

## 不同含钾物料对土壤钾素含量动态变化影响<sup>①</sup>

胡 敏<sup>1,2</sup>, 任 涛<sup>1,2</sup>, 廖世鹏<sup>1,2</sup>, 李继福<sup>1,2</sup>, 李小坤<sup>1,2</sup>, 丛日环<sup>1,2</sup>, 鲁剑巍<sup>1,2\*</sup>

(1 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070; 2 农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070)

**摘 要:** 采用土培试验方法, 以稻草、稻草灰、硅钙钾肥、枸溶性钾肥和氯化钾肥 5 种含钾物料为试验材料, 分别用蒸馏水、1 mol/L 中性醋酸铵、2 mol/L 冷硝酸、1 mol/L 沸硝酸浸提测定土壤各种形态钾素, 评估不同含钾物料施用对土壤钾素含量的影响。结果表明, 施用含钾物料可以显著提高土壤各形态钾素含量, 在等量钾素投入条件下, 含钾物料的供钾能力表现出一定的差异。各含钾物料土壤水溶性钾、醋酸铵钾释放速率高低表现为氯化钾肥、稻草灰>稻草、硅钙钾肥和枸溶性钾肥; 与土壤水溶性钾和醋酸铵钾变化不同, 土壤冷硝酸钾含量在培养前期以稻草灰、氯化钾肥和硅钙钾肥的处理显著高于枸溶性钾肥和稻草处理, 但随着枸溶性钾肥和稻草钾素的释放, 培养后期各处理之间差异不显著; 相比于土壤水溶性钾、醋酸铵钾和冷硝酸钾含量而言, 土壤沸硝酸钾含量最高, 其中培养前期以稻草灰处理的土壤沸硝酸钾含量较高, 稻草处理的土壤沸硝酸钾含量较低, 两者含量差值可达 83.75 mg/kg, 经过 156 天培养后, 其含量差值仅为 6.91 mg/kg, 处理间差异不显著。综合结果说明, 稻草灰和氯化钾肥具有同等释放水溶性钾和醋酸铵钾的效果, 其次是稻草处理, 均可作为速效钾肥施用, 而枸溶性钾肥和硅钙钾肥具有缓效释放特性, 可与速效钾肥配合施用确保作物整个生育期对钾素的需求。

**关键词:** 钾物料; 钾素形态; 浸提剂; 动态变化

**中图分类号:** S151.9

钾素是植物生长发育必需的大量元素之一<sup>[1-2]</sup>。随着我国农业复种指数的提高和高产优质品种的推广, 作物从土壤中吸收的钾素不断增加, 加上我国农田系统钾肥投入的不足, 土壤缺钾面积在逐渐扩大<sup>[3]</sup>, 农田钾素亏缺已成为农业生产持续发展的限制因素之一<sup>[4-5]</sup>, 而施用钾肥是缓解土壤钾素亏缺和提高作物产量及维持农产品品质的重要途径<sup>[6]</sup>。但我国可溶性钾矿资源相对匮乏, 50% ~ 70% 用量依赖于进口<sup>[7]</sup>。基于当前的现实情况, 我国农业生产钾肥施用的原则是: 一方面要合理施用钾肥、提高肥料利用率; 另一方面要拓宽钾肥资源途径, 以满足农业生产需求。

我国拥有较丰富的非水溶性钾肥资源。其中农作物秸秆资源数量巨大, 每年秸秆资源量约为  $8.1 \times 10^8$  t, 折合纯钾( $K_2O$ )约为  $1.2 \times 10^7$  t<sup>[8]</sup>, 充分利用这部分钾素对补充我国钾肥资源具有重要意义<sup>[9]</sup>。此外, 钾矿岩石资源十分丰富, 如钾长石、伊利石、

霞石和黑云母等<sup>[10]</sup>, 如果能进行相应的加工处理, 使其能被作物吸收利用, 也能替代当前钾肥的不足。目前市场上已有部分非水溶性钾肥, 但其供钾能力及对作物的效果还有待深入研究。为此, 本文采用室内模拟培养试验, 以国内常见的含钾物料为材料, 使用不同的浸提剂评价在等钾素用量条件下, 不同含钾物料施用对土壤各种形态钾素含量的影响, 以期拓宽农用钾素来源和科学替代钾肥, 缓解化学钾肥短缺局面提供一定的依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试土壤取自湖北省蕲春县, 系花岗片麻岩发育的水稻土, 土壤供钾能力较低, 基本理化性质见表 1。

### 1.2 试验设计

试验共设 6 个处理, 分别为: 对照处理, 不施用任何含钾物料; 稻草处理( $K_2O$  含量 3.15%), 将

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题项目(2014BAD11B03), 公益性行业(农业)科研专项(201203013)和中央高校基本科研业务费专项(2011PY156)资助。

\* 通讯作者(lunm@mail.hzau.edu.cn)

作者简介: 胡敏(1990—), 女, 湖北十堰人, 硕士研究生, 主要从事作物养分管理与土壤肥力方面研究。E-mail: huxiaomin@webmail.hzau.edu.cn

表 1 土壤基础理化性状  
Table 1 Basic properties of tested soils in experiments

pH	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	全钾 (g/kg)	水溶性钾 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	缓效钾 (mg/kg)
4.9	31.4	1.3	4.8	24.6	17.1	52.1	267.9

水稻秸秆剪成 3 cm 左右小段, 风干; 稻草灰处理 ( $K_2O$  含量 10.6%), 将收集的水稻秸秆焚烧成灰; 硅钙钾肥处理 ( $K_2O$  含量 4.0%), 钾长石通过高温煅烧生产; 枸溶性钾肥处理 ( $K_2O$  含量 27.0%), 多种含钾矿物通过加工而成, 是一种微溶于水但可全部溶于 2% 柠檬酸的新型钾硅肥; 氯化钾肥处理 ( $K_2O$  含量 60.0%), 分析纯。除对照处理外, 各处理钾养分投入量相等, 均为  $K_2O$  0.1 g/kg 土, 每个处理 4 次重复。

试验采用 19 cm × 50 cm (直径 × 高) 的塑料桶进行, 每桶装土 10 kg, 将土壤与含钾物料拌匀后装桶。整个培养试验期间用称重法保持土壤含水量为 20%。试验于 2013 年 12 月 10 日开始, 2014 年 5 月 15 日结束, 培养周期为 156 天。分别于培养试验的第 1、3、6、14、28、49、77、98、126 和 156 天取样, 共计 10 次。

### 1.3 测定项目与方法

用土钻采集 0 ~ 25 cm 的土壤样品, 每桶选取 3 处具有代表性的点, 每次取样质量大约 60 g, 混合均匀后风干、研磨、过筛, 分别用蒸馏水、1 mol/L 中性醋酸铵、2 mol/L 冷硝酸、1 mol/L 沸硝酸 4 种浸提剂提取土壤中的钾, 火焰光度计测定。具体测定方法见常规测定方法<sup>[11]</sup>。

将用蒸馏水、1 mol/L 中性醋酸铵、2 mol/L 冷硝酸、1 mol/L 沸硝酸 4 种浸提剂测定的土壤钾素分别定义为土壤水溶性钾、醋酸铵钾、冷硝酸钾和沸硝酸钾。通常中性醋酸铵提取的土壤钾素被称为土壤速效钾, 冷硝酸提取的土壤钾素被称为土壤有效钾, 土壤醋酸铵钾含量减去土壤水溶性钾含量为土壤交换性钾, 沸硝酸法浸提的钾量减去土壤速效钾含量为土壤缓效钾<sup>[12]</sup>。

### 1.4 数据处理与分析

试验数据采用 Excel 2003 统计分析, 并用 Origin 8.5 软件进行绘图。

数据采用 MS Excel 2003 软件进行处理分析, 并用 Origin 8.5 软件绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 水溶性钾

各含钾物料的施用均可显著提高土壤水溶性钾

含量, 但不同含钾物料处理的土壤水溶性钾含量差异显著 (图 1)。在培养前期, 氯化钾肥处理的土壤水溶性钾含量迅速增加, 于 28 天时达到最大值, 之后趋于稳定平衡状态。稻草灰与氯化钾肥处理的土壤水溶性钾变化规律相似, 但钾素释放量略低于氯化钾肥处理。与氯化钾肥和稻草灰处理的土壤水溶性钾变化规律不同, 稻草、硅钙钾肥和枸溶性钾肥处理的土壤水溶性钾含量前期增速较慢, 但稻草处理在培养 77 天后土壤水溶性钾含量迅速提高, 并于培养结束时达到最大值; 硅钙钾肥和枸溶性钾肥处理的土壤水溶性钾释放量低于稻草处理, 但到培养试验结束时均显著高于对照处理或同一处理的培养初期阶段。根据土壤水溶性钾含量的变化特点, 可将 5 种含钾物料分为两类: 快速释放型钾肥, 包括氯化钾肥、稻草灰和稻草。在整个培养期, 土壤水溶性钾含量均处于较高水平; 缓慢释放型钾肥, 包括硅钙钾肥和枸溶性钾肥。培养过程中, 缓慢释放型钾肥的土壤水溶性钾含量均显著低于快速释放型钾肥。

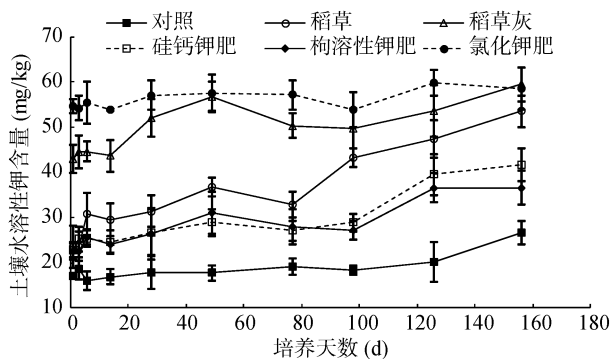


图 1 不同含钾物料对土壤水溶性钾含量变化的影响  
Fig. 1 Effects of K-bearing materials on changes of soil water-soluble potassium contents

### 2.2 醋酸铵钾

与对照相比, 各含钾物料的施用均能显著提高土壤醋酸铵钾含量 (图 2)。培养前期, 氯化钾肥和稻草灰处理的土壤醋酸铵钾含量增加较快, 分别在 14 天和 49 天达到最大值且显著高于其他处理, 并在培养 77 天后开始出现明显的固定转化, 土壤醋酸铵钾含量呈现下降趋势。稻草处理土壤醋酸铵钾含量增速相对较慢, 至 98 天时达到最大值, 但经过 156 天的培养后, 稻草处理的土壤醋酸铵钾含量与氯化钾肥和稻草灰处理的土壤醋酸铵钾含量没有显著差异。硅钙钾

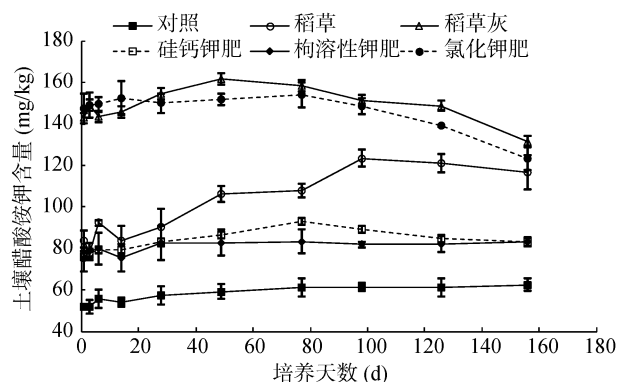


图 2 不同含钾物料对土壤醋酸铵钾含量变化影响

Fig. 2 Effects of K-bearing materials on changes of soil  $\text{NH}_4\text{OAc-K}$  contents

肥和枸橼溶性钾肥处理的土壤醋酸铵钾含量培养前期增速缓慢,在 77 天时达到最大值,随后略有下降,到 100 天后土壤醋酸铵钾含量趋于稳定。

土壤交换性钾结果表明(图 3),含钾物料的施用均不同程度地提高土壤交换性钾含量。培养前期,稻草灰和氯化钾肥处理的土壤交换性钾含量增加较快,且稻草灰处理的土壤交换性钾含量最高,其在整个培养过程中均显著高于其他处理。培养 100 天后,稻草灰、氯化钾肥和稻草处理的土壤交换性钾含量显著降低,表明土壤中的交换性钾向非交换性钾转化;而硅钙钾肥和枸橼溶性钾肥处理的土壤交换性钾含量则是先降低,之后趋于稳定。在培养试验结束时,稻草灰、氯化钾肥和稻草处理的土壤交换性钾含量明显高于其他两种含钾物料处理及对照。

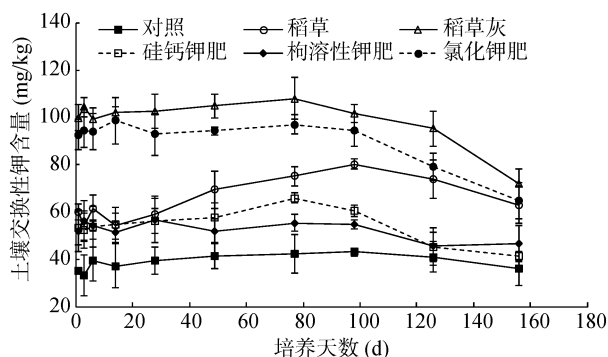


图 3 不同含钾物料对土壤交换性钾含量影响

Fig. 3 Effects of K-bearing materials on changes of soil exchangeable-K contents

### 2.3 冷硝酸钾

相比于对照处理而言,各含钾物料的施用均可显著提高土壤冷硝酸钾含量(图 4),且在相同的培养时间内土壤冷硝酸钾含量显著高于土壤醋酸铵钾含量。培养前期,不同含钾物料处理的土壤冷硝酸钾含量差异较为明显,与土壤水溶性钾和醋酸铵钾含量变化不

同的是硅钙钾肥处理的土壤冷硝酸钾增速显著提高,仅次于稻草灰和氯化钾肥处理,表明冷硝酸能够从硅钙钾肥中浸提更多钾素,而枸橼溶性钾肥则相对较少。培养后期,各处理土壤冷硝酸钾含量较为稳定,除枸橼溶性钾肥外其他几种含钾物料处理略有下降趋势。结果还表明,培养 156 天时,各含钾物料处理间的土壤冷硝酸钾含量差异不明显。

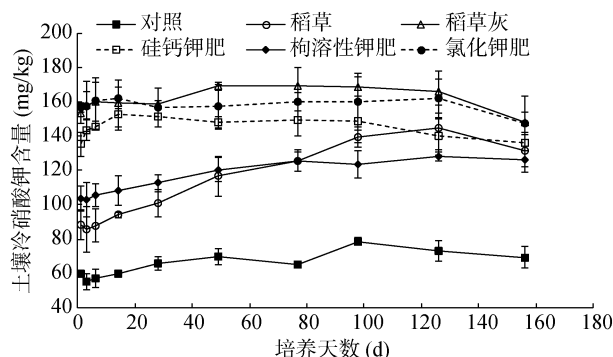


图 4 不同含钾物料对土壤冷硝酸钾含量影响

Fig. 4 Effects of K-bearing materials on changes of soil cold  $\text{HNO}_3\text{-K}$  contents

### 2.4 沸硝酸钾

沸硝酸提取土壤钾素含量明显高于上述 3 种浸提剂(图 5),试验结果显示,含钾物料的施用均可显著增加土壤沸硝酸钾含量。各含钾物料处理的土壤沸硝酸钾含量在 5 ~ 10 天出现最大值,之后呈现下降的趋势,这可能是受到培养后期土壤固定外源钾素的影响。5 种含钾物料的土壤沸硝酸钾含量变化以稻草处理的土壤沸硝酸钾含量下降趋势较为平缓,这与培养过程中稻草自身能够不断释放钾素从而弥补因固定造成的亏缺有关。此外,培养初期,各含钾物料中以稻草和稻草灰处理的土壤沸硝酸钾含量差异最大,二者相差 83.75 mg/kg,然而经过 156 天的培养后,

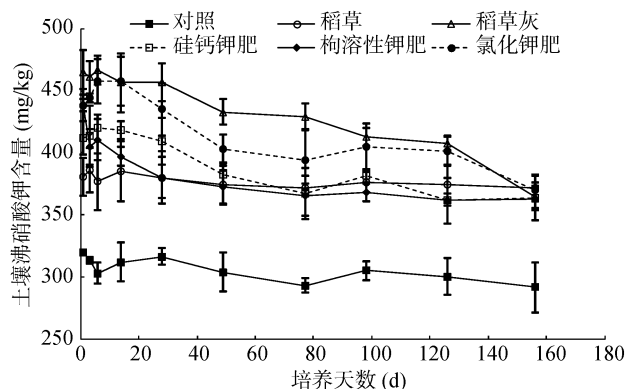


图 5 不同含钾物料对土壤沸硝酸钾含量变化

Fig. 5 Effects of K-bearing materials on changes of soil boiling  $\text{HNO}_3\text{-K}$  contents

稻草和稻草灰处理的土壤沸硝酸钾含量差值仅为 6.91 mg/kg, 各含钾物料处理间差异不显著。

### 3 讨论

研究表明,不同浸提剂所提取的土壤钾素含量有所差别,4 种方法测得的土壤钾素含量大小顺序为土壤沸硝酸钾含量>土壤冷硝酸钾含量>土壤醋酸铵钾含量>土壤水溶性钾含量,说明不同浸提剂的提取能力差异显著。蒸馏水法提取的是土壤溶液中钾素,其浸提的钾素含量低,只占作物所需的一小部分;醋酸铵法主要提取的是土壤溶液中钾素和交换性钾;冷硝酸法通过高浓度  $\text{H}_3\text{O}^+$  交换层间  $\text{K}^+$ ,除了能提取土壤溶液中钾素和交换性钾外还能提取对作物有效的部分非交换性钾;沸硝酸法因其提取能力最强,除了能提取冷硝酸所浸提的钾素外还可提取部分作物无法吸收利用的非交换性钾,能指示土壤潜在的供钾能力。

不同浸提剂提取出的钾素代表的是不同形态的钾,一般认为作物吸收的是土壤溶液的钾离子,其他形态的钾可以向水溶性钾转化,但转化的速率和量相差很大。本研究表明,含钾物料的施用可以显著提高土壤各形态钾素含量,但同一含钾物料不同形态的钾素含量变化也存在一定的差异。稻草灰中的钾主要以碳酸钾形态存在,易溶于水,在有水的条件下,其钾素能够很快释放进入土体,因此培养前期稻草灰处理的土壤各形态钾素含量迅速升高。但是,由于土壤中各形态钾素之间存在相互转化的过程,从而使得培养后期稻草灰处理的土壤各形态钾素含量变化趋势有所不同。具体表现为:土壤水溶性钾含量后期略有升高,这可能是由交换性钾转化所致;土壤醋酸铵钾含量在培养 100 天有下降的趋势,这可能是由于其转化为非交换性钾;相比于土壤水溶性钾和醋酸铵钾,土壤冷硝酸钾变化较为平稳,在培养的第 47 ~ 126 天土壤冷硝酸钾含量基本保持不变,后期虽有下降的趋势,但下降幅度也很小。说明冷硝酸浸提的土壤钾素能够很好地反映土壤的供钾能力,这与张素坤等<sup>[13]</sup>的研究一致;土壤沸硝酸钾含量在培养的第 6 天后基本释放完全,后期不断下降,可能是浸提出来的钾素被固定或者转化为其他形态钾素。氯化钾肥作为速效性钾肥,其各形态钾素变化趋势与稻草灰处理相似;而稻草通常被认为是一种速效性钾肥资源<sup>[9]</sup>,但在整个培养过程中各形态钾素释放却较稻草灰、氯化钾肥缓慢,这可能与培养试验设置的土壤含水量有关。已有研究表明稻草钾素的释放受水分影响较大,

淹水时稻草中的钾素 5 天内就可以释放 95% 以上<sup>[14]</sup>。因此,在相对不饱和的土壤水分条件下,稻草中钾素释放速率会受到抑制。另外,试验过程中稻草与土壤混合,分布不均匀,一定程度上也会影响钾离子的释放<sup>[9]</sup>,这也相对延长了稻草中钾素释放周期,且最终稻草、氯化钾肥和稻草灰中钾素含量没有显著差异。硅钙钾肥和枸溶性钾肥作为缓释性长效钾肥<sup>[12,15]</sup>,培养前期钾素释放较为缓慢,整个培养周期中各钾素变化趋势与其他含钾物料处理相差不大。

本试验所用的 5 种含钾物料中,前期以稻草灰、氯化钾肥处理的土壤各钾素释放较快且含量高,其次是稻草处理,后期以硅钙钾肥和枸溶性钾肥处理的土壤各钾素含量较稳定。考虑到目前我国钾肥资源现状:水溶性钾资源短缺<sup>[16]</sup>、国际钾肥价格高涨<sup>[17]</sup>以及大量秸秆原田焚烧<sup>[18]</sup>,利用稻草灰代替化学钾肥,虽然能够在很大程度上缓解土壤钾素亏缺状况,但秸秆在焚烧过程中不仅损失了大量的碳、氮、硫等养分资源且对人体健康及生态环境造成了极大的威胁<sup>[19-20]</sup>,是不可取的。而对于长效型硅钙钾肥不仅含有植物所需的钾,还有其他多种有效养分,但因其  $\text{K}_2\text{O}$  含量仅有 4%,作为钾肥是不具备商品性的,只能作为某些区域的土壤调理剂,附带补充钾素养分;枸溶性钾肥  $\text{K}_2\text{O}$  含量可达 27%,是硅钙钾肥  $\text{K}_2\text{O}$  含量的 7 倍,也含有 Si、Ca、Mg 等多种元素<sup>[21]</sup>,所以在实际的施用过程中可以用稻草代替部分氯化钾肥再配施枸溶性钾肥,起到缓控释肥的效果,保证作物整个生育期对钾素的需求。

### 4 结论

含钾物料的施用可以显著增加土壤水溶性钾、醋酸铵钾、冷硝酸钾、沸硝酸钾含量。在等量钾素养分投入下,不同含钾物料对土壤各形态钾素含量动态变化响应不同。稻草灰和氯化钾肥处理土壤钾素含量高、释放快,其次是稻草处理;而硅钙钾肥和枸溶性钾肥处理土壤钾素释放速率低、周期长。因此,基于我国钾肥资源现状,实际农业生产中可以通过秸秆还田来替代部分化学钾肥,在酸性土壤区域还可以配施枸溶性钾肥,以达到充分利用钾素资源、保障作物丰产对钾素的需求。

#### 参考文献:

- [1] 董艳红,王火焰,周健民,等.不同土壤钾素淋溶特性的初步研究[J].土壤,2014,46(2):225-231
- [2] 李婷,王火焰,陈小琴,等.土壤非交换性钾释放动力学特征及其生物有效性[J].土壤学报,2015,52(5):1078-1087

- [3] 刘秀秀, 鲁剑巍, 王寅, 等. 缺钾对油菜主序产量性状的影响及施钾效果[J]. 土壤, 2014, 46(5): 875–880
- [4] 谢建昌, 周建民. 我国土壤钾素研究和钾肥使用的进展[J]. 土壤, 1999, 31(5): 244–254
- [5] Zhen L, Zoebisch M A, Chen G B, et al. Sustainability of farmers' soil fertility management practices: A case study in the North China Plain[J]. Journal of Environmental Management, 2006, 79(6): 409–419
- [6] 王亚艺, 鲁剑巍, 肖荣英, 等. 湖北省两个生态区水稻施钾效果及农田钾素平衡研究[J]. 土壤, 2010, 42(3): 473–478
- [7] 张智峰, 张卫峰. 我国化肥施用现状及趋势[J]. 磷肥与复肥, 2008, 23(6): 9–12
- [8] 李树田, 金继运. 中国不同区域农田养分输入、输出与平衡[J]. 中国农业科学, 2011, 44(20): 4 207–4 229
- [9] 李继福, 任涛, 鲁剑巍, 等. 水稻秸秆钾与化肥钾释放与分布特征模拟研究[J]. 土壤, 2013, 45(6): 1 017–1 022
- [10] 曲均峰, 赵福军, 傅送保. 非水溶性钾研究现状与应用前景[J]. 现代化工, 2010, 30(6): 16–19
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [12] 张洋洋, 鲁剑巍, 王笋, 等. 不同提取方法测定的土壤钾的有效性比较研究[J]. 土壤学报, 2014, 51(3): 600–608
- [13] 张素坤, 霍习良, 许峰, 等. 土壤有效钾几种测定方法的比较研究[J]. 河北农业大学学报, 2001, 24(1): 16–20
- [14] Li J, Lu J, Li X, et al. Dynamics of potassium release and adsorption on rice straw residue[J]. Plos One, 2014, 9(2): e90440
- [15] 高荣庆, 刘毅, 陈海宁, 等. 硅钙钾肥对油菜生长和品质的影响[J]. 安徽农学通报, 2013, 19(18): 72–73
- [16] Pathak H, Mohanty S, Jain N, et al. Nitrogen, phosphorus, and potassium budgets in Indian agriculture[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2009, 86: 287–299
- [17] Evenett S J, Frédéric J. Trade, competition, and the pricing of commodities[M]. London: Centre for Economic Policy Research, 2012
- [18] 赵建宁, 张贵龙, 杨殿林. 中国粮食作物秸秆焚烧释放碳量的估算[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(4): 812–816
- [19] Koppmann R, Czapiewski K V, Reid J S. A review of biomass burning emissions, Part I: gaseous emissions of carbon monoxide, methane, volatile organic compounds, and nitrogen containing compounds[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2005, 5: 10 455–10 516
- [20] Li L J, Wang Y, Zhang Q, et al. Wheat straw burning and its associated impacts on Beijing air quality[J]. Science China Earth Sciences, 2008, 51(3): 403–414
- [21] 孙浩燕, 张洋洋, 任涛, 等. 枸溶性钾肥对作物生物量及作物-土壤系统钾素平衡的影响[J]. 土壤, 2014, 46(4): 669–673

## Effects of K-bearing Materials on Dynamic Changes of Soil K Contents

HU Min<sup>1,2</sup>, REN Tao<sup>1,2</sup>, LIAO Shipeng<sup>1,2</sup>, LI Jifu<sup>1,2</sup>, LI Xiaokun<sup>1,2</sup>, CONG Rihuan<sup>1,2</sup>, LU Jianwei<sup>1,2\*</sup>

(1 College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2 Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of Yangtse River), Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** In order to investigate the effects of different K-bearing materials on soil potassium contents, a pot experiment was carried out with five types of K-bearing materials, including straw, straw ash, Si-Ca-K fertilizer, citrate acid-soluble potassium fertilizer and KCl. Four chemical extractants (distilled water, 1 mol/L neutral  $\text{NH}_4\text{OAc}$ , 2 mol/L cold  $\text{HNO}_3$  and 1 mol/L boiling  $\text{HNO}_3$ ) were used to extract different forms of soil potassium. The results showed that the application of K-bearing material fertilizers could significantly increase soil potassium contents, and the contents of soil potassium forms had variant responses to K-bearing materials under the same potassium input level. The potassium release rates of water-soluble potassium and  $\text{NH}_4\text{OAc}$ -K were faster for KCl and straw ash than those of straw, Si-Ca-K fertilizer and citrate acid-soluble potassium fertilizers. The cold  $\text{HNO}_3$ -K contents of straw ash, KCl and Si-Ca-K fertilizer treatments were significantly higher than those of citrate acid-soluble potassium fertilizer and straw treatment in the early stage. Nevertheless, there were no significant differences among K-bearing material treatments in the later stage which were associated with potassium releasing. Besides, compared with the content of water-soluble potassium,  $\text{NH}_4\text{OAc}$ -K and cold  $\text{HNO}_3$ -K, soil boiling  $\text{HNO}_3$  content was the highest. The treatment of KCl had the highest potassium content and that straw treatment had the lowest K content with soil boiling  $\text{HNO}_3$ . The former was 83.75 mg/kg higher than the latter, but the difference value reduced to 6.91 mg/kg after 156 days (no significant difference existed). In short, straw ash and KCl which had the same release rate of water-soluble potassium and  $\text{NH}_4\text{OAc}$ -K potassium and straw treatment could all serve as fast available potassium resources, while citrate acid-soluble potassium fertilizer and Si-Ca-K fertilizer had slow-release property and could be accompanied with fast available potassium fertilizers to ensure the demand of potassium for crop growth.

**Key words:** K-bearing materials; Potassium forms; Extractant; Dynamic changes