根系的优先生长，从而使地上部生长受抑程度较小。

表 2 磷对不同磷营养油菜根冠比的影响（水培）

Table 2 Effect of P on root/shoot of different rape cultivars

油菜品种 Cultivars	地上部干重(g/pot) Shoot dry wt.		根干重（g/pot） Root dry wt.		根/冠比 Root/Shoot	
	-P	+P	-P	+p	-P	+P
HB	1.03	2.20	1.46	1.52	1.42	0.69
SH	0.81	2.16	1.03	1.56	1.27	0.72

在养分吸收过程中，养分必须首先到达根表，所以养分离根表越近，被吸收的可能性就越大。磷在土壤中迁移的速率慢且距离短，因而根系的形态学特性对养分吸收非常重要。尽管磷对根重的影响较对地上部影响小，但在缺磷情况下，根半径减小，从而增加了单位根比表面，以提高根系对磷的吸收，这是作物对缺磷的一种适应性调节，即通过根系的形态学变化，以增加根系表面积来调节根对磷及其它养分的吸收，从而增强对缺磷环境的适应能力[11]。

缺磷时，HB 根长、根体积分别为 775.6cm/盆，1.41mL/盆，分别为加磷处理的 96.5%，93.4%，而 SH 缺磷时根长、根体积分别为 540.8cm/盆，1.05mL/盆，分别为加磷处理的 81.1%，66.6%（表 3）。由此可以看出，HB 在缺磷时能保持较大的根系，利于对磷的吸收。

表 3 磷对不同磷营养油菜根系参数的影响

Table 3 Effect of P on root parameters of different rape cultivars

油菜品种 Cultivars	项目 Item	HB	SH
根长 (cm.pot^{-1})	-P	775.6a	540.8b
	+P	788.2a	805.9a
	(-P/+P) × 100	96.5	81.1
根体积 (mL.pot^{-1})	-P	1.41a	1.05b
	+P	1.51a	1.58a
	(-P/+P) × 100	93.4	66.6
根表面积 (m^2.pot^{-1})	-P	0.777a	0.528b
	+P	0.784a	0.792a
	(-P/+P) × 100	99.1	66.7
活跃吸收表面积 (m^2.pot^{-1})	-P	0.413a	0.287b
	+P	0.424a	0.427a
	(-P/+P) × 100	92.3	67.2

油菜对磷的吸收性能还表现在根表面积及根活跃吸收表面积上。表 3 还表明，缺磷时，HB 根表面积及根活跃吸收表面积均明显大于 SH，而加磷时二者差异不大，这说

明 HB 缺磷时吸磷能力强于 SH。这些根系参数的差异是 HB 在缺磷时吸磷能力强的表现机理。

2.3 不同磷营养油菜根膜透性与磷外渗率的差异

由表 4 可以看出，根中总电解质的量和根膜透性越大，磷的外渗率就越大。缺磷处理的根膜透性低于加磷处理的，这或许是油菜对缺磷的一种适应机理，即通过根膜透性的减小，减少根中磷的外渗，以保证净吸收受抑程度较小。缺磷处理的 HB 磷外渗率明显低于 SH，二者相差[(SH-HB) ×100]为 81.5%，而加磷处理的相差仅为 4.7%，说明不同磷营养油菜缺磷时控制磷外渗的能力有很大差异，这也许是油菜磷营养差异的机理。缺磷处理的 HB 根中总电解质的量与根膜透性都较 SH 小，但根中部电解质量的差异（为 9.6%）小于根膜透性的差异（为 23.4%），因而可以说，缺磷时两油菜品种磷外渗率的差异主要是由于根膜透性的差异造成的。由此可见，在缺磷情况下，HB 能通过根膜透性的变化来减少磷的外渗，以增强磷的净吸收，从而保证植株的正常生长；也可以说缺磷时根膜透性的改变是油菜磷营养差异的可能机理。

表 4　磷对不同磷营养油菜根膜透性与磷外渗率的影响

Table 4　Effect of P on root cell membrane permeability and P-efflux rate of different rape cultivars

油菜品种 Cultivars	处理 Treat.	液 I Solution I	液 II Solution II	根膜透性 Root membrane permeability	磷外渗率 P-efflux rate ($\mu g.g^{-1}.h^{-1}$)
HB	-P	0.101	0.895	0.113	0.223
	+P	0.235	1.270	0.185	1.355
SH	-P	0.141	0.985	0.143	0.530
	+P	0.325	1.305	0.249	1.420

2.4 不同磷营养油菜根系吸收动力学特性

表 5 表明，不同磷营养油菜吸收养分的动力学参数不同。缺磷处理的 Km 值较加磷处理的减小，说明缺磷处理的油菜根系对养分亲和力大。缺磷时，HB 的 Km 值明显小于 SH，说明 HB 在缺磷时根系对磷有较强的亲和力，因而其在缺磷时能吸收较多的磷；而加磷时两油菜品种差异不大，且 HB 大于 SH，说明外界磷充足时，HB 的吸磷能力小于 SH。另外，缺磷时两油菜品种 Imax 值与 a 值都较加磷时增加，且不同品种之间存在差异。缺磷时，HB 和 a 值明显大于 SH，而加磷时却相反，说明在同样缺磷的条

表 5 磷对不同磷营养油菜吸收动力学参数的影响（水培）

Table 5　Effect of P on P-absorption kineticts parameters of different rape cultivars

油菜品种 Cultivars	Km(μ mol.L^{-1})		Imax(μ mol.g^{-1}.h^{-1})		a=Imax×1/Km	
	-P	+P	-P	+p	-P	+P
HB	10.5	76.5	11.5	4.5	1.100	0.059
SH	23.5	72.0	10.5	7.1	0.447	0.099

注：Km:米氏常数 Michaelis constant

Imax: 磷进入根系的最大净流量 Largest amount of net P-influx

a: 表明在相同 Pi 浓度情况下 Pi 流入速率的大小 Show Pi-influx rate in same Pi concentration

件下，HB 的磷流入速率较大，而在加磷时情况相反。Imax 值只有在+P 情况下两品种间才有明显的差异，且加磷时 HB 小于 SH，说明加磷时 HB 中磷进入根系的最大净流量小于 SH，因而 HB 加磷时吸收磷量小于 SH，缺磷时两品种的 Imax 值差异不大。

3 小结

缺磷时，不同磷营养油菜对磷的吸收能力存在明显差异：磷高效品种能维持较大的根冠比、以较大的根系，较大的根吸收表面积与活跃吸收表面积，来保证根系与土壤较大的接触机会。且根系对磷的亲和力较大，因而在同样缺磷的条件下，保持较大的磷流入速率；同时根膜透性较小，减少了磷的外渗，因而磷的净吸收速率较大，所以其吸收磷的效率较高。加磷时，两油菜品种的吸磷能力差异较小，且磷高效品种略低于磷低效品种，因而其吸收磷的效率略低于磷低效品种。

在造成不同磷营养油菜吸磷能力差异的诸因子中，哪个是起决定性作用的，尚难以得出结论，磷营养遗传被公认为是数量性状遗传，那是不是这些因子都在数量性状遗传中起一定的作用，哪些是主因子，哪些是附因子，还要通过遗传学的方法做进一步的研究探索。

参考文献

1 Smith SN. Response of inbred lines and crosses in maize to variations of nitrogen and phosphorus supplied as nutrients. J. Am. Soc. Agron., 1934,25:785~804.

2 Foehes D, Claassen N and Jungk A. Phosphorus efficiency of plants. I :External and internal P requirment and P uptake efficiency of different plant species. Plant soil, 1988,110:101~109.

3 Gerloff GC. Intact-plant screening for toleronce of nutrient deficiency stress. Plant Soil, 1987,99:3~16.

4 Fist AJ. Smith FW and Edwards DG. External phosphorus requirments of five tropical grain legumes grown in flowing solution culture. Plant Soil, 1987,99:75~84.

Itoh S. Characteristics of phosphorus uptake of chickpea in comparison with pigeopea, soybean and maize. Soil Sci. Plant Natr., 1987, 33:417~422.

6 Clark RB and Brown JC. Differential phosphorus uptake by phosphorus-stressed corn inbreds. Crop Sci., 1974, 14(4): 505~508.

7 Clark RB. Plant genotype differences in the uptake, translocation, accumulation and use of mineral elements required for plant growth. In: Saric MR and Loughmn BC(eds). Genetic aspect of plant nutri. Martinus Ni jhoff/Dr. W. Junk publishers. 1983, 49~70.

8 Vose PB. Rationale of selection for specific nutritional characters incrop improvement with *phaseolus vulgaris* L. As a case study. In: Saric MR and Loughmn BC(eds). Genetic aspect of plant nutri. Martinus Ni jhoff/Dr. W. Junk publishers. 1983, 395~408.

9 Michalik I. The accumulation of phosphate in roots of different genotypes of maize. In: Saric MR and Loughmn BC(eds). Genetic aspect of plant nutri. Martinus Ni jhoff/Dr. W. Junk publishers. 1983, 139~144.

10 林翠兰，曹一平，张福锁. 缺磷对不同基因型玉米根系形态及吸收生理特性的影响. 《土壤与植物营养研究新动态》第一卷. 北京农业大学出版社，1992, 120~366.

11 Barrow NJ.~Genotypic difference in phosphorus efficiency of wheat. plant nutrition~from gentic engineering to field practice. kluner Academic Publishers, 1993,363~366.

12 王永锐等. 杂交水稻"油优 6 号"和"威优 6 号"对磷（^{32}P）的吸收分配和干物质重增长情况研究. 中国农业科学，1983, 3:15~19.

DIFFERENCES OF ROOT MORPHOLOGY AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS BETWEEN TWO RAPE GENOTYPES WITH DEFFERENT P-EFFICIENCY

Liu Hui Liu Jingfu Liu Wuding

(Huazhong Agri. Univ., Wuhan 430070)

Abstract The two rape (*Brassica napus* L) genotype with different P-efficiency (HB:higer P-efficiency, SH:lower P-efficiency) were selected from 32 rape cultivas. Further studies were carried out to the ability of P-absorption; the root morphology such as root/shoot ratio, root length, root volume, root surface area and active-absorb surface area; the physiological characteristic such as root membrane permeability, P-efflux rate and kinetic parameters between two rape genotype under P-deficiency and P-adequate conditions. The results showed that HB can take in more P from soil than SH. The reason was that when P was deficient, HB maintained higher ratio of root to shoot, bigger root system, larger root surface area, higher root activity, stronger affinity to P, so it's uptake efficiency was higher; meanwhile, its root cell membrane permeability and P-efflux rate decreased, so the net uptake rate was higher. Under the P-adequate conditions there was very little difference between two genotype of rape in ability to P absorption.

Key words Rape P-absorption efficiency Genotypic differences Root morphology Pysiological characteristic

[上接第 7 页]

RESPONSE AND INTERACTION FOR WATER AND FERTILIZER

I. INTERACTION OF N, P AND WATER IN THE YEAR OF DIFFERENT PRECIPATIONS

Jin Ke Wang Deshui Cai Dianxiong Zhou Yong

(Soils and Fertilizers Institute CAAS, Beijing 100081)

Guo Shichang Huang Fen Wang Cuiling

(Luoyang Agri. Sci. Inst, Luoyang 471000)

Abstract By statistical analysis of the 30 years rainfall of Luoyang, Henan Province, the different pattern of annual precipation were stimulated and the water proof sheld was used to study the interaction and response for N, P and water. The result of experiment showed that, under the condition of low water content, the favorable yield could also be gotten through coordinating the water and fertilizer; the interaction type of different elements can change under the control of man-made. In normal year and the year with high water, the interaction for N_1 and water is sequentially additive type, N_2, N_3 and water are synergistic type, and the response of P is lower correspondingly. The response of N have a closely relation with soil water content, and the sequence of response of P in different type of year is: the year with low water>normal year>the year with high water.

Key words Nitrogen Phosphorus Water Interaction Year of different precipations