

不同植物对矿物结构钾利用能力的比较^①

张浙玲^② 王敬国 曹一平

(中国农业大学资源与环境学院)

摘 要 盆栽试验结果表明,玉米、油菜和黑麦草等植物能够直接利用片麻岩中的矿物结构钾。不同种类的植物对矿物结构钾的利用能力有显著差异,而且矿物粒径的变化对钾的植物有效性影响很大。

关键词 植物;片麻岩;矿物结构钾;活化

分类号 S154.2

Comparison of Structural K Mobilization and Utilization Among Plant Species

Zhang Xiling Wang Jingguo Cao Yiping

(College of Resources & Environment, CAU)

Abstract Structural K in gneiss could be mobilized and utilized by maize (*Zea mays* L. ND60), pak-choi (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.) Mokina. var. *cammunis* Tsen et Lee, cv Wuyueman *chnensis* L.) and ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.). Among the plant species tested, more profound release of structural K was observed with maize and ryegrass. Besides, the mobilization of structural K negatively correlated with the particle sizes of gneiss.

Key words plant species; gneiss; structural K; mobilization

我国北方土壤中钾的含量普遍较高,华北地区土壤全K含量在1.54%~2.00%之间^[1]。然而,土壤中绝大部分钾(90%以上)存在于矿物晶格中,水溶性和交换性钾的含量很低。由于作物的吸收而施肥补充钾的量又很少,土壤有效钾含量呈下降趋势,致使北方地区施钾增产的范围越来越广^[2]。但是,我国钾矿资源严重不足,每年靠大量进口钾肥以满足作物对钾的需求^[3]。显然,通过大量增施钾肥来补充土壤有效钾有很大困难,而通过生物学途径,发掘植物自身的营养潜力,高效利用土壤中潜在的钾素资源则有广阔的前景,它既可减少钾肥的进口和施用、又可提高钾肥的利用效率,是解决这一问题的重要潜在途径。

实践表明,植物能够直接利用土壤中的矿物态钾。例如,在河北迁安等地,农民将片麻岩经过机械破碎后直接用于果树生产,果树作物在不需施用钾肥的条件下生长良好。在研究植物对金云母晶格中钾释放的影响时,Hinsinger等^[4,5]发现,黑麦草和油菜能够促进矿物结构钾的释放,并导致矿物的蛭石化。本试验选用采自于河北燕山山区的片麻岩作为植物的供钾源,并以其为盆栽试验的培养介质,用于比较植物在盆栽条件下对片麻岩中矿物结构钾的利用能力。

收稿日期:1997-07-17

①国家自然科学基金资助项目 39570418

②张浙玲,北京圆明园西路2号中国农业大学(西校区),100094

1 材料与方 法

1.1 不同种类植物对片麻岩中矿物钾的利用差异(试验一)

1.1.1 供试植物 一年生黑麦草(*Lolium multiflorum* Lam.); 多年生黑麦草(*L. perenne* L.); 油菜(五月慢)(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.) Mokina. var. *communis* Tsen et Lee, cv Wuyueman *chnensis* L.); 苜蓿(安斯塔)(*Medicago sativa* L. cv Asta); 苜蓿(海菲)(*Medicago sativa* L. cv. Haifei)。

1.1.2 培养介质的制备 将片麻岩机械破碎(粒径 <10 mm)后,先用自来水洗涤,除去浮尘,后用去离子水洗涤3遍,除去水溶性钾,然后风干备用。片麻岩中速效K与缓效K的含量分别为 $13.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $221.1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.1.3 无钾营养液的配方 营养液组分及浓度($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$): $\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 1.4; $\text{NaH}_2\text{PO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.25; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 2.0; EDTA-Fe 0.1; H_3BO_3 0.02; $\text{MnSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$ 1×10^{-3} ; $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1×10^{-3} ; $\text{CuSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$ 5×10^{-4} ; $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 5×10^{-5} ; pH调至6.0。

1.1.4 植物培养 将选出的种子先用6% H_2O_2 浸泡20 min,然后在25℃下催芽,露白后移至容积为1 L、装有培养介质的塑料桶中,每盆各种植黑麦草60株、油菜和苜蓿各10株,培养介质1.5 kg,设三个重复。每千克介质施入N 0.15 g(尿素)、 P_2O_5 0.10 g(三料过磷酸钙,46% P_2O_5)作底肥,不施钾肥;在植物苗期生长阶段只浇水,中期浇水和营养液各一半,后期浇全营养液,每天称重定量灌水,培养温度28℃,光照时间每天14 h,培养时间50 d。

1.1.5 片麻岩中矿物钾净释放量的计算 本试验是一个封闭体系,可利用平衡法来计算钾的净释放量。矿物中各种形态的钾如水溶性钾、交换性钾和非交换性钾可通过化学分析方法测得,用 K_L 表示, $K_{\text{矿物}}$ 和 $K_{\text{植物}}$ 分别表示矿物结构钾和植物吸收的钾。系统中钾的平衡式写为:

$$K = K_L + K_{\text{矿物}} + K_{\text{植株}}$$

试验前后体系中钾的总量是恒定的,如果用 K_I 和 K_F 分别表示初始值和最终值,则上式可写为:

$$K_{\text{总}} = K_{IL} + K_{I\text{矿物}} + K_{I\text{植株}} = K_{FL} + K_{F\text{矿物}} + K_{F\text{植株}}$$

因此: $(K_{I\text{矿物}} - K_{F\text{矿物}}) = (K_{F\text{植株}} - K_{I\text{植株}}) - (K_{IL} - K_{FL})$

其中, $(K_{F\text{植株}} - K_{I\text{植株}})$ 是生长期中植物吸收的钾,用 $K_{\text{吸收}}$ 表示; $(K_{IL} - K_{FL})$ 是片麻岩中水溶性钾、交换性钾和非交换性钾的减少量,用 K_A 来表示; $(K_{I\text{矿物}} - K_{F\text{矿物}})$ 则是片麻岩中矿物钾的净释放量,用 $K_{\text{释放}}$ 来表示;因此,上式可写为:

$$K_{\text{释放}} = K_{\text{吸收}} - K_A \quad (1)$$

1.2 不同粒级片麻岩对植物利用矿物钾的影响(试验二)

1.2.1 供试植物 玉米(*Zea mays* L. cv. ND60); 油菜(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.) Mokina. var. *communis* Tsen et Lee, cv. Wuyueman *chnensis* L.); 黑麦草(*Lolium multiflorum* Lam.)。

1.2.2 培养介质 将片麻岩机械破碎后过筛分级,选取其中粒径在2~5 mm,1~2 mm的部分,分别用自来水洗涤,除去浮尘,之后用去离子水洗涤3遍,以除去片麻岩中水溶性的钾离子,然后风干备用。细粒级($1 < D < 2$ mm)的速效K与缓效K含量分别为 $30.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $304.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,粗粒级($2 < D < 5$ mm)的速效K与缓效K含量分别为 $18.8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $262.8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2.3 营养液配方 营养液组分($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)包括: K_2SO_4 0.75; MgSO_4 0.65; KCl 0.1; KH_2PO_4 0.25; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ 2.0; EDTA-Fe 0.1; H_3BO_3 0.02; $\text{MnSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ 0.001, $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.001; $\text{CuSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ 5×10^{-4} ; $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot\text{H}_2\text{O}$ 1×10^{-5} ; 缺钾营养液不加 K_2SO_4 和 MgSO_4 ; 代之以 $1.4\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 和 $0.25\text{NaH}_2\text{PO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 其余均同; pH 调至 6.0。

1.2.4 植物培养 种子处理的方法同试验一。每盆分别种玉米 5 株, 油菜 10 株, 黑麦草 60 株, 装培养介质 1.0 kg。分设施钾和不施钾 2 个处理, 每个处理设 3 次重复。在施钾处理中按每千克培养介质加入 N 0.15 g、 P_2O_5 0.10 g, 以及 K_2O 0.15 g (K_2SO_4) 作底肥。在植物生长期间浇含 K 的正常营养液; 缺钾处理在底肥中不加 K_2SO_4 , 在植物生长期间浇不含 K 的营养液, 苗期只浇水, 中期浇水和营养液各一半, 后期浇全营养液, 每天称重定量, 培养温度 28°C , 光照时间每天 14 h, 培养时间 50 d。

此外, 在全营养液培养条件下, 种植了一年生黑麦草、油菜和苜蓿(安斯塔)作参照。

1.3 分析项目及测试方法

1.3.1 植株生物量的测定 植物生长 50 d 后将地上与地下部分别收获, 先在 $90\sim 100^\circ\text{C}$ 下杀青 20 min, 然后在 65°C 下烘干后称重。

1.3.2 植株含钾量的测定 样品烘干、磨细, 消煮后分别测其 N, P, K 含量。

1.3.3 片麻岩速效钾与缓效钾的测定 植物收获后, 分别用 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 中性 NH_4OAc 溶液和 $2\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{HNO}_3$ 浸提培养介质振荡 0.5 h 的方法测培养介质片麻岩中的速效钾、缓效钾含量。

2 结果

2.1 不同植物对片麻岩中矿物钾的利用

2.1.1 植物的生长状况与地上部含钾量(%) 图 1 给出了 5 种供试植物分别在片麻岩培养介质和全营养液中生长状况的比较。本试验结果表明, 在以片麻岩为钾源的情况下, 5 种供试植物均可生长良好, 与全营养液中的生长没有区别。在试验中, 5 种植物在外观上均未出现缺钾症状。植株体内的含钾量(图 2), 都处于正常水平。

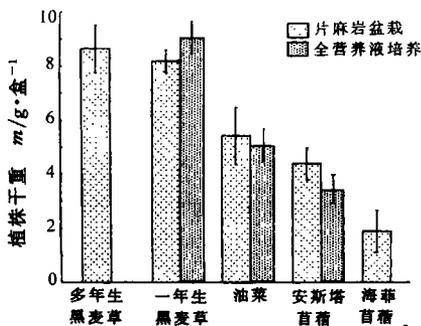


图 1 生长在片麻岩中的几种植物干重比较

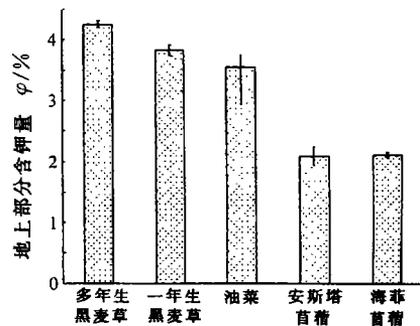


图 2 生长在片麻岩中的植物地上部分含钾量比较

2.1.2 植物的吸钾量与片麻岩矿物钾的净释放量 在片麻岩为唯一钾源时, 2 个品种的黑麦草吸钾量显著高于油菜和苜蓿; 油菜的吸钾量居中, 苜蓿较低(表 1)。

植物生长期间, 培养介质片麻岩中矿物结构钾的净释放量通过公式(1)算出。在 3 种植物

中,黑麦草和油菜能够促进片麻岩中矿物结构钾的净释放。而苜蓿的生物量小、需钾量少、介质中的速效钾即能满足植物生长的需要,所以片麻岩中矿物钾的净释放量为零(表1)。在3种供试植物中,黑麦草对矿物结构钾的利用能力最强,油菜次之。本试验结果表明,在利用能力较强的植物作用下,这部分钾是能够释放出来的。

表1 片麻岩上生长的植物吸钾量与片麻岩矿物钾的净释放量 $m/mg \cdot \text{盆}^{-1}$

| 项 目 | 一年生黑麦草 | 多年生黑麦草 | 油 菜 | 安斯塔苜蓿 | 海菲苜蓿 |
|-------|------------|--------------|------------|-----------|-----------|
| 吸钾量 | 272.7±43.1 | 237.86±12.01 | 154.5±58.6 | 87.6±23.8 | 39.1±10.1 |
| 钾净释放量 | 161.2±26.5 | 111.18±20.34 | 31.9±14.0 | — | — |

2.2 植物对不同粒级片麻岩中矿物钾的利用

通过试验一选择出对矿物结构钾利用能力较强的黑麦草和油菜,再加上对钾需要量较大的玉米,为了进一步研究这些植物对不同粒级片麻岩中矿物结构钾的利用能力,试验二设计了2种不同粒级,进行比较。

2.2.1 不同粒级下植物的生长状况 比较3种植物的生长状况发现,不同粒级下植物的生长量差异显著,而供钾与否对其生长的影响不大。

2.2.2 不同植物的含钾量 比较不同粒级片麻岩上生长的3种植物地上部分的含K量(%) (图3),可以发现在粗粒级上,供钾与否影响植株地上部分含K量;在细粒级上,供K与否对植株地上部分含K量(%)没有明显影响。表明片麻岩粒径小到一定程度时,即使不供外源 K^+ ,植物也能够通过利用片麻岩中的钾来满足自身的生长需求。这可能是由于细粒级片麻岩颗粒小和植物根系接触更加充分、更易释放出钾的缘故。

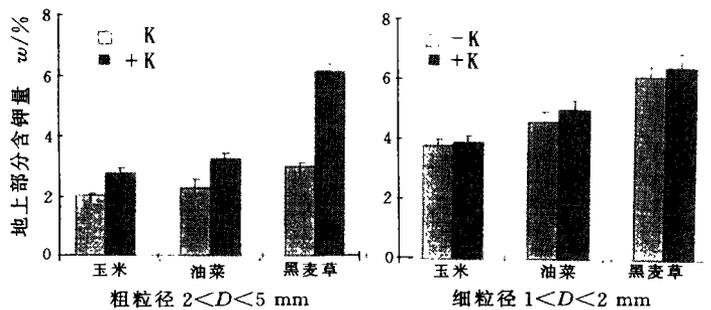


图3 不同粒级片麻岩中植物地上部含钾量比较

2.2.3 不同粒级对植物吸钾量的影响 图4给出了植物吸钾量的测定结果。表明片麻岩粒级大小对植物吸钾量有显著的影响,在细粒级中生长时3种植物的吸钾量显著高于在粗粒级生长时。在3种供试植物中,玉米的吸钾量最高,油菜的吸钾量较低,黑麦草的吸钾量居中。

2.2.4 不同植物种类之间活化吸收矿物钾的能力比较 图5显示了在植物活化作用下,片麻岩中矿物结构钾的释放总量。植物种类和片麻岩粒级大小对矿物结构钾的活化量均有显著影响,这表明植物对矿物结构钾的活化和利用能力与矿物的比表面积密切相关。而且,当粒级增加后不同植物种类对矿物结构钾的利用能力也发生变化。例如,当粒径在1~2 mm之间时,玉

米对矿物结构钾的活化利用能力最强;而当粒径在 2~5 mm 之间时,黑麦草对矿物结构钾的利用能力最强。这可能是由于不同植物种类之间在利用片麻岩矿物结构钾的活化机制方面有所不同。

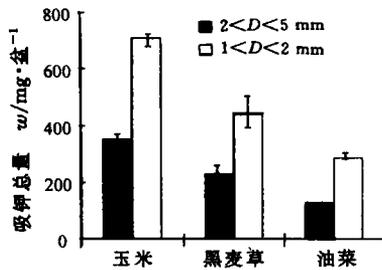


图 4 在不同粒径片麻岩中植物吸钾总量比较

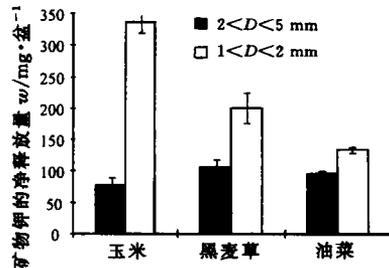


图 5 不同粒径片麻岩中矿物钾的净释放量

3 讨论

本研究的结果表明在以片麻岩为唯一钾源的情况下,供试的 4 种植物都能够正常生长,没有出现缺钾症状。其中,黑麦草、玉米和油菜能够直接活化和利用其中的矿物结构钾。即使是粒径在 2~5 mm 之间,仍然有相当数量的矿物结构钾得到释放。片麻岩中矿物结构钾的释放总量与片麻岩的粒径大小有关,随着粒径的变小,矿物结构钾的净释放量大幅度提高(图 5),这与反应的活性表面急剧增加有关。

不同种类的植物在利用片麻岩中矿物结构钾的能力方面存在显著的差异。玉米对细粒级片麻岩中矿物结构钾的利用能力较强,黑麦草对粗粒级片麻岩中矿物结构钾的利用能力较强。植物种类在利用矿物结构钾方面的差异,与植物本身对钾营养的需要量有关,也可能与植物根系对矿物结构钾的活化机制的差异,主要是根系释放有机酸类物质的种类和能力不同有关。例如,Song 和 Huang^[6]的研究表明,有机酸类物质能够直接活化和释放矿物结构钾,而且不同种类的有机酸在活化矿物结构钾方面存在很大差异。此项有待于进一步深入研究。

参 考 文 献

- 熊毅,李庆逵. 中国土壤. 第 2 版. 北京:科学出版社,1987
- 金继运. 我国北方缺钾和钾肥应用的发展趋势(北方土壤钾素和钾肥效益). 北京:中国农业科技出版社,1994
- 胡笃敬,董任瑞,葛旦之. 植物钾营养的理论与实践. 长沙:湖南科学技术出版社,1993
- 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
- Hinsinger Ph, Elsass F, Jaillard B, Robert M. Root-induced irreversible transformation of a trioctahedral mica in the rhizosphere of rape. *Journal of Soil Science*, 1993,44:535~545
- 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