

文章编号:1003-8701(2013)06-0052-03

土壤钾素形态及有效性的研究进展

张亦驰¹, 李林¹, 史喜林¹, 刘淑霞^{1*}, 高强¹, 娄玉杰²

(1. 吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118; 2. 吉林农业大学动物科技学院, 长春 130118)

摘要: 简要概述了土壤钾素的形态、不同形态钾的有效性、钾在土壤中的转化、不同耕作方式对土壤钾素的影响, 指出了不同钾素形态之间的转化速率是影响土壤供钾能力的主要因素, 今后应该加强不同耕作方式下土壤钾素转化动力学以及耕作方式对土壤钾素固定的影响及其机理研究。

关键词: 土壤钾; 形态分级; 有效性

中图分类号: S143.3

文献标识码: A

Progress on Researches of Soil Potassium Forms and Effectiveness

ZHANG Yi-chi¹, LI Lin¹, SHI Xi-lin¹, LIU Shu-xia^{1*}, GAO Qiang¹, LOU Yu-jie²

(1. College of Resource and Environmental Science, Jilin Agricultural University, Changchun 130118;
2. College of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: The soil potassium forms, effectiveness of different forms of potassium, transformation of potassium in the soil and the influence of different tillage methods on soil potassium were briefly summarized in the paper. It was pointed out that the conversion rate between different forms of potassium was the main factor affecting the availability of soil potassium. In the future, the transformation of soil potassium dynamics under different farming methods and the influence of farming practices on soil potassium fixation and mechanism research should be strengthened.

Keywords: Soil potassium; Morphological classification; Effectiveness

钾是植物生长发育必需的营养元素之一,其在土壤中的含量较高。但是,近年来,随着作物产量的不断提高,在我国出现了土壤钾素亏缺现象,尤其是在南方地区缺钾现象突出。在此情况下,国内专家学者对土壤钾素进行了广泛的研究,目的在于提高土壤钾素的利用率,满足作物生长发育的需要。目前我国对土壤钾素含量、钾的有效性、土壤钾素形态等方面的研究均取得了很大的进展^[1-2],国内也出现一些施用钾肥能够增产的报道^[1]。

国外对土壤钾的研究时间较国内长,并且对不同形态的钾素进行了大量研究^[3],其对土壤钾素有效性及钾肥在农业生产上的应用极为重视,成立了国际钾肥研究所。自1995年研究所成立以来,关于土壤钾素的形态和转化规律、钾的有效性及其评定方法、钾的植物营养机理、影响钾肥效果的因素、农业集约化条件下的钾素平衡研究、影响钾肥效果的因素、农业生产中钾营养的农艺措施、钾与农产品品质^[4],均有较大进展。本文主要对土壤钾素形态、钾在土壤中的转化及其有效性方面的研究进展进行综述,旨在为钾肥的合理分配和施用及土壤钾素化学研究提供参考。

1 土壤钾的形态

土壤中钾主要存在于含钾的云母和长石中^[5]。国内外学者对土壤钾的形态进行了划分。Sparks根据钾对植物的有效性,将土壤钾分为结构钾、固定态钾、交换性钾和水溶性钾^[4],谢建昌等^[6]从

收稿日期:2013-08-25

基金项目:吉林省教育厅“十二五”科学技术研究项目(216-172);吉林省科技发展计划项目(20110202);吉林省科技引导计划项目(201205057);现代农业产业技术体系建设专项资金(nycytx-38)

作者简介:张亦驰(1986-),男,硕士研究生,主要从事植物营养与环境生态研究。

通讯作者:刘淑霞,女,教授,

E-mail:liushuxia2005824@163.com

植物营养的角度将土壤钾分为速效钾(包括吸附于土壤颗粒表面的钾和溶液中的钾)、缓效钾及矿物钾。在我国通常将两种分类混合使用即:速效钾(水溶性钾、交换性钾)、缓效性钾(非交换性钾)和相对无效钾(矿物钾)^[7]。其中水溶性钾是植物吸收利用钾素的直接来源,水溶性即土壤溶液中离子态钾,通常情况下其在土壤溶液中含量为 $2\sim 5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,含量较低,不能长期供植物吸收利用,因此需要其他形态的钾向土壤溶液中补充离子态钾,这也是决定土壤供钾能力的重要因素。

交换性钾是指被土壤胶体负电荷吸附在表面的钾,可以被中性盐(H^+ 或 NH_4^+)从胶体表面交换下来,不能被钙、镁等水化半径大的离子所交换下来的钾^[1]。土壤中各形态钾之间的转化受到土壤质地、土壤条件、耕作方式等方面的影响。近年来,金继云等对土壤交换性钾有效性进行了进一步分级,分为特殊吸附态钾(可以被 H^+ 或 NH_4^+ 交换释放但不能被钙、镁等水化半径大的离子所交换的钾)和非特殊吸附钾(能被钙、镁等离子从土壤胶体上所交换的钾)。特殊吸附钾通常用 $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 中性醋酸铵浸提减去醋酸镁浸提钾^[3],非特殊吸附态钾通常用 $0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 醋酸镁浸提减去水溶性钾。交换性钾是速效钾的主要组成部分,占全钾的 $0.1\%\sim 2.0\%$,是当季作物主要吸收利用的钾素来源,交换性钾供钾强弱主要受到交换性钾吸附位置、矿物种类、钾的饱和度等因素的影响。土壤非交换性钾是指存在于次生矿物层间的钾即在层状硅酸盐矿物层间、颗粒边缘的钾和 $2:1$ 型的黏土矿物晶格固定钾,非交换性钾可以作为土壤速效钾的储备库,虽然不能在短时间内被利用,但可以缓慢的转化成速效钾,为植物提供钾素,所以又称缓效性钾。我国土壤非交换性钾含量一般为 $40\sim 1\,400\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,是土壤供钾潜力的指标^[8]。非交换性钾能够在强酸条件下被分解释放,实验中常用 $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{HNO}_3$ 消煮钾减去醋酸铵浸提钾,矿物钾是指存在于原生矿物或次生矿物结晶结构中的钾。占土壤全钾含量的 $90\%\sim 98\%$,矿物钾转化成交换性钾速度缓慢,需要受到风化作用才能慢慢转化,因此为植物提供钾素作用微小,但矿物钾能够作为反映土壤钾素总含量的标准^[8]。

2 土壤钾的固定与释放

土壤钾的固定一般是指土壤中有效钾转化为缓效钾,即是非交换性钾与交换性钾和水溶性钾之间相互转化并保持动态平衡的过程。这一过程

受到多方面因素影响,主要包括:黏土矿物类型,黏土矿物固钾能力为 $2:1$ 型 $>1:1$ 型 $>$ 水化氧化物 R_2O_3 型;土壤pH:土壤pH降低,可使土壤固钾能力迅速降低,因为在酸性条件下羟基铝离子及其聚合物占据了 K^+ 的位置,使钾离子不能进入层间穴位。相反,土壤pH升高时,土壤固钾能力增强。土壤水分状况:干湿交替可以提高土壤固钾能力,在干燥条件下,增大了土壤进入黏土矿物层间空穴机会,层间通过收缩和闭合使钾离子被吸附。还有有机质含量、CEC、钾离子饱和度和土壤培肥措施及耕作方式等^[9-10]。

不同土壤固钾能力不同,一般土壤固钾量为 $1.5\sim 5.0\text{ mmol}/100\text{ g}$ 土,我国土壤的固钾能力具有明显的地带性,从全国范围来看,由南向北和由西向东固钾容量逐渐增加,其中,以东北土壤的固钾能力最强,在土壤施钾为 $4\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,平均固钾量达 $1\,519\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[11]。虽然土壤固钾现象降低了施入钾肥的利用率,但由于钾素的固定,在一定程度上避免了钾肥的流失,并且有研究表明^[12],认为施入土壤的钾肥被固定后,能够很快被植物吸收利用,其有效性较土壤中原有吸附性钾高。

由于植物从土壤中大量吸收钾素,使土壤溶液中有效性钾浓度降低,从而促使非交换性钾不断释放,保持动态平衡。这种由层间固定的非交换性钾和矿物态钾转化为可被利用的交换性钾,这种现象称为钾的释放^[5]。土壤中钾的释放过程非常缓慢,但时刻都在进行着。缓效钾是土壤有效钾的储备库,钾素的固定与释放过程始终影响着土壤钾素对植物的有效性。非交换性钾和矿物钾的释放主要受到土壤溶液中交换性钾和水溶性钾浓度的影响及土壤条件,土壤风化和成土过程中产生的无机酸以及有机质分解过程中产生的有机酸,都可以将矿物质中的钾释放出来。土壤钾主要存在于含钾的云母和长石中^[11],主要的含钾原生矿物有白云母、黑云母、正长石、微斜长石,其他类的云母、长石和矿物中也含有一定量的钾。非交换性钾的释放是黏土矿物层间钾缓慢扩散进入液相的过程,释放速率决定着土壤供钾能力,非交换性钾释放动力学性质在土壤供钾能力评价中有着更为重要的作用^[13]。不同矿物中钾素的释放速率不同,因此相近的土壤含钾量并不能代表具有相同的供钾能力。

近年来,许多定位实验证实,在农业生产实际中,由于人为因素干扰的条件下,矿物态钾和缓效

钾都可以转化为速效钾,并发现土壤中速效钾含量较少越大,缓效钾释放的速度越快。并且有研究表明改变土壤水热条件等方法也同样影响速效钾的产生,但都是基于促进土壤含钾矿物的风化来加强缓效钾的释放。已有研究表明,黑麦草、水稻和大米草生物耗竭试验中,占吸钾量 23.4%~87.0%的钾素来自层间钾^[14],由此可见,非交换钾是土壤钾库中对作物钾营养起重要作用的组分。

3 土壤钾的损失

土壤钾素属于易流失元素,目前农业生产中钾肥利用率低的主要因素是钾的淋失严重。在热带地区,根据美国的一份研究报告显示,在对土壤施用钾肥并且在休闲地状态下,钾素每年的淋失量能够高达 120~170 kg·hm⁻²,钾的吸附和固定作用能够减少钾肥的流失^[12]。钾的淋失量还由土壤水分的入渗速度和降雨的强度而决定。土壤质地是影响钾淋失的一个重要因素,在相同的降水条件下,质地越轻的土壤中钾的淋失量越大,明显高于质地黏重的土壤,但随着降水强度的加大,土壤地质的影响变小。植被的覆盖可以显著的减小土壤中钾的淋失量,尤其是禾本科植物,效果要远远好于果树。在酸性土壤上施用石灰可以有利于土壤保持钾素。因为石灰可以使土壤的可变电荷增加,从而使钾的吸附量增加。石灰同样可以使土壤的 pH 值升高,导致铝离子的活度下降,由此钾可以更有效地与钙竞争吸附点。石灰还能降低水合氢离子的活跃度,从而使矿物钾的释放也大大减少。

4 不同耕作方式对土壤钾素的影响

4.1 免耕对土壤钾素的影响

免耕技术与传统耕作技术相比较,在土壤紧实度、水分形状、通气性等方面都有很大改变。我国学者有人认为,免耕与地残茬覆盖能够改善土壤的通气性,影响土壤养分的转化^[15],张树梅等^[16]认为免耕覆盖还可以提高地力,保持土壤肥力。Ardell, Alfred 和 W ienhold 的研究表明,免耕期的长短、作物的栽培方式能够影响土壤中养分的高低。轮作和免耕的交替施用,经过长期的配合之后,土壤的肥力可以得到显著的提高,特别是在土壤速效钾方面的影响最为显著。

4.2 轮作对土壤钾素影响

不同种植方式土壤钾库中各形态钾素积累和消耗不同^[13]。范闻捷等研究豫北湖区小麦-玉米

轮作周期中钾在土壤中的动态及其垂直变化,结果表明在轮作期内,不施用钾肥,钾素消耗量较大,速效钾满足不了植物的需求,从而促进了缓效钾的释放;缓效钾在土壤供钾水平降低时也是作物吸钾的重要来源。黄建余等研究了洞庭湖区稻-稻连作制中钾肥对早稻和晚稻产量及钾素平衡的影响,在施用钾肥不同的条件下,水稻能增产,但增产效果不显著,由差值法测得的 3 个施钾处理早稻钾素利用率平均为 27.13%,晚稻为 42.18%,施入氮肥的利用率随钾肥的施用而有所提高,这一趋势在晚稻上更为明显,在每季水稻施钾量 112.5 kg·hm⁻²、150 kg·hm⁻²、187.5 kg·hm⁻²的条件下,钾素平衡均出现亏缺。

4.3 秸秆还田对土壤钾素的影响

国内的大量研究表明,秸秆还田可以显著地提升土壤中钾素的含量,以速效钾的含量最为明显。徐祖祥在同样 5 年连续秸秆还田实验的结果表明,在不施化肥的情况下,秸秆还田使土壤的速效钾含量提高了 0.6 mg·kg⁻¹,在施肥和秸秆还田同时进行的前提下,速效钾含量提高了 7.9 mg·kg⁻¹^[15]。秸秆还田处理土壤对钾素的固定量不同程度地高于施用钾肥处理。董玉良等的研究表明,连续施用氮磷肥和秸秆归田相结合,土壤各种钾累积量的 5 年平均值表明,施氮磷肥与秸秆还田相结合与单施氮磷肥相比秸秆还田对土壤溶液钾、非特殊吸附钾、特殊吸附钾和非交换钾的积累影响最大,其中溶液钾提高 0.14~0.42 倍,非特殊吸附钾提高 0.38~0.91 倍,特殊吸附钾提高 0.26~0.40 倍,非交换钾提高 0.07~0.15 倍。

5 小结与展望

土壤钾素形态因土壤类型、施肥量和耕作制度的不同而异。土壤钾的固定是影响土壤钾素利用的主要因素,有关长期定位施肥及不同耕作方式对土壤含钾矿物含量及转化影响的研究结果有着一定的不一致性,在今后的研究中还有待随着矿物分析技术准确性的进一步提高而继续深入研究。土壤钾素形态之间的转化速率是影响土壤供钾能力的重要因素之一,对植物生长有着重要的意义,在今后的研究中应该加强不同耕作方式下土壤钾素转化的动力学研究以及耕作方式对土壤钾素固定的影响及其机理研究。

参考文献:

验结果表面,在一段时间内, β -CD/NAA 吸水树脂比对照土壤中的 NAA 的释放量要小很多。 β -CD 引入吸水树脂,这从理论上为需要缓释的有机物寻找到最合适的吸水树脂的化学构成提供了一定的依据,可以通过引入不同官能团的吸水树脂共聚物来增强或控制对有机物的缓释作用^[12-16]。

本研究结果表明, β -CD/NAA 吸水树脂对 NAA 具有一定的持药性和缓释性能。另外,该树脂在微观结构上具有空洞有利于吸附和释放添加的药物,从红外上可以看出 NAA 在树脂中缔合或者反应,表明了其中的 β -CD 发挥了作用,在测试中可以看出对于这种树脂的保水缓释性还是有了很好的体现。

参考文献:

- [1] 邹新禧. 超强吸水剂(第二版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002 :131-154 .
- [2] 张楷亮,王立新,张文林,等. 高吸水性树脂的研究及其发展趋势[J]. 河北化工, 2000(2) :4-7 .
- [3] 赫廷龄,张向东,郑蔚虹. 保水剂结合矿质元素对水稻幼苗生长发育的影响[J]. 西北植物学报, 1997 ,17(1) :124-127 .
- [4] 王一鸣,贺菊美,黄美玉. 日本保水剂在中国的农业应用试验研究[J]. 中国农业气象, 1999 ,20(1) :22-28 .
- [5] 张林栋,李左邦,任志宽. 高吸水性树脂在农业中的应用试验[J]. 精细化工, 1995 ,12(2) :64-66 .
- [6] 贾朝霞,郑 焰. 吸水性树脂用于水土保持和节水农业的新

- 思路[J]. 农业环境与发展 ,1999 ,16(3) :38-41 .
- [7] Wu L, Liu M Z, Liang R. Preparation and properties of a double-coated slow-release NPK compound fertilizer with superabsorbent and water-retention Original Research Article[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(3): 547-554 .
- [8] Xie L H, Liu M Z, Ni B L, et al. Slow-release nitrogen and boron fertilizer from a functional superabsorbent formulation based on wheat straw and attapulgite Original Research Article [J]. Chemical Engineering Journal, 2011, 167(1): 342-348 .
- [9] 詹发禄,柳明珠,郭明雨,等. 具有缓释肥功能的高吸水性树脂研究[J]. 兰州大学学报, 2003(6) :62-66 .
- [10] 石 光,袁彦超,陈炳稔,等. 交联壳聚糖的结构及其对不同金属离子的吸附性能[J]. 应用化学, 2005 ,22(2) :195-199 .
- [11] 黄占华,张 斌,胡晓峰. β -环糊精-丙烯酸-丙烯酰胺接枝共聚型树脂在金属离子中的吸液行为研究 [J]. 功能材料, 2011 ,42(12):2189-2195 .
- [12] 郭建维,崔英德,易国斌. 高吸水性树脂的现状与发展方向 [J]. 广州化工, 2000 ,28(4) :136-138 .
- [13] 孙福强,崔英德,尹国强,等. 超强吸水树脂的应用研究进展 [J]. 广州化工, 2002 ,30(4) :119-122 .
- [14] 王解新,陈建定. 高吸水性树脂研究进展[J]. 功能高分子学报, 1999 ,12(2) :211-217 .
- [15] 邱海霞,于九皋,林 通. 高吸水性树脂[J]. 化学通报, 2003 (9) :598-605 .
- [16] 于经元,白书培,康仕芳. 缓释肥料概况(上)[J]. 化肥工业, 1999 ,26(5) :15-19 .

(上接第 54 页)

- [1] 金继运. 土壤钾素研究进展 [J]. 土壤学报, 1993 ,30(1) :94-101 .
- [2] 杨振明,阎 飞,韩丽梅. 土壤钾素研究的新进展[J]. 吉林农业大学学报, 1998 ,20(3) :99-106 .
- [3] Kirk man J H, Bas ker A, Surapaneni A, et al . Potassium in the soils of New Zeal an dare view [J] . New Zealand J Agri Res, 1994(37): 207-227 .
- [4] 徐晓燕,马毅杰,张瑞平. 土壤中钾的转化及其与外源钾相互关系的研究进展[J]. 土壤通报, 2003 ,34(5) :489-492.
- [5] 梁成华,魏丽萍,罗 磊. 土壤固钾与释钾机制研究进展[J]. 地球科学进展, 2002 ,17(5) :679-684 .
- [6] 谢建昌. 土壤钾素研究的现状与展望 [J]. 土壤学进展, 1981 ,9(1) :1-16 .
- [7] 潘大伟,梁成华,杜立宇. 土壤含钾矿物的释钾研究进展[J]. 土壤通报, 2005 ,36(2) :253-258 .
- [8] 谢建昌,杜承林. 土壤钾素的有效性及其评定方法研究[J]. 土壤学报, 1988 ,25(2) :132-134 .
- [9] Shaimukhametov M S H, Mamadaliev G N. The effect of long-term fertilization on the potassium status and mineralo-

- gy of clay particles in typical Serozem [J]. Eurasian Soil Sci, 2003, 36(9): 994-1002 .
- [10] 范钦桢. 铵对土壤钾素释放、固定的影响 [J]. 土壤学报, 1993 ,30(3) :246-251 .
- [11] 黄绍文,金继运. 我国北方一些土壤对外源钾的固定[J]. 植物营养与肥料学报, 1996 ,2(2) :131-138 .
- [12] Srivastava S, Rupa T R, Swarup A, et al. Effect of long-term fertilization and manuring on potassium release properties in a Typic Ustochrept [J]. J. Plant Nutr Soil Sci, 2002 (165): 352-306 .
- [13] 薛泉宏,马博虎,尉庆丰. 陕西几种土壤非交换钾释放动力学研究[J]. 西北农业大学学报, 1999 ,27(3) :66-71 .
- [14] 鲍士旦,马建锋. 土壤钾素供应状况的研究 . 几种不同土壤中钾的固定与释放 [J]. 南京农业大学学报, 1988 ,11(3) :74-78 .
- [15] 徐祖祥. 连续秸秆还田对作物产量和土壤养分的影响 [J]. 浙江农业科学, 2003(1) :35-36 .
- [16] 张树梅,籍增顺. 旱地玉米免耕覆盖系统对土壤氮、磷、钾的影响[J]. 科技情报开发与经济, 2000 ,10 (4) :48-49 .