

# 贵州旱作耕地土壤钾素状况与钾肥效应

赵欢<sup>1,2</sup>, 苟久兰<sup>1,2</sup>, 赵伦学<sup>4</sup>, 吴清英<sup>4</sup>, 何佳芳<sup>1,2</sup>, 赵平英<sup>4</sup>,  
王正银<sup>3</sup>, 李振轮<sup>3</sup>, 肖厚军<sup>1,2\*</sup>

(1 贵州省土壤肥料研究所, 贵州贵阳 550006; 2 农业部贵州耕地保育与农业环境科学观测实验站, 贵州贵阳 550006;  
3 西南大学资源环境学院, 重庆北碚 400716; 4 黔西县农牧局, 贵州黔西 551500)

**摘要:**【目的】本研究在贵州省测土配方施肥试验的基础上, 研究贵州主要旱作耕地长期种植玉米和马铃薯土壤钾素状况和钾肥效应, 以期对不同产区玉米、马铃薯高产的钾肥管理提供科学依据。【方法】针对贵州省 106 个玉米和 62 个马铃薯钾肥田间试验点土壤速效钾和缓效钾含量的调查及钾肥效应的研究, 在无肥处理, 等量氮、磷肥基础上, 选取施钾肥和不施钾肥两个处理, 并结合近 3 年当地玉米和马铃薯产量水平和无肥处理产量确定高、中和低产区开展土壤钾素状况调查研究, 进行相应产区施钾肥和不施钾肥两个处理的钾肥效应大田试验。【结果】玉米种植区土壤速效钾和缓效钾平均含量均低于马铃薯种植区; 从玉米和马铃薯不同产量水平种植区看, 玉米种植区, 高、中和低产区土壤速效钾平均含量分别为 155.2、135.1 和 71.0 mg/kg, 按照养分丰缺指标划分, 分别属于高、中和低等水平; 缓效钾平均含量分别为 249.5、245.2 和 144.3 mg/kg, 前两者属于高等水平, 后者属于中等水平。马铃薯种植区, 高、中和低产区土壤速效钾平均含量分别为 192.6、177.8 和 140.3 mg/kg, 前两者属于高等水平, 后者属于中等水平; 缓效钾平均含量分别为 298.6、287.4 和 265.5 mg/kg, 均属于中等水平。玉米和马铃薯种植区相对产量(一定氮、磷肥基础上无钾肥处理产量占施钾肥处理产量的百分数)均以高产区最大, 低产区其次, 中产区最低; 玉米、马铃薯种植区钾肥增产率和钾肥农学效率均表现为中产区 > 低产区 > 高产区, 而钾肥偏生产力为高产区 > 中产区 > 低产区。相关分析结果表明, 玉米种植区和马铃薯种植区的土壤速效钾与缓效钾含量均呈正相关关系, 相关系数分别为 0.635 和 0.550, 达极显著水平。【结论】贵州旱作耕地玉米和马铃薯种植区之间以及两作物不同产量种植区的土壤钾素状况均有较大差异, 而钾肥对玉米和马铃薯的增产效果与土壤速效钾的含量和供钾水平有关。因此, 在贵州旱作耕地玉米和马铃薯种植区应依据不同产区的土壤钾素状况合理施用钾肥, 尤其应注重有机肥与钾肥的配合施用。

**关键词:** 贵州; 旱作耕地; 供钾能力; 效应

**中图分类号:** S158.3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1008-505X(2016)01-0277-09

## Analysis on status of soil potassium and the effects of potassium fertilizer in dryland soil in Guizhou

ZHAO Huan<sup>1,2</sup>, GOU Jiu-lan<sup>1,2</sup>, ZHAO Lun-xue<sup>4</sup>, WU Qing-ying<sup>4</sup>, HE Jia-fang<sup>1,2</sup>, ZHAO Ping-ying<sup>4</sup>,  
WANG Zheng-yin<sup>3</sup>, LI Zhen-lun<sup>3</sup>, XIAO Hou-jun<sup>1,2\*</sup>

(1 Guizhou Institute of Soil and Fertilizer, Guiyang 550006, China; 2 Field Monitoring Experimental Station for Cultivated Land Preservation and Agro-environment in Guizhou, Ministry of Agriculture, Guiyang 550006, China;  
3 College of Resources and Environmental Sciences, Southwest University, Chongqing 400716, China;  
4 Qianxi County Bureau of Agriculture and Animal Husbandry, Qianxi, Guizhou 551550, China)

**Abstract:** 【Objectives】Based on soil testing and formulated fertilization in Guizhou, the capacity of supplying potassium in main dry land, in which maize and potato were cultivated for a long term, was explored and the effects of potassium fertilizer were studied as well to provide a scientific reference for high-yield potassium fertilizer

收稿日期: 2014-06-03      接受日期: 2014-11-25      网络出版日期: 2015-06-04

**基金项目:** 国家公益性行业(农业)专项“贵州地区钾肥高效利用与替代技术研究”(201203013-5-2); 贵州省联合基金项目黔科合 LH 字 [2014]7706 号; 贵州省科技计划“贵州省农业资源高效利用技术创新能力建设”黔科合院所创能[2011]4002 号项目资助。

**作者简介:** 赵欢(1983—), 男, 内蒙古乌海人, 硕士研究生, 助理研究员, 主要从事植物营养资源利用研究。E-mail: zhaohuancnm@163.com

\* 通信作者 E-mail: xiao-hjnkj@163.com

management of maize and potato in different producing areas. **【Methods】** The contents of soil readily available potassium and slowly available potassium and the effects of potassium fertilizer were investigated in 106 field test points of maize and 62 points of potato in Guizhou. No fertilizer treatment and treatments of potassium fertilizer and no potassium fertilizer with the same amount of nitrogen and phosphate fertilizer were set to mark out high, medium and low yield areas combined with maize and potato yields in recent three years, then the capacity of supplying potassium was investigated and the effects of potassium fertilizer were studied in the corresponding producing areas fertilized with potassium fertilizer or not. Descriptive statistical analysis, Pearson correlational analysis and stepwise regression analysis methods were employed for data analysis in this paper. **【Results】** The mean contents of soil readily available potassium and slowly available potassium in maize planting region were all lower than in potato planting region. In maize planting region, the soil readily available potassium contents were 155.2 mg/kg (high), 135.1 mg/kg (middle) and 71.0 mg/kg (low) respectively in high, middle and low yield areas, the slowly available potassium contents were respectively 249.5 mg/kg (high), 245.2 mg/kg (high) and 144.3 mg/kg (middle). In potato planting region, contents of soil readily available potassium were 192.6 mg/kg (high), 177.8 mg/kg (high) and 140.3 mg/kg (middle) respectively, and slowly available potassium were 298.6 mg/kg (high), 287.4 mg/kg (high) and 265.5 mg/kg (high) respectively. The relative yields (proportion of no potassium treatment yield to potassium treatment yield with the same amount of nitrogen and phosphate fertilizer) in the two planting regions were all the highest in high yield area, followed by low yield area, middle yield area was the lowest; the yield increase rate and agronomic efficiency of potassium fertilizer followed the sequence of middle yield area > low yield area > high yield area in maize and potato planting areas, while KPFP (potash partial fertilizer productivity) was high yield area > middle yield area > low yield area. There were very significant positive correlations between soil available potassium and slowly available potassium both in maize planting region and potato planting region with the correlation coefficients of 0.635 and 0.550 respectively. The regression model of relative yield, soil readily available potassium and slowly available potassium was at very significant levels. **【Conclusions】** The effects of supplying potassium in soil varied greatly between maize and potato planting areas and between different yield areas, the yield-increasing effect of potassium fertilizer in Guizhou was in relation to soil available potassium and potassium supplying potential. Consequently, it was essential to rationally apply potassium fertilizer according to soil potassium content in different planting regions of maize and potato, especially pay more attention to the combined application of organic fertilizer and potassium fertilizer.

**Key words:** Guizhou; dryland soil; capacity of supplying potassium; effect

钾是作物生长需要的大量元素之一,也是土壤中常因供应不足而影响作物产量和品质的一个重要元素<sup>[1-2]</sup>。贵州省农业属于典型的山区农业<sup>[3]</sup>,中低产田面积较大,而玉米、马铃薯是贵州省主栽的粮食作物,其播种面积占全省主要农作物耕种面积的30%左右,产量占粮食作物产量的50%以上。随着近几年高产、喜肥、耐肥品种的不断引进,以及由于农村劳动力的匮乏,使有机肥的投入量减少,作物对化肥氮、磷的依赖性越来越大,更加速了原本生产力低下的土壤不能及时得到养分的补充,使其养分亏缺和耗竭,尤其是大量元素钾的亏缺<sup>[4-5]</sup>。范钦楨等研究表明,长期不施钾肥土壤易释放钾库变小,土壤对钾的吸附能力增强,供钾能力降低<sup>[6]</sup>,造成氮、

磷、钾比例严重失调<sup>[7]</sup>。目前,人们对粮食作物种植区钾肥增产作用的认识基本一致<sup>[8-9]</sup>。施钾对玉米和马铃薯产量、钾素积累及钾肥利用率的影响已有大量研究<sup>[10-11]</sup>。在一定范围内,玉米和马铃薯产量随着施钾量的增加而提高,但过量增施会降低产量<sup>[12-14]</sup>。有研究表明,在缺钾土壤上施用钾肥,能充分发挥其肥效<sup>[15]</sup>,实现钾肥与有机肥综合利用,更能稳定维持土壤持续供钾能力,有利于土壤中钾的平衡,提高作物的产量<sup>[16-17]</sup>。因此,了解土壤钾素状况对指导当地钾肥施用具有重要意义。然而,有关贵州省玉米、马铃薯不同产量水平种植区的土壤供钾状况及作物钾肥效应的研究还较少。本研究在全省测土配方施肥试验的基础上,探明旱作耕地土壤钾

素状况和钾肥效应, 以为不同产区玉米、马铃薯高产的钾肥管理提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况及试验设置

贵州地处云贵高原东部, 位于北纬 24°37′~29°13′之间, 主要以山地、丘陵为主。全省平均海拔约 1100 m, 属于亚热带季风气候, 年平均气温 14~16℃, 大部分地区年平均降水量在 1100~1300 mm 之间, 作物生育期降水量较充沛。土壤类型主要为黄壤, 占全省土壤面积的 46.5%。本研究采集了贵州省玉米和马铃薯主产区 168 个试验点的土壤样品, 其土壤基本理化性状见表 1。供试玉米和马铃薯为当地主栽品种。在调查和采集样品的基础上, 根据各个取样点选取了马铃薯测土

配方试验 62 个, 并依据当地近 3 年的平均产量和无肥区马铃薯的产量水平划分出高产田 (>12000 kg/hm<sup>2</sup>)、中产田 (7500~12000 kg/hm<sup>2</sup>) 和低产田 (<7500 kg/hm<sup>2</sup>); 在玉米种植区选择了 106 个试验点, 进行了高产田 (>7500 kg/hm<sup>2</sup>)、中产田 (5250~7500 kg/hm<sup>2</sup>) 和低产田 (<5250 kg/hm<sup>2</sup>) 的划分。在等量氮、磷的基础上, 选取施钾和不施钾两个试验处理, 进行钾肥效应研究。马铃薯种植区肥料用量为 N 120~240 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60~150 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 150~420 kg/hm<sup>2</sup>; 玉米种植区肥料用量为 N 180~360 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 120~150 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 180~240 kg/hm<sup>2</sup>。磷、钾肥全部做基肥一次施入, 氮肥分两次追施。贵州省玉米和马铃薯种植区主要靠自然降雨满足其生育期的需水量。

表 1 供试土壤基本理化性状  
Table 1 Basic agrochemical properties of experimental soil

区域 Regions	项目 Item	pH (H <sub>2</sub> O)	有机质 Organic matter (g/kg)	碱解氮 Alk. N (mg/kg)	有效磷 Avail. P (mg/kg)	速效钾 Avail. K (mg/kg)	缓效钾 Slow-release K (mg/kg)
玉米种植区 Corn growing areas	变幅 Range 平均值 Average CV(%)	4.3~7.0	9.0~59.9 28.1±9.3 33.2	42.3~296.0 111.7±41.7 37.3	0.7~70.7 19.3±16.1 83.1	41.3~306.2 124.6±57.7 46.3	64.1~564.1 222.3±111.4 50.1
马铃薯种植区 Potato growing areas	变幅 Range 平均值 Average CV(%)	4.3~8.3	15.6~76.6 38.1±13.6 35.8	95.0~330.0 180.2±52.1 28.9	2.1~81.2 19.1±16.2 84.8	52.0~398.0 169.6±81.7 48.2	66.0~661.0 282.1±142.4 50.5

注(Note): 玉米区 Corn growing areas, n=106; 马铃薯区 Potato growing areas, n=62.

### 1.2 测定项目及方法

采集的土样经风干、研磨、过 0.25 mm 筛备用。土壤 pH 值采用玻璃电极法测定, 水土比 1:1; 有机质采用重铬酸钾外加热法, 碱解氮采用碱解扩散法, 有效磷采用钼锑抗比色法, 速效钾和缓效钾采用火焰光度法测定<sup>[18]</sup>。

### 1.3 数据处理

所有数据采用 Microsoft Excel 2007 和 DPS 7.5 统计软件进行分析。

相对产量 (%) = 不施钾肥产量/施钾肥产量 × 100;

钾肥增产率 (%) = 施钾肥增产量/不施钾处理产量 × 100;

钾肥农学效率(AEK, kg/kg) = (施钾处理产量 - 不施钾处理产量)/施钾量;

钾肥偏生产力(KFPF, kg/kg) = 施钾肥处理产量/施钾量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同作物种植区土壤速效钾和缓效钾含量的变化

2.1.1 速效钾 速效钾是当季作物钾素营养的主要来源, 其供应水平和强度受土壤的风化程度、耕作和施肥的影响<sup>[19]</sup>。贵州省玉米不同产量水平种植区土壤速效钾含量有较大差异(表 2)。玉米高产种植区土壤速效钾含量最高, 平均为 155.2 mg/kg, 按养分分级指标属高等水平; 中产区平均含量为 135.1 mg/kg, 属中等水平; 低产区平均含量为 71.0 mg/kg, 属低等水平。从变异系数看, 中产区变异最大, 高产区次之, 低产区最小, 而按照反映离散程度

表 2 玉米和马铃薯产区土壤速效钾含量和分布频次

Table 2 Soil available potassium content and distribution frequency in maize and potato producing areas

区域 Regions	变幅 Range (mg/kg)	平均值 Average (mg/kg)	变异系数 CV (%)	n	频数 Frequency (%)			
					≤80 mg/kg	80~150 mg/kg	150~200 mg/kg	≥200 mg/kg
玉米种植区 Corn growing areas	高产区 HYA 98.8~282.0	155.2 ± 47.9	30.9	26	0.0	53.9	30.8	15.4
	中产区 MYA 66.1~306.2	135.1 ± 57.3	42.4	54	9.3	57.4	22.2	11.1
	低产区 LYA 41.3~97.1	71.0 ± 18.0	25.4	26	57.7	43.3	0.0	0.0
马铃薯种植区 Potato growing areas	高产区 HYA 76.0~332.0	192.6 ± 63.8	33.1	21	13.0	21.7	26.8	38.5
	中产区 MYA 58.0~398.0	177.8 ± 100.3	56.4	24	0.0	35.3	29.4	35.3
	低产区 LYA 60.0~295.0	140.3 ± 56.9	40.6	17	16.0	52.0	16.0	16.0

注 (Note): HYA—High-yield areas; MYA—Medium-yield areas; LYA—Low-yield areas.

的变异系数的大小粗略划分,三个产区均属强变异性( $CV \geq 30\%$ )。从分布频次看,高、中产区以中等(80~150 mg/kg)水平含量所占比例最高,达50%以上,而低产区以低等水平( $\leq 80$  mg/kg)和中等(80~150 mg/kg)水平为主,分别占57.7%和43.3%。可见,不同产区土壤供钾水平是限制玉米产量提高的主要因素之一。

马铃薯是贵州省种植的主要农作物之一,亦是典型的喜钾作物,土壤供钾水平直接影响马铃薯的产量水平。由表2可以看出,高、中产区土壤速效钾平均含量分别为192.6 mg/kg和177.8 mg/kg,均属于高等水平;低产区土壤速效钾含量为140.3 mg/kg,属于中等水平。从变异性来看,中产区最大,低产区次之,高产区最小,且三个产区均属于强变异性。从马铃薯种植区不同产区的土壤速效钾含量分布频次看,高、中产区大部分(60%以上)以高(150~200 mg/kg)和极高( $\geq 200$  mg/kg)水平为主,而低产区则相反,以中等(80~150 mg/kg)和低等( $\leq 80$  mg/kg)水平为主。

2.1.2 缓效钾 土壤缓效钾是指存在于固体土粒上,但不能为某些中性阳离子所代换出来的钾<sup>[20]</sup>。从不同玉米产区的缓效钾含量(表3)可以看出,高、中产区的缓效钾平均含量分别为249.5 mg/kg和245.2 mg/kg,差异不大,属高等水平,而低产区的缓效钾平均含量为144.3 mg/kg,属中等水平;高、中产区缓效钾含量的变幅较大,低产区相对较小;中产区的变异最大,高产区次之,低产区最小,且各产区均属于强变异性。从分布频次看,高、中产区50%以上为高等和极高等水平,其次是中等水平,而低产区仅有15.4%为高等水平,其余均为中等和低等水平。

从马铃薯各产区土壤的缓效钾含量水平看,高、中和低产区的缓效钾平均含量分别为298.6、287.4和265.5 mg/kg,呈降低趋势,且均属于高等水平。从变异系数看,高产区和低产区的差异不大,中产区变异最小,但都属于强变异性。不同产区缓效钾含量的分布频次规律性略有不同,高、中产区以高等和中等水平所占比例高,而低产区以极高和中等水平所占比例高。因此,三个产区平均水平差异不大。

## 2.2 不同作物种植区土壤速效钾和缓效钾与土壤肥力的关系

相关分析结果(表4)表明,在玉米种植区当前的土壤肥力状况下,土壤pH值、有机质和碱解氮与速效钾之间呈正相关关系,相关系数分别为0.331、0.455和0.437,达极显著水平;土壤pH值和速效钾与缓效钾之间呈极显著正相关关系,相关系数分别为0.356和0.635;有机质和碱解氮与缓效钾之间呈显著正相关关系,相关系数分别为0.234和0.248。在马铃薯种植区,土壤pH值与土壤速效钾、缓效钾之间呈正相关关系,相关系数分别为0.394和0.374,达显著水平;有机质和碱解氮之间呈极显著的正相关关系,相关系数为0.659;速效钾和有效磷之间呈极显著负相关关系,相关系数为-0.375;速效钾和缓效钾之间也呈现极显著的正相关关系,相关系数为0.550。

## 2.3 作物产量水平与钾肥效应

通过对贵州省玉米主产区不同玉米产量水平进行区域划分,钾肥对玉米的增产效应在不同产区差异较大。由表5可以看出,从相对产量(即一定氮、磷肥基础上无钾肥处理产量占施钾肥处理产量的百分数)可以看出,以高产区最高(92.6%),低产区其

表 3 玉米和马铃薯产区土壤缓效钾含量和分布频次  
Table 3 Slowly available potassium content and distribution frequency in maize and potato producing areas

区域 Regions	变幅 Range (mg/kg)	平均值 Average (mg/kg)	变异系数 CV (%)	n	频数 Frequency(%)			
					≤100 mg/kg	100~200 mg/kg	200~400 mg/kg	≥400 mg/kg
玉米种植区 Corn growing areas	高产区 HYA 124.0~505.2	249.5 ± 114.4	45.9	26	0.0	46.2	38.5	15.4
	中产区 MYA 108.5~564.1	245.2 ± 115.3	47.0	54	0.0	50.0	38.9	11.1
	低产区 LYA 64.1~241.7	144.3 ± 49.0	34.0	26	19.2	65.4	15.4	0.0
马铃薯种植区 Potato growing areas	高产区 HYA 102.0~661.0	298.6 ± 149.4	50.0	21	0.0	39.1	39.1	21.7
	中产区 MYA 98.0~628.0	287.4 ± 141.1	49.1	24	8.0	36.0	40.0	16.0
	低产区 LYA 120.0~519.0	265.5 ± 133.5	50.3	17	0.0	35.3	23.5	41.2

注 (Note): HYA—High-yield areas; MYA—Medium-yield areas; LYA—Low-yield areas.

表 4 玉米和马铃薯产区土壤肥力因子间的相关系数  
Table 4 Correlation coefficients among various soil fertility factors in maize and potato producing areas

项目 Items	pH	有机质 Organic matter	碱解氮 Alk. N	有效磷 Avail. P	速效钾 Avail. K	缓效钾 Slow-release K
pH		0.096	-0.047	-0.228*	0.331**	0.356**
有机质 Organic matter	0.170		0.501**	0.268**	0.455**	0.234*
碱解氮 Alk. N	0.042	0.659**		0.218*	0.437**	0.248*
有效磷 Avail. P	0.031	0.003	-0.020		0.188	0.188
速效钾 Avail. K	0.394**	0.224	0.223	-0.375**		0.635**
缓效钾 Slow-release K	0.374**	-0.012	0.038	-0.208	0.550**	

注 (Note): 右上角为玉米种植区土壤肥力因子间的相关系数 Correlation coefficients of soil fertility factors in maize planting area in top right corner ( $n=106$ ); 左下角为马铃薯种植区土壤肥力因子间的相关系数 Correlation coefficients of soil fertility factors in potato planting area in lower left quarter ( $n=62$ ). \*— $P<0.05$ ; \*\*— $P>0.01$ .

次(84.6%),中产区最低(82.7%),且变异性均属于低变异性。相对产量按大于95%,75%~95%,50%~75%,<50%代表“高”,“中”,“低”,“极低”划分,三个产区均属于中等水平。玉米不同产量种植区的钾肥增产率和钾肥农学效率呈现中产区>低产区>高产区的规律,变异性均属于强变异性。而钾肥偏生产力的变化规律为高产区>中产区>低产区,变异性属于中等变异性。

从马铃薯主要种植区不同产量水平的划分区域看(表5),钾肥效应在各马铃薯产区增产变化很大。从相对产量平均水平看,以高产区(89.6%)最高,低产区(75.8%)其次,中产区最低(73.8%),按照上述等级划分,高、低产区属于中等水平,中产区属于低水平,但低产和中产区均与75%临界值较接近。从变异系数看,三个产区属于中等变异性。三个马铃薯产区钾肥的增产效率、钾肥农学效率呈现

以中产区最高,低产区次之,高产区最低的规律,而钾肥偏生产力的大小顺序为高产区>中产区>低产区。从变异系数看,钾肥的增产率、钾肥农学效率和钾肥偏生产力均属于强变异性。钾肥效应的大小与土壤含钾量有很密切的关系,为了进一步明确贵州玉米和马铃薯种植区相对产量与土壤含钾量的关系,进行了回归分析。在玉米种植区相对产量与土壤速效钾的回归模型为:  $Y = (58353167 + 3157448760X)^{0.181}$ ,  $R^2 = 0.275$ , 经检测,  $F = 11.10$ ,  $P < 0.01$ , 回归方程达到极显著水平。玉米种植区相对产量与土壤缓效钾建立的回归模型为:  $Y = (35971544 + 315504532X)^{0.177}$ ,  $R^2 = 0.193$ , 经检测,  $F = 8.33$ ,  $P < 0.01$ , 回归方程达到极显著水平。马铃薯种植区相对产量与土壤速效钾建立的回归模型为:  $Y = 55.117 + 0.271X - 0.000573X^2$ ,  $R^2 = 0.149$ , 经检测,  $F = 5.143$ ,  $P < 0.01$ , 回归方程达到极显著水

表 5 贵州玉米和马铃薯产区不同产量水平种植区钾肥效应  
Table 5 Effects of potassium fertilizer in maize and potato producing areas at different yield levels

区域 Regions	项目 Items	产量 Yield(kg/hm <sup>2</sup> )		相对产量	钾肥增产率	钾农学效率	钾肥偏生产力
		NP	NPK	RY (%)	KPR (%)	AEK (kg/kg)	KPFP (kg/kg)
玉米种植区 Corn growing areas							
高产区 High-yield areas	变幅 Range	6867 ~ 10166	7301 ~ 11182	83.3 ~ 113.3	0.0 ~ 20.0	0.0 ~ 8.5	23.4 ~ 53.3
	平均值 Average	8663 ± 1049	9381 ± 1165	92.6 ± 6.6	8.5 ± 7.3	3.3 ± 2.8	41.2 ± 7.7
	变异系数 CV(%)	12.1	12.4	7.2	86.2	85.4	18.8
	<i>n</i>	26	26	26	26	26	26
中产区 Medium-yield areas	变幅 Range	4391 ~ 10035	6083 ~ 10772	59.1 ~ 99.6	0.4 ~ 69.1	0.1 ~ 19.2	20.9 ~ 56.3
	平均值 Average	7013 ± 1202	8522 ± 1205	82.7 ± 10.7	23.3 ± 18.1	7.1 ± 4.7	39.9 ± 7.4
	变异系数 CV(%)	17.1	14.2	12.9	77.9	66.2	18.5
	<i>n</i>	54	54	54	54	54	54
低产区 Low-yield areas	变幅 Range	3551 ~ 8221	4349 ~ 8655	50.0 ~ 102.7	0.0 ~ 100.0	0.0 ~ 22.2	18.1 ~ 44.3
	平均值 Average	6016 ± 1192	7136 ± 1154	84.6 ± 11.3	20.8 ± 20.6	5.6 ± 4.7	34.8 ± 5.8
	变异系数 CV(%)	19.8	16.2	13.3	99.1	84.5	16.7
	<i>n</i>	26	26	26	26	26	26
马铃薯种植区 Potato growing areas							
高产区 High-yield areas	变幅 Range	11175 ~ 39233	11025 ~ 42765	67.5 ~ 101.4	0.0 ~ 48.2	0.0 ~ 36.5	53.6 ~ 203.6
	平均值 Average	22544 ± 6260	25171 ± 6279	89.6 ± 8.9	12.9 ± 13.2	10.7 ± 9.2	103.6 ± 34.3
	变异系数 CV(%)	27.8	25.0	10.0	102.5	85.7	33.1
	<i>n</i>	21	21	21	21	21	21
中产区 Medium-yield areas	变幅 Range	9456 ~ 22889	9076 ~ 28014	51.0 ~ 104.2	0.0 ~ 96.2	0.0 ~ 68.6	39.3 ~ 228.1
	平均值 Average	14866 ± 3101	20131 ± 4922	73.8 ± 15.5	36.7 ± 29.4	25.0 ± 21.0	94.6 ± 46.0
	变异系数 CV(%)	20.7	24.3	21.0	80.1	83.9	48.6
	<i>n</i>	24	24	24	24	24	24
低产区 Low-yield areas	变幅 Range	4252 ~ 19368	6128 ~ 24851	54.5 ~ 106.0	0.0 ~ 83.4	0.0 ~ 36.1	25.5 ~ 110.1
	平均值 Average	10111 ± 3565	13339 ± 528.9	75.8 ± 13.2	32.3 ± 23.6	12.5 ± 9.2	52.4 ± 21.4
	变异系数 CV(%)	35.3	39.6	17.4	73.1	74.1	40.8
	<i>n</i>	17	17	17	17	17	17

注 (Note): RY—Relative yield; KPR—K production rate; AEK—K agronomic efficiency; KPFP—K partial productivity.

平。马铃薯种植区相对产量与土壤缓效钾建立的回归模型为:  $Y = 91.887e^{(-27.906/X)}$ ,  $R^2 = 0.136$ , 经检测,  $F = 9.475$ ,  $P < 0.01$ , 回归方程达到极显著水平。

### 3 讨论与结论

当农田土壤钾素的支出大于投入, 其亏缺部分是由土壤提供的, 即依靠土壤钾素来维持一定的产量水平, 因而农田土壤钾素的收支状况将反映在土壤钾素肥力水平的消长上<sup>[21]</sup>。贵州的不同旱作耕地土壤供钾能力有较大差异。本文通过调查研究,

将全省测土配方试验区近三年当地玉米和马铃薯产量平均水平以及试验地无肥区产量水平综合考虑进行高中低产量划分, 然后根据不同产量水平对应的土壤钾素含量高低, 了解不同产区土壤钾素的状况。研究表明, 玉米种植区土壤速效钾平均含量较马铃薯种植区低, 且玉米和马铃薯不同(高、中和低)产区亦存在相同规律。据 20 世纪 80 年代初第 2 次土壤普查结果, 贵州省土壤速效钾含量为 123.9 mg/kg, 在我国南方各省居于中等或较丰富水平。而在本研究中, 玉米、马铃薯种植区土壤速效钾平

均含量较第二次普查结果分别高 0.58% 和 36.87%, 以马铃薯产区速效钾最高。这可能是因为马铃薯属嗜钾作物<sup>[12]</sup>, 在当地长期种植马铃薯过程中注重了钾肥的施用, 尤其是有机肥与化学钾肥的配合施用, 使土壤速效钾含量有所增加<sup>[22]</sup>。从玉米、马铃薯不同产量种植区域看, 贵州省土壤的含钾量是很不平衡的, 土壤速效钾呈高产区 > 中产区 > 低产区的规律; 玉米高产区和马铃薯高、中产区土壤速效钾平均含量属于高水平, 玉米中产区和马铃薯低产区属于中等水平, 而玉米低产区土壤速效钾平均含量仅为 70.96 mg/kg, 属于低水平。玉米和马铃薯种植区土壤速效钾与土壤 pH 值的相关性结果表明, 土壤速效钾与 pH 值呈极显著正相关。这主要是由于酸性土壤的水化铝离子常聚集成大型的多价阳离子, 吸附于粘粒矿物表面, 而这些聚合离子体积较大, 一方面对晶片表面的蜂窝状孔穴产生阻塞作用, 防止钾离子进入孔穴内, 同时又发挥“楔子”作用, 把相邻两晶片撑住, 使它们不能闭合在一起, 从而增大了晶片间的距离, 使酸性土壤的固定钾能力小于碱性土壤。在玉米种植区, 土壤速效钾与有机质呈极显著正相关性相关, 这可能是由于土壤有机质中的胶体物质可以吸附带正电的钾离子, 起到保肥作用。由此可见, 贵州旱地不同作物产区和不同产量水平区域其土壤钾素状况有较大差异, 这与长期的施肥、耕作栽培和作物吸收富集等因素有很大关系。

土壤缓效钾是土壤长期供钾潜力的重要指标。缓效钾作为钾素转化的中间产物, 起到了很好的纽带作用<sup>[23]</sup>, 其作为速效钾的储备态, 在一定的条件下可以逐渐转化为可供作物吸收利用的速效钾, 是速效钾的重要补给来源。在衡量土壤对当季作物的供钾能力时, 除依据速效钾的含量外, 还应考虑缓效钾, 在土壤钾素处于耗竭和亏缺的情况下更应如此。本研究结果表明, 马铃薯和玉米种植区(除低产区)土壤缓效钾含量为中等水平, 且马铃薯种植区的缓效钾含量高于玉米种植区; 从玉米、马铃薯不同产量种植区域看, 土壤缓效钾呈高产区 > 中产区 > 低产区的规律; 玉米高、中产区和马铃薯高、中、低产区的缓效钾平均含量属中等水平, 而玉米低产区缓效钾平均含量为 144.30 mg/kg, 属低等水平。相关分析结果表明, 玉米和马铃薯种植区的土壤缓效钾和速效钾呈极显著正相关, 这与刘树堂等长期定位施肥的土壤钾素变化结果一致<sup>[24]</sup>, 说明土壤中缓效钾和速效钾之间的平衡是一种动态反应, 土壤速

效钾的丰缺状况会显著影响该动态平衡而制约缓效钾的释放及其有效性<sup>[25]</sup>。另外, 缓效钾可直接被作物吸收利用, 在未施钾或施钾不足条件下土壤缓效钾是作物吸收的主要钾源<sup>[26]</sup>。有研究表明, 水稻<sup>[27]</sup>、大麦<sup>[28]</sup>和玉米<sup>[29]</sup>等所吸收的钾素主要来自缓效钾。因此, 在当地农业生产过程中应该避免耕作层土壤钾素的长期耗竭和施钾量不足造成的长期亏缺, 且在增施钾肥时注意平衡施肥以及有机肥的施用<sup>[30]</sup>。

钾肥对作物的增产效果与土壤速效钾的含量和供钾潜力有关<sup>[31]</sup>。在本研究中, 从玉米和马铃薯不同产区的相对产量看, 钾肥的增产效果以高产区 > 低产区 > 中产区, 且低产区和中产区差异不大。由于相对产量为一定氮、磷肥基础上无钾肥处理产量占施钾肥处理产量的百分数, 即相对产量越低, 施钾作物增产的空间越大。表明应注重贵州中、低产区钾肥的合理施用。钾肥农学效率、钾肥偏生产力均为表示养分利用率的常用定量指标, 可以从不同的侧面描述作物对肥料的利用率。本研究表明, 玉米和马铃薯种植区钾肥偏生产力从高产区到低产区呈降低趋势; 钾肥的增产率和钾肥农学效率以中、低产区高于高产区。通过贵州省玉米和马铃薯种植区的相对产量与土壤含钾量的回归分析可以看出, 贵州省旱作耕地的钾肥效应的大小与土壤含钾量有很密切的关系。因此, 摸清土壤的钾素状况和钾肥效应对指导玉米和马铃薯合理有效地施用钾肥是非常必要的。

## 参 考 文 献:

- [1] 郭英, 孙学振, 宋宪亮, 等. 钾营养对棉花苗期生长和叶片生理特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 363-368.  
Guo Y, Sun X Z, Song X L, et al. Effects of potassium nutrition on growth and leaf physiological characteristics at seedling stage of cotton [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(3): 363-368.
- [2] Turley D B, Phillips M C, Johnson P, et al. Long-term straw management effects on yields of sequential wheat (*Triticum aestivum* L.) crops in clay and silty clay loam soils in England [J]. Soil and Tillage Research, 2003, 71: 59-69.
- [3] 林昌虎, 解德蕴, 涂成龙, 等. 贵州山区坡耕地综合利用与整治[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 211-213.  
Lin C H, Xie D Y, Tu C L, et al. Comprehensive exploitation and renovation on the slope farmland in Guizhou mountain region [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2004, 11(3): 211-213.
- [4] 曹文藻. 贵州土壤供钾能力与钾肥的有效施用[J]. 西南农业

- 学报, 1993, 6(3): 69-74.
- Cao W Z. Study on potassium supplying power of soils in Guizhou province[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 1993, 6(3): 69-74.
- [5] 陈旭晖, 陈湘燕. 贵州土壤钾素状况与钾肥施用问题[J]. 西南农业大学学报, 2003, 25(2): 157-160, 163.
- Chen X H, Chen X Y. The content of soil potassium in Guizhou and the application of potassic fertilizer[J]. Journal of Southwest Agricultural University, 2003, 25(2): 157-160, 163.
- [6] 范钦楨, 谢建昌. 长期肥料定位试验中土壤钾素肥力的演变[J]. 土壤学报, 2005, 42(4): 591-599.
- Fan Q Z, Xie J C. Variation of potassium fertility in soil in the long-term stationary experiment [J]. Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(4): 591-599.
- [7] 谭德水, 金继运, 黄绍文, 等. 长期施钾对玉米连作土壤-作物系统钾素特征的影响[J]. 土壤通报, 2009, 40(6): 1376-1380.
- Tan D S, Jin J Y, Huang S W, et al. Effect of long-term application of K fertilizer on potassium character of soil-crop system under continuous maize cultivation [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2009, 40(6): 1376-1380.
- [8] 陈防, 鲁剑巍, 万运帆, 等. 长期施钾对作物增产及土壤钾素含量及形态的影响[J]. 土壤学报, 2000, 37(2): 233-241.
- Chen F, Lu J W, Wang Y F, et al. Effect of long term potassium application on soil potassium content and forms [J]. Acta Pedologica Sinica, 2000, 37(2): 233-241.
- [9] 李文娟, 何萍, 金继运. 钾素营养对玉米生育后期干物质和养分积累与转运的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(4): 799-807.
- Li W J, He P, Jin J Y. Potassium nutrition on dry matter and nutrients accumulation and translocation at reproductive stage of maize[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(4): 799-807.
- [10] 谭德水, 金继运, 黄绍文, 等. 不同种植制度下长期施钾与秸秆还田对作物产量和土壤钾素的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(1): 133-139.
- Tan D S, Jin J Y, Huang S W, et al. Effect of long-term application of K fertilizer and wheat straw to soil on crop yield and soil K under different planting systems[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(1): 133-139.
- [11] 何佳芳, 孙芳, 孙锐锋, 等. 不同氮钾水平对马铃薯产量及钾素吸收的影响[J]. 西南农业学报, 2012, 25(2): 562-565.
- He J F, Sun F, Sun R F, et al. Effects of different levels of nitrogen and potassium on potato yield and potassium uptake[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2012, 25(2): 562-565.
- [12] 苟久兰, 孙锐锋, 袁玲. 马铃薯钾素营养研究进展[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(9): 54-56.
- Gou J L, Sun R F, Yuan L. Research progress on potassium nutrition of potato[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2009, 37(9): 54-56.
- [13] 李波, 张吉旺, 靳立斌, 等. 施钾量对高产夏玉米产量和钾素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 832-838.
- Li B, Zhang J W, Jin L B, et al. Effects of K fertilization on yield, K use efficiency of summer maize under high yield conditions[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(4): 832-838.
- [14] 谭德水, 金继运, 黄绍文. 东北地区黑土、草甸土长期施钾对玉米产量及耕层土钾素形态的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 15(4): 850-855.
- Tan D S, Jin J Y, Huang S W. Effect of long-term K application on corn yield and K forms in plough layer of black soil and meadow soil in northeast of China [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 15(4): 850-855.
- [15] 索东让, 王托和, 李多忠. 河西走廊富钾土壤钾肥效应及钾素平衡的长期定位研究[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(3): 90-92.
- Suo D R, Wang T H, Li D Z. A long-time study on the effect and balance of potassium [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002, 10(3): 90-92.
- [16] 姜子绍, 宇万太, 张璐. 施肥对潮棕壤钾收支及钾在作物体内分配的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2337-2340.
- Jiang Z S, Yu W T, Zhang L, et al. Effects of fertilization on aquatic brown soil potassium budget and crop potassium allocation [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(12): 2337-2340.
- [17] Rupa T R, Srivastava S, Swarup A, et al. The availability of potassium in Aeric Haplaquept and Typic Haplustert as affected by long-term cropping, fertilization and manuring [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2003, 65: 1-11.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 1-114.
- Bao S D. Analytical methods for soil and agricultural chemistry [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000. 1-114.
- [19] 李贵宝, 尹澄清, 孙克刚, 等. 河南省土壤库中钾养分资源状况的研究[J]. 自然资源学报, 2000, 15(2): 138-142.
- Li G B, Yin C Q, Sun K G, et al. Study on change of soil potassium resources in Henan province [J]. Journal of Natural Resources, 2000, 15(2): 138-142.
- [20] 贾恒义. 黄土高原内蒙、山西土壤钾素的初步研究[J]. 华北农学报, 1987, 2(4): 61-66.
- Jia H Y. The preliminary study of soil potassium on the inner Mongolia and Shanxi in loess plateau [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1987, 2(4): 61-66.
- [21] 宇万太, 姜子绍, 沈善敏, 等. 不同施肥制度下潮棕壤钾素肥力变化和土壤缺钾指标[J]. 应用生态学报, 2007, 18(10): 2239-2244.
- Yu W T, Jiang Z S, Shen S M, et al. K fertility and K deficit index of aquatic brown soil under different fertilization systems[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(10): 2239



- 2244.
- [22] 宇万太, 马强, 周桦. 不同施肥制度对作物产量及土壤磷钾肥力的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(3): 123-128.
- Yu W T, Ma Q, Zhou H. Effects of different fertilization systems on crop yield and soil P and K fertility[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 28(3): 123-128.
- [23] 包耀贤, 吴发启, 刘莉. 渭北旱塬梯田土壤钾素状况及影响因素分析[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 78-82.
- Bao Y X, Wu F Q, Liu L. Analysis on status of soil potassium and its influencing factors for terrace in Weibei dryland [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(1): 78-82.
- [24] 刘树堂, 刘培利, 王锋, 等. 冬小麦-夏玉米轮作中长期定位施肥的土壤钾素变化研究[J]. 河北农业科学, 2005, 9(1): 10-14.
- Liu S T, Liu P L, Wang F, *et al.* Study of soil potassium changes to long-term located fertilization in winter wheat-summer corn rotation[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2005, 9(1): 10-14.
- [25] Sadusky M C, Sparks D L, Noll M R. Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy middle atlantic coastal plain soils [J]. *Soil Science*, 1987, (4): 1460-1465.
- [26] 张爱君, 马飞, 张明普. 黄潮土的钾素状况与钾肥效应的长期定位试验[J]. 江苏农业学报, 2000, 16(4): 237-241.
- Zhang A J, Ma F, Zhang M P. Long term stationary experiments on the status of soil K and the effect of K fertilizer on yellow fluvo aquic soil [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2000, 16(4): 237-241.
- [27] 谢建昌, 杜承林. 土壤钾素的有效性及其评定方法的研究[J]. 土壤学报, 1988, 25(3): 269-280.
- Xie J C, Du C L. Studies on availability of potassium in soils and its evaluating methods [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1988, 25(3): 269-280.
- [28] 鲍士旦, 史瑞和. 土壤钾素供应状况的研究 I. 江苏省几种土壤的供钾状况与禾谷类作物(大麦)对钾吸收能力之间的关系[J]. 南京农学院学报, 1982, (1): 59-66.
- Bao S D, Shi R H. Researches on the potassium supply of soils I. The Potassium supply of several soils in Jiangsu province and its relation to the uptake by the graminaceous crop-barley [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1982, (1): 59-66.
- [29] 金继运, 高广领, 王泽良, 等. 不同土壤钾素释放动力学及其供钾特征的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1994, 1(1): 39-48.
- Jin J Y, Gao G L, Wang Z L, *et al.* Kinetics of native potassium release and potassium supplying characteristics in selected soils [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1994, 1(1): 39-48.
- [30] 姚源喜, 刘树堂, 郇恒福. 长期定位施肥对非石灰性潮土钾素状况的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 241-244.
- Yao Y X, Liu S T, Huan H F. Effect of long-term fertilization on the status of potassium in noncalcareous fluvo-aquic soil [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(3): 241-244.
- [31] 杜立宇, 潘大伟, 张鸿玲, 等. 蔬菜保护地不同施肥处理对土壤钾含量的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 945-949.
- Du L Y, Pan D W, Zhang H L, *et al.* Effect of different fertilization ways on K content of vegetable planted soils in greenhouse [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(5): 945-949.