

磷胁迫对植物直接活化和利用矿物结构钾的影响^①

王敬国^② 张浙玲 曹一平

(中国农业大学资源与环境学院 北京 100094)

摘要 玉米、油菜和黑麦草等植物根系可直接活化和利用片麻岩和钾长石中的矿物结构钾。尤其在磷胁迫条件下,这些植物对钾长石中矿物结构钾的活化利用能力都显著增强,表现在矿物结构钾的净释放量显著增加。玉米和油菜对矿物钾的直接活化和利用作用,可能与磷胁迫条件下有机酸的释放有关。

关键词 植物; 根际; 磷胁迫; 矿物结构钾; 活化

分类号 S154.2

Effect of P-Stress on Structural K Mobilization and Utilization by Plants

Wang Jingguo Zhang Xiling Cao Yiping

(College of Resources & Environment, CAU)

Abstract Under P-stress, mobilization and utilization of structural K in gneiss and feldspar by maize (*Zea mays* L. ND60), rape (*Brassica chinensis* L.) and ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) was significantly increased, as indicated by total K release. The mobilization and utilization of structural K by maize and rape might be attributed to release of organic acids from plant roots.

Key words plant; rhizosphere; P stress; structural K; mobilization

植物根系能够促进矿物结构钾的释放^[1]。其原因可能是由于根系对钾的吸收打破了不同形态钾之间的动力学平衡,从而导致了矿物结构钾的释放^[2];也可能是由于根系分泌物的直接活化作用。例如,Song 和 Huang^[3]曾采用草酸、柠檬酸与含钾矿物混合振荡的方法研究矿物结构钾的释放,发现这些有机酸物质,对各种含钾矿物都具有促进钾释放的作用。Hinsinger 等^[4]发现,油菜根系对矿物结构钾也有较强的活化能力,并导致云母类矿物的蛭石化。他们把这种作用归因于根际的酸化,即由根系分泌的质子置换出了矿物层间的钾,导致矿物分解。但在他们的试验中,由于硝态氮肥的用量是铵态氮肥的 2 倍,在这样大量施用硝态氮肥的条件下,根际可能是出现碱化而不是酸化,因此油菜根系活化矿物钾的作用可能主要还是由于油菜根系分泌的有机酸,而不仅仅是质子的作用。

在缺磷胁迫条件下,植物通过增加有机酸类物质的分泌促进难溶性磷的释放^[5]。多年来本实验室筛选了一批在磷胁迫条件下能够分泌大量有机酸类物质的植物。例如,玉米分泌酒石酸和丁二酸、油菜能够分泌苹果酸、柠檬酸等^[6]。本试验选择了油菜、玉米以及对土壤钾利用能

收稿日期: 1997-07-17

①国家自然科学基金资助项目 39570418

②王敬国,北京圆明园西路 2 号中国农业大学(西校区),100094

力较强的黑麦草等植物,研究它们在缺磷胁迫条件下、根系增加有机酸的分泌对活化和释放矿物结构钾的作用。

1 材料与方法

1.1 盆栽试验(试验一)

1.1.1 供试植物 玉米(*Zea mays* L. ND60),一年生黑麦草(*Lolium multiflorum* Lam.),油菜(五月慢)(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.) Mokina. var. *cammunis* Tsen et Lee, cv. Wuyueman)。

1.1.2 培养介质的制备 将片麻岩机械破碎后过筛,选取其中粒径在2~5 mm和1~2 mm的部分,先用自来水洗涤除去浮尘,然后用去离子水洗去片麻岩中的水溶性钾离子后,风干备用。细粒级(1<D<2 mm)中的速效K与缓效K含量分别为40.2 mg·kg⁻¹和304 mg·kg⁻¹;粗粒级(2<D<5 mm)中的速效K与缓效K含量分别为16.0 mg·kg⁻¹和280 mg·kg⁻¹。

1.1.3 营养液配方 营养液组分及浓度(mmol·L⁻¹)为:MgSO₄ 1.00, NH₄H₂PO₄ 2.00, Ca(NO₃)₂·4H₂O 2.5, EDTA-Fe 0.1, H₃BO₃ 0.02, MnCl₂ 2×10⁻³, ZnSO₄·H₂O 2×10⁻⁴, CuSO₄·H₂O 2×10⁻⁴, (NH₄)₆Mo₇O₂₄·H₂O 5×10⁻⁵; pH调至6.2, -P营养液不加NH₄H₂PO₄,代之以NH₄Cl,其余同。

1.1.4 植物培养 先用浓度为6% H₂O₂浸泡种子20 min,然后在25℃下催芽,露白后移至装有培养介质的塑料盆(容积约1 L)中,黑麦草每盆50株,玉米每盆5株,油菜每盆6株,每盆装培养介质850 g。设缺磷(-P)和加磷(+P)2个处理,各重复3次,不施钾肥。其中+P处理每千克介质中施入N 0.15 g(尿素)和P₂O₅ 0.10 g(三料过磷酸钙,46% P₂O₅)做底肥;-P处理在底肥中只施尿素。在植物生长的前期(约50 d),两种处理的植物都浇+P营养液,在生长后期,加磷处理的植物浇+P营养液,缺磷处理的植物浇-K-P营养液,处理约10 d后收获,每天称重定量浇营养液,培养温度25℃,光照时间每天14 h,全程培养时间共60 d。

1.2 模拟培养试验(试验二)

1.2.1 供试植物 同试验一。

1.2.2 培养介质 钾长石粉碎后过300目筛。

1.2.3 培养装置 模拟培养装置是在Hinsinger等^[7]设计的装置基础上改进而成的(图1)。该装置可分为内环、外环;内环又可分上、下2部分,底部用来装培养介质,上部用来种植物;中间用400目的尼龙网膜隔开。外环的底部盛放营养液,膜伸入营养液内,做为导水体把营养液导向植物。

1.2.4 营养液配方 同试验一。

1.2.5 植物培养 先用6%的H₂O₂将种子浸泡20 min,然后用饱和CaSO₄溶液浸泡24 h催芽,露白后密播于膜上(油菜每盆100粒、玉米每盆8粒、黑麦草每盆100粒)以便形成根垫。先在CaSO₄(2×10⁻⁴ mol·L⁻¹)溶液中培养4 d后,在不含K⁺的溶液中连续培养4

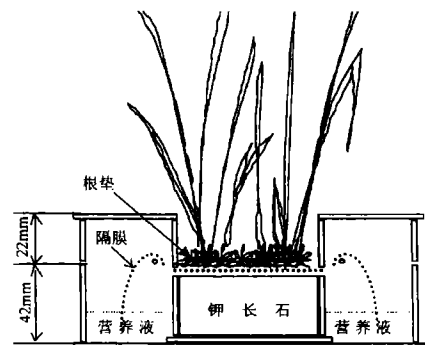


图1 培养装置示意图

d,然后将植物移至培养箱内环上部,仍旧每天更换营养液。2周后,开始分别进行缺磷和加磷的处理(加-P或+P营养液),每个处理3个重复。培养温度为25℃,光照每天14h,1周后收获。

1.3 分析项目及测定方法

1.3.1 植株生物量测定 分别收获植株的地上、地下部分,先在95℃左右杀青20min,然后在65℃下烘干后称重。

1.3.2 植株含钾量测定 将烘干后的植株样品磨细,用湿灰化法消煮,火焰光度计测K⁺浓度。

1.3.3 培养介质中速效钾与缓效钾的测定 盆栽试验中的植物收获后,分别用中性NH₄OAc溶液1mol·L⁻¹和HNO₃2mol·L⁻¹振荡30min浸提的方法测片麻岩中的速效钾与缓效钾的含量。模拟试验中的植物收获后,将培养装置中装有钾长石的内环取出,用刀片分别取距离“根表”1~3mm、4~10mm、11~26mm的钾长石样品,测定速效K与缓效K含量。

2 结果

2.1 磷胁迫条件下植物对片麻岩矿物结构钾的吸收利用

2.1.1 植物的生长 在缺磷条件下,植物的生长受到抑制。在3种植物中,对油菜和黑麦草的影响比较大,而对玉米的影响较小(表1)。

表1 不同磷处理下植物地上部干重比较

m/g·盆⁻¹

供试植物	粗粒介质 2<D<5 mm		细粒介质 1<D<2 mm	
	-P	+P	-P	+P
玉米	4.06±0.12	3.87±0.34	3.96±0.27	5.09±0.21
油菜	4.20±0.56	5.70±0.20	5.29±0.56	6.48±0.45
黑麦草	2.94±0.23	4.01±0.31	3.43±0.11	5.00±0.14

2.1.2 植株含钾量和吸钾总量 图2给出了不同P处理下植物地上部分含K量。结果表明在缺P条件下,无论片麻岩粒径大小,3种植物地上部分含K量(%)明显高于正常供P条件下的植株。

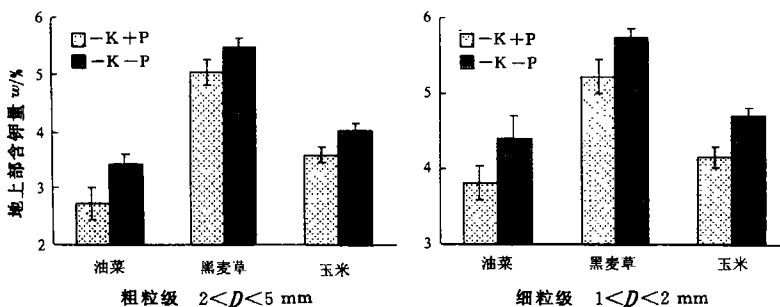


图2 磷处理对植物地上部含钾量的影响

2.2 磷胁迫条件下植物对钾长石矿物结构钾释放的影响

2.2.1 植物的生长 在模拟培养试验中,除黑麦草外,其余植物缺磷处理的植株与对照相比,干物重的差异不显著(表 3)。

2.2.2 植物吸钾总量 由于改进了培养装置和培养方法,使培养前期植物的生长条件完全一致,从而克服了试验一存在的问题,加上培养后期缺 P 处理时间较短,因此不同磷处理没有对植物的干重和吸钾总量(表 4)产生明显影响。

表 3 不同磷处理下植物干重比较

处理	m/g·盆 ⁻¹		
	玉米	油菜	黑麦草
+P	2.89±0.13	0.27±0.07	1.91±0.08
-P	2.74±0.09	0.25±0.05	1.72±0.06

表 4 不同磷处理下植物吸钾总量比较

处理	m/g·盆 ⁻¹		
	玉米	油菜	黑麦草
+P	23.54±1.04	7.95±1.62	19.10±2.34
-P	23.93±0.60	7.69±1.25	22.14±1.20

2.2.3 钾长石中矿物钾的净释放量 种植作物后,钾长石中速效 K 和对照相比明显下降(表 5),而且根表附近,下降幅度加大,不同 P 处理对速效 K 的含量的影响不显著;缓效 K 的含量较为稳定,仅在距根表 1~3 mm 处有比较明显的亏缺,在距根表 4 mm 以外,几乎没有变化。

表 5 距根表不同距离的钾长石中速效钾与缓效钾的变化

植物种类	距根表距离 l/mm	速效钾			缓效钾		
		CK	+P	-P	CK	+P	-P
		m/mg·kg ⁻¹					
玉米	1~3	751	501	474	779	534	719
	4~10		528	532		642	751
	11~26		616	636		757	754
油菜	1~3		534	559		576	688
	4~10		596	589		710	828
	11~26		662	679		766	824
黑麦草	1~3		352	376		485	475
	4~10		463	522		705	872
	11~26		570	666		808	830

根据公式(1)计算的钾长石中矿物结构钾的净释放量(图 3)。结果表明,磷胁迫条件下,所有供试植物活化释放的钾长石矿物结构钾的数量显著高于正常供磷的处理。

3 讨论

土壤水溶性钾、交换性钾、非交换性钾和矿物结构钾之间存在着动态平衡,植物对近根土壤溶液中钾的吸收作用,打破了这种平衡,导致交换性钾、非交换性钾甚至矿物结构钾的释放。因此,土壤矿物钾的释放与植物

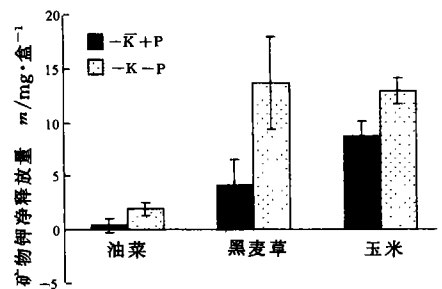


图 3 不同磷处理下钾长石中矿物钾的净释放量

体本身对钾的需要有关。例如,对钾需要量大的植物如玉米,钾的释放量也较大。

然而,土壤矿物钾的释放还受根系的直接活化能力的影响。本研究结果表明,植物根系能够直接活化和利用矿物结构钾,而且这种活化作用与根际有机酸类物质的释放有关。许多植物在缺磷条件下能够分泌有机酸。研究^[6]发现,玉米(农大 60)在缺磷条件下有机酸分泌量是正常供磷条件下分泌量的 4 倍、油菜(五月慢)在缺磷条件下有机酸的分泌量约为供磷对照的 66 倍。本研究表明,在缺磷条件下这 2 种植物的生长未受显著影响,而活化释放矿物结构钾的量远远大于正常供磷水平,即矿物结构钾的释放量增加与有机酸分泌有关。而且在两种粒级的片麻岩上,磷胁迫同样促进了植物对钾的吸收。至于黑麦草在缺磷条件下对矿物结构钾释放的促进作用,需要进一步研究。

参 考 文 献

- 1 张浙玲,王敬国,曹一平. 不同植物对矿物结构钾利用能力的比较. 本刊本期:67~71
- 2 Sparks D L. Potassium dynamics in soils. *Advances in Soil Science*,1987,6:1~63
- 3 Song S K,Huang P M. Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Science Society of America Journal*,1988,52:383~390
- 4 Hinsinger Ph,Elsass F, Jaillard B,Robert M. Root-induced irreversible transformation of a trioctahedral mica in the rhizosphere of rape. *Soil Science*,1993,44:535~545
- 5 Hoffland E, Findenegg G R,Nelemans J A. Solubilization of rock phosphate by rape: 1. Evaluation of the role of the nutrient uptake pattern. *Plant and Soil*,1989,113:155~160
- 6 马敬. 磷胁迫下植物根系有机酸的分泌及其对土壤难溶磷的活化. [学位论文]. 北京农业大学,1994
- 7 Hinsinger Ph,Dufey J E,Jaillard B. Rapid weathering of a trioctahedral mica by the roots of ryegrass. *Soil Science Society of America Journal*,1992,56:977~982