

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^①

孙浩燕, 张洋洋, 任涛*, 薛欣欣, 丛日环

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

摘要: 通过盆栽试验研究了不同形态钾肥的施用对连续 3 季作物(油菜、油菜、水稻)生物量、钾素(K_2O)吸收量、作物-土壤系统钾素平衡以及土壤速效钾和缓效钾含量的影响。研究表明, 不同形态钾肥施用后, 枸溶性钾肥($K_{\text{枸}}$)与水溶性钾肥($K_{\text{水}}$)效果一致, 与不施钾相比, 3 季作物生物量都显著增加, 钾素总吸收量增加 155%, 钾素平衡系数为 0.79, 钾素的供应缓解了土壤钾素亏缺, 利于维持土壤钾素平衡; 而粉碎性钾矿粉($K_{\text{矿}}$)钾素不能被作物充分吸收利用, 增产效果不显著。第一季油菜收获后 $K_{\text{枸}}$ 、 $K_{\text{水}}$ 处理土壤速效钾、缓效钾含量显著高于 K_0 、 $K_{\text{矿}}$, 但随着作物的收获各处理间差异逐渐变小, 最终趋于一致。枸溶性钾肥和水溶性钾肥均能补充土壤的有效钾素, 缓解土壤钾素的消耗, 维持土壤钾素肥力水平的稳定, 有利于作物增产。

关键词: 枸溶性钾肥; 生物量; 钾素平衡; 土壤

中图分类号: S143.3

钾是作物生长必需的三大营养元素之一, 对提高作物产量、改善作物品质、提高作物的抗逆性等方面有着重要意义^[1-3]。自 20 世纪 80 年代以来, 由于氮、磷肥的大量施用, 我国大部分农田出现氮、磷盈余, 钾素亏缺的问题, 缺钾现象日益加剧, 缺钾成为我国农业生产的制约因素^[4]。

目前农业生产中普遍施用水溶性钾如氯化钾、硫酸钾等, 水溶性钾的施用对农作物增产效果显著, 增产率达 10%~18%^[5-6]。但是我国水溶性钾素资源储量少, 钾肥自给率从 2007 年的不到 30%^[7], 到 2012 年钾肥自给率达到 50%, 虽然自给率有所上升, 但是我国仍然是世界钾肥进口大国, 大量的钾肥需求仍要依靠进口解决^[8-9]。2007 年年末以来, 由于受到国际钾肥资源垄断的影响, 钾肥价格急剧攀升^[10]。在钾肥价格居高不下、水溶性钾素资源短缺的形势下, 为了保证我国农业生产的正常进行, 开发非水溶性钾矿资源, 成为解决我国水溶性钾盐不足的一条有效途径。我国非水溶性钾矿资源丰富、分布广泛、种类繁多, 有钾长石、明矾石、伊利石、黑云母等^[11]。20 世纪 50 年代, 我国就开始探索对非水溶性钾矿石的开发利用^[12], 现已出现不少以钾矿粉为钾肥资源施用的案例, 王娜^[13]利用微晶化磷钾矿粉在多种农作物上应用研究发现, 微晶化磷钾矿粉能促进作物生长、改善作物品质、

提高经济效益。近年来我国多家单位利用钾长石等非水溶性钾矿资源生产出硅钾肥、硅钙钾肥以及含钾复合肥等^[12,14-15]。钾硅肥是以含有钾、硅及多种元素的天然矿石为原材料, 生产出的一种新型矿物肥料^[16]。前人研究得出结论, 施用硅钾肥显著提高了水稻的产量, 增强水稻抗病能力, 增加水稻结实率, 提高氮、磷肥利用率, 改善稻米品质^[17-18]。利用硅钾肥在冬小麦上的试验崔德杰等^[19]发现, 硅钾肥可以提高冬小麦的抗旱性, 增强根系活力。张艳红等^[20]通过花生施用硅钾肥研究得出结论, 硅钾肥对花生的营养生长和生殖生长都有促进作用, 增产率接近 10%。上述前人研究结果均分别显示了水溶性钾肥、钾矿粉以及钾硅肥的施用效果, 但是在高强度种植下钾矿粉和钾硅肥是否可以达到同水溶性钾肥相同的效果呢? 为解决这一问题本研究通过连续种植 3 季作物的盆栽试验来比较不同形态钾肥的施用效果, 对 3 季作物的生物量效应、作物钾素吸收利用情况、3 季作物收获后土壤钾素的变化规律以及作物-土壤系统的钾素平衡进行了研究, 以期钾肥的合理施用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本试验采用盆栽方式于华中农业大学资源与环境

基金项目: 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(2013PY113)资助。

* 通讯作者(rentao@mail.hzau.edu.cn)

作者简介: 孙浩燕(1989—), 女, 山东乳山人, 硕士研究生, 主要从事作物养分管理方面研究。E-mail: haoyan0711@webmail.hzau.edu.cn

学院盆栽场内进行。供试土壤取自湖北省武穴市,系花岗片麻岩母质发育的水稻土,基本理化性质为:pH 5.1,有机质 18.5 g/kg,全氮 1.3 g/kg,全钾 21.2 g/kg,速效磷 13.3 mg/kg,速效钾 77.7 mg/kg,缓效钾 184.0 mg/kg。

供试作物前两季为春油菜,品种为青杂 5 号;第三季供试作物为水稻,品种为扬两优 6 号。第一季油菜于 2012 年 2 月 13 日播种,出苗后(播种后 10 天)间苗,每盆定苗 5 株,4 月 28 日收获。第二季油菜于 2012 年 4 月 29 日播种,出苗后(播种后 15 天)间苗,每盆定苗 10 株,6 月 3 日收获。第三季水稻于 2012 年 6 月 15 日播种,出苗后(播种后 20 天)间苗,每盆定苗 3 株,10 月 12 日收获。试验期间控制其他栽培管理措施一致。

供试钾肥分别为粉碎性钾矿粉(含 K_2O 14%)、枸溶性钾硅肥(含 K_2O 27%)和硫酸钾。前两种钾肥由山西紫光钾业有限公司提供。供试枸溶性钾硅肥为不溶于水或部分溶于水但可全部溶于 2% 柠檬酸的新型钾硅肥,其中有效硅(SiO_2)含量 20% 左右。

1.2 试验设计

试验设置 4 个处理,分别为:不施钾肥(K_0)、粉碎性钾矿粉($K_{矿}$)、枸溶性钾硅肥($K_{枸}$)、水溶性钾肥即硫酸钾($K_{水}$),每个处理 5 次重复。

试验每盆装土 10 kg,除不施钾肥处理外,各施钾处理钾肥施用量为 K_2O 1.50 g/盆,只在第一季油菜种植前施用。第一季油菜各处理氮、磷、硼肥用量相同,分别为 N 2.00 g/盆、 P_2O_5 1.00 g/盆、B 0.12 g/盆。第二季油菜只施 N 1.00 g/盆,第三季水稻基施 N 1.00 g/盆,播种后 60 天追施 N 0.50 g/盆。氮、磷、硼肥品种分别为尿素(含 N 46%)、磷酸二氢铵(含 P_2O_5 62%)、速乐硼(含 B 20%)。第一季所有肥料均用作基肥,与土壤充分混匀后装入塑料盆中,第二季和第三季氮肥

均溶于水后浇施。

1.3 测定项目与方法

油菜、水稻均齐地收割取地上部,水稻收获后将稻谷和稻草分开,样品于 105°C 下杀青 30 min,70°C 下烘至恒重。植株钾素含量采用 1 mol/L HCl 浸提,土壤速效钾采用 1 mol/L 醋酸铵浸提,土壤缓效钾采用 1 mol/L 硝酸煮沸浸提,用火焰光度计测定^[21],沸硝酸钾减去醋酸铵钾即为土壤缓效钾。供试土壤基础性测定采用土壤理化分析常规方法。

土壤钾素盈亏及平衡系数的计算公式如下^[22-23]:

钾素盈亏量 (K_2O g/盆) = 钾素投入总量 - 作物带走的钾素总量

平衡系数 = 钾素投入总量 / 作物带走的钾素总量

试验数据采用 DPS 数据处理系统进行分析, LSD 法进行差异性检验,采用 Origin 软件绘制图表。

2 结果与分析

2.1 不同形态钾肥对作物生物量的影响

从表 1 可以看出,与不施钾相比,枸溶性钾硅肥和水溶性钾肥的施用均可显著提高 3 季作物生物量,而施用粉碎性钾矿粉作物生物量无明显增加。其中 $K_{矿}$ 处理第一季油菜生物量无显著增加,而 $K_{枸}$ 和 $K_{水}$ 处理显著增加,增幅分别为 47.6%、37.6%。第二季油菜生育期较短,生物量偏低,但各施钾处理生物量增幅较第一季大, $K_{矿}$ 、 $K_{枸}$ 、 $K_{水}$ 处理增幅分别为 31.7%、92.2% 和 84.9%。第三季水稻数据显示,与 K_0 处理相比, $K_{矿}$ 处理水稻生物量没有显著增加,其他施钾处理增加显著, $K_{枸}$ 、 $K_{水}$ 处理增幅分别为 37.8%、34.7%。施用枸溶性钾硅肥和水溶性钾肥可以显著提高 3 季作物生物量,但两者之间并没有显著差异。

表 1 不同形态钾肥对作物生物量的影响

Table 1 Effects of different forms of potassium on crop biomass

处理	第一季油菜		第二季油菜		第三季水稻	
	生物量 (g/盆)	增幅 (%)	生物量 (g/盆)	增幅 (%)	生物量 (g/盆)	增幅 (%)
K_0	7.20 b	-	3.19 c	-	129.84 b	-
$K_{矿}$	7.42 b	3.06	4.20 b	31.66	127.76 b	-1.60
$K_{枸}$	10.63 a	47.64	6.13 a	92.16	178.98 a	37.85
$K_{水}$	9.91 a	37.64	5.90 a	84.95	174.93 a	34.73

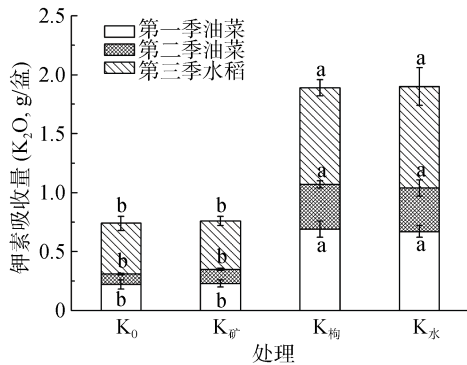
注:同一列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平。

2.2 不同形态钾肥对作物钾素吸收量的影响

图 1 可以看出,与不施钾相比,施用粉碎性钾矿粉后 3 季作物钾素总吸收量没有显著变化,枸溶性钾

硅肥和水溶性钾肥的施用则显著提高了作物钾素吸收量,都提高 155.0%。 $K_{枸}$ 和 $K_{水}$ 处理第一季油菜钾素吸收量分别为 K_2O 0.69、0.67 g/盆,比不施钾提高

了 0.47、0.45 g/盆。第二季油菜生育期短、生物量小，钾素吸收量较低，但是也表现出与第一季油菜相同的趋势。第三季水稻钾素吸收量数据显示， $K_{\text{枸}}$ 和 $K_{\text{水}}$ 处理钾素吸收量分别比不施钾处理提高 88.9% 和 97.2%，而 $K_{\text{粉}}$ 处理没有显著提高水稻钾素吸收量。



(同一季图柱小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平，下同)

图 1 不同形态钾肥对作物钾素吸收量的影响

Fig. 1 Effects of different forms of potassium fertilizer on potassium uptake by crop

2.3 不同形态钾肥对作物-土壤系统钾素平衡的影响

作物-土壤系统养分平衡一般以投入量和输出量进行比较，以盈亏量表示平衡程度，平衡系数是投入的养分量与作物带走养分量之比，是衡量养分平衡的指标之一^[22-24]。从表 2 可以看出，施用粉碎性钾矿粉、枸溶性钾硅肥以及水溶性钾肥对作物-土壤系统钾素平衡存在较大差异。3 季作物收获后， $K_{\text{粉}}$ 处理植物带走钾素(K_2O)0.75 g/盆，与 K_0 处理相比没有显著性差异，钾素盈余 0.75 g/盆，平衡系数为 1.99。 $K_{\text{枸}}$ 、 $K_{\text{水}}$ 处理植物带走钾素量都为 1.89 g/盆，钾素亏缺量为 0.39 g/盆，平衡系数为 0.79。相对于 K_0 处理钾素亏缺 0.74 g/盆， $K_{\text{枸}}$ 、 $K_{\text{水}}$ 处理由于钾素的投入，大

大降低了土壤钾素的亏缺程度，提高了土壤肥力水平，投入的钾素既能被作物充分吸收利用，又能缓解土壤钾素的下降程度，有利于作物-土壤系统的钾素平衡，对维持土壤肥力的稳定起到重要作用。

表 2 不同形态钾肥对作物-土壤系统钾素平衡的影响

Table 2 Effects of different forms potassium fertilizer on potassium balance in crop-soil systems

处理	钾投入量 (K_2O , g/盆)	钾输出量 (K_2O , g/盆)	钾素盈余量 (K_2O , g/盆)	平衡系数
K_0	0.00	0.74	-0.74	-
$K_{\text{粉}}$	1.50	0.75	0.75	1.99
$K_{\text{枸}}$	1.50	1.89	-0.39	0.79
$K_{\text{水}}$	1.50	1.89	-0.39	0.79

2.4 不同形态钾肥对土壤钾素含量的影响

由图 2 可以看出，第一季油菜收获后各处理间土壤速效钾含量差异较大， $K_{\text{粉}}$ 处理与 K_0 处理相比没有差异，都低于基础土壤速效钾含量 77.7 mg/kg， $K_{\text{枸}}$ 、 $K_{\text{水}}$ 处理较高，分别为 126.3、124.3 mg/kg。第二季油菜收获后各处理土壤速效钾含量较前一季显著降低， $K_{\text{枸}}$ 处理最高仅为 75.1 mg/kg，但各处理间变幅减小。第三季水稻收获后土壤速效钾含量处于较低水平，但处理间差异趋于平缓，变幅为 23.6~28.1 mg/kg，处理间没有显著性差异。

前两季油菜收获后土壤缓效钾含量变幅较小，第一季油菜收获后， $K_{\text{枸}}$ 处理含量最高达 225.2 mg/kg， $K_{\text{水}}$ 处理其次达 209.9 mg/kg， $K_{\text{粉}}$ 处理最低达 181.6 mg/kg。第二季油菜收获后， $K_{\text{枸}}$ 处理仍然最高，但比上一季略有降低，而 $K_{\text{粉}}$ 处理比上一季增加了 18.0 mg/kg，高于 K_0 处理。第三季水稻收获后，各处理缓效钾含量大幅下降，基本维持在 150 mg/kg 左右，低于基础土壤缓效钾含量，处理间没有显著性差异， $K_{\text{粉}}$ 处理含量最高达 158.3 mg/kg。

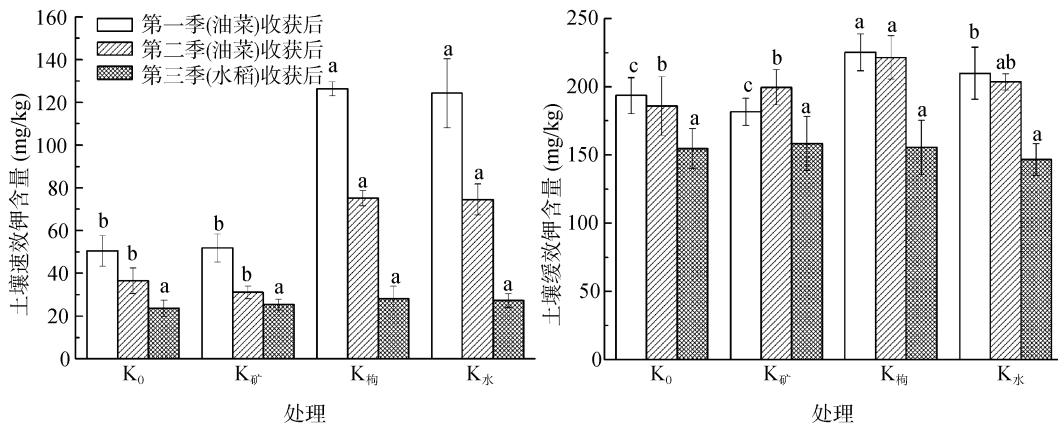


图 2 作物收获后土壤速效钾、缓效钾含量的变化

Fig. 2 Content changes of soil available K and slowly available K after crop harvest

3 结论与讨论

我国南方地区地处亚热带、热带气候区,具有高温多雨、干湿季节明显的气候特征,在长期自然风化的过程中,基性矿物分解强烈,而土体中原生矿物含量极少,因此是我国缺钾最突出的地区^[4]。我国氮、磷、钾肥的长期不合理施用,土壤钾素平衡遭到破坏,导致缺钾进一步加剧,而适当地补充钾素对提高我国缺钾地区的土壤含钾量有显著成效^[25]。我国水溶性钾肥资源短缺的现状,加之国际钾肥价格不断攀升的形势,利用非水溶性钾素资源填充我国水溶性钾肥资源的空缺,成为一条有效途径^[11,14]。

本研究结果表明,施用枸溶性钾硅肥和水溶性钾肥均能显著增加作物生物量和钾素吸收量,3季作物带走钾素达 K_2O 1.89 g/盆,平衡系数为 0.79,作物-土壤系统钾素平衡状态最佳,由于钾素的补充,改善了土壤钾素的亏缺状态,维持了作物-土壤系统的钾素平衡,土壤速效钾、缓效钾含量仍保持较高水平。这是因为枸溶态钾素靠作物根系分泌的有机酸分解吸收,肥效持久,具有改良土壤、增强作物抗逆性、提高作物品质的优势^[15]。本试验中枸溶性钾硅肥表现出与水溶性钾肥相同的效果,这可能与枸溶性钾硅肥中含有硅、钙、镁等有益元素促进作物的生长有关,但经测定发现与施用水溶性钾相比,枸溶性钾硅肥处理作物硅、钙、镁含量及积累量并没有明显增加,说明枸溶性钾硅肥在本试验中的增产效果与钾素在其中的重要作用是密切相关的。硫酸钾作为水溶性钾肥是速效性肥料,钾素以钾离子状态存在,可被植物快速直接吸收利用^[26]。枸溶性钾硅肥和水溶性钾肥的施用,土壤的有效钾素得到补充,能被作物及时吸收利用,有利于作物的生长。而施用粉碎性钾矿粉作物生物量与不施钾相比没有显著差异,3季作物钾素吸收量仅为 K_2O 0.75 g/盆,作物带走钾素含量低于钾素投入量,系统钾素处于盈余状态,施用的钾素不能被作物充分吸收利用。这是由于粉碎性钾矿粉是含钾的原生矿物,钾主要存在于矿物的晶格内部或是受晶格的束缚,属于结构态钾,这部分钾素很难被作物吸收利用,长时间作用也只能转化出少量速效钾^[27],被作物吸收利用的钾素少。吕乐福等^[28]在水蜜桃的试验上发现增量施用矿物钾效果比常量施用好。也说明可能因为施用粉碎性钾矿粉量较少,能被作物吸收利用的有效钾素量低,导致作物增产效果不显著。总言之,施用粉碎性钾矿粉作物增产效果差,不宜直接用于农业生产。

3季作物收获后,各处理土壤速效钾含量不足 30 mg/kg,比试验前显著下降,缓效钾含量约为 150 mg/kg,与试验前相比也有所下降,而各处理土壤速效钾、缓效钾含量最终趋于一致。在前两季油菜试验中,不同形态钾肥的施用补充了土壤的有效钾素,提高了速效钾和缓效钾的含量,但施用的钾素不能满足后季水稻的钾素需求,促使土壤中含钾矿物钾素释放,补充土壤钾素的亏缺^[29],但矿物态钾释放量少,土壤有效钾仍处于下降趋势。在实际生产中,必须通过钾肥的施用满足作物对钾素的需求,减轻作物对土壤钾素的消耗,缓解土壤肥力的下降程度,维持土壤钾素肥力的稳定^[23]。钾硅肥的生产,以我国充足的矿产资源为依托,解决了我国钾肥资源的不足,缓解高价情况下的进口压力,为我国的粮食安全问题提供有力保障^[10,12-14]。

参考文献:

- [1] Ismail C. Potassium for better crop production and quality[J]. *Plant Soil*, 2010, 335: 1-2
- [2] 李廷强,王昌全. 植物钾素营养研究进展[J]. *四川农业大学学报*, 2001, 19(3): 281-285
- [3] Wang M, Zheng QS, Shen QR, Guo SW. The critical role of potassium in plant stress response[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2013, 14: 7 370-7 390
- [4] 谢建昌,周健民. 我国土壤钾素研究和钾肥施用的进展[J]. *土壤*, 1999, (5): 244-254
- [5] 邹娟. 冬油菜施肥效果及土壤养分丰缺指标研究(博士学位论文)[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010
- [6] 王伟妮,鲁剑巍,鲁明星,李小坤,李云春,李慧. 湖北省早、中、晚稻施肥增产效果及钾肥利用率研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(5): 1 058-1 065
- [7] 孙爱文,张卫峰,杜芬,高利伟,张福锁,陈新平. 中国钾资源及钾肥发展战略[J]. *现代化工*, 2009, 29(9): 10-16
- [8] 史云庆. 中国市场钾肥供应现状分析[J]. *中国贸易经济*, 2013, (2): 17-20
- [9] 刘方斌. 钾肥:稳健增长 供需平衡[J]. *中国石油和化工*, 2012, (2): 32
- [10] 白由路. 高价下我国钾肥的应变策略[J]. *中国土壤与肥料*, 2009, (3): 1-4
- [11] 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
- [12] 汪家铭. 富钾岩石制取钾肥生产现状与前景展望[J]. *磷肥与复肥*, 2011, 26(5): 20-23
- [13] 王娜. 微晶化磷钾矿粉在几种农作物上的应用研究(硕士学位论文)[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012
- [14] 王万金,白志民,马鸿文. 利用不溶性钾矿提取的研究进展与展望[J]. *地质科技情报*, 1996, 15(3): 59-63
- [15] 冯元琦. 利用不溶性含钾矿源力促我国钾肥自给[J]. *化肥设计*, 2011, 49(3): 59-60
- [16] 赵凤兰,高红莉,慕兰,文春波,杨文新,胡纪鹏. 硅钾肥产业化风险评价及前景分析[J]. *地域研究与开发*, 2006, 25(6): 126-128

- [17] 刘淑云. 硅钾肥在水稻上的应用效果试验[J]. 北方水稻, 2008, 39(1): 33-34
- [18] 章彪雄, 黄庆海, 黄天宝, 王赛莲, 熊春贵. 长效硅钾肥在红壤性早稻上的使用效果[J]. 江西农业学报, 2008, 20(5): 119-120
- [19] 崔德杰, 高静, 宋宏伟. 施用硅钾肥对冬小麦抗旱性的影响[J]. 土壤肥料, 2000, (4): 27-29
- [20] 张艳红, 段彩霞, 薛旗. 硅钙镁钾肥在花生上的施用效果研究[J]. 现代农业科技, 2011(8): 278
- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 106-109
- [22] 王宏庭, 金继运, 王斌, 赵萍萍. 山西褐土长期施用钾和秸秆还田对冬小麦产量和加速平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 801-808
- [23] 王志勇, 自由路, 杨俐苹, 卢艳丽, 王磊, 王贺. 低土壤肥力下施钾和秸秆还田对作物产量及土壤钾素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 900-906
- [24] 李玉影, 刘双全, 姬景红, 郑雨, 佟玉欣. 玉米平衡施肥对产量、养分平衡系数及肥料利用率的影响[J]. 玉米科学, 2013, 21(3): 120-124
- [25] Tan DS, Jin JY, Jiang LH, Huang SW, Liu ZH. Potassium assessment of grain producing soils in North China[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2012, 148: 65-71
- [26] 胡霭堂, 周立祥. 植物营养学(下册)[M]. 2版. 北京: 中国农业大学出版社, 2004: 79-85
- [27] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 23-29
- [28] 吕乐福, 盖国胜, 孙海柱, 何振全, 杨玉芬. 矿物钾肥对阳山水蜜桃产量与品质的影响[J]. 北方园艺, 2012(6): 144-147
- [29] 范钦桢, 谢建昌. 长期肥料定位试验中土壤肥力的演变[J]. 土壤学报, 2005, 42(4): 591-599

Effects of Citrate-soluble Potassium Fertilizer on Crop Biomass and Potassium Balance in Crop-Soil System

SUN Hao-yan, ZHANG Yang-yang, REN Tao*, XUE Xin-xin, CONG Ri-huan

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

Abstract: A pot experiment was conducted in order to study the effects of different forms of potassium fertilizer on the biomass of three successive crops (oilseed rape, oilseed rape, and rice), potassium uptake, potassium balance and potassium content of soil. The results indicated that there were the same results between the treatments of citrate-soluble and water-soluble potassium fertilizer compare with K_0 treatment (no potassium fertilizer). They significantly increased the biomass of three crops. The total potassium accumulation amount of three crops increased by 155% compared with K_0 treatment. The ratio of potassium balance was 0.79. They could ease the potassium deficit of soil which will contribute to maintain soil potassium balance. However, the treatment of comminuted potassium ores had not significantly effect on the increment of biomass and potassium accumulation amount compared with K_0 treatment. The potassium existed in the comminuted potassium ores was difficult to be absorbed by crops. The treatments of citrate-soluble and water-soluble potassium fertilizer had higher soil available K and slowly available K than the others after the first season harvest. Whereas, the differences among the treatments became smaller with three seasons harvest. Therefore, citrate-soluble potassium fertilizer which had the same effect compared with water-soluble potassium fertilizer, can be supplied into soil, increase crop biomass, ease the consumption of potassium and sustain soil potassium balance.

Key words: Citrate-soluble potassium fertilizer, Biomass, Balance of potassium, Soil