

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

谭德水, 金继运*, 黄绍文, 何萍

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 农业部植物营养与养分循环重点开放实验室, 北京 100081)

摘要: 本试验研究了东北三省代表性的草甸土、黑土上连续 13 年施用钾肥对玉米产量和耕层土壤钾素形态的影响。结果表明, 施钾可明显增加玉米产量, 辽宁、吉林、黑龙江三个定位点 NPK1 处理分别较对照(NP)处理增产 10.2%、13.6%、17.5%, 但钾肥量增大(NPK2 处理)产量没有表现出同步提高。施用钾肥可增加土壤水溶性钾、非特殊吸附钾、特殊吸附钾的含量和在全钾中的比例; 施钾量增大, 含量和比例随之提高, 处理之间表现为 NPK2 > NPK1 > NP。NPK2 处理均与 NP 呈显著差异, 两个土层表现基本一致, 但在 20—40 cm 土层下处理之间差距缩小。施钾总体增加了非交换性钾、矿物钾和全钾含量的同时降低了矿物态钾在全钾中的比例, 三省试点的土壤表现基本一致。随土层加深, 各点相应处理的不同钾形态含量和比例变化不尽相同。全钾在黑、吉、辽三点随土层深度的变化分别表现为降低、持平、升高。

关键词: 长期定位; 施钾; 玉米产量; 土壤钾素形态

中图分类号: S143.3; S513.06

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2007)05-0850-06

Effect of long-term K application on corn yield and potassium forms in plough layer of black soil and meadow soil in northeast of China

TAN De-shui, JIN Ji-yun*, HUANG Shao-wen, HE Ping

(Institute of Agricultural Resource and Regional Planning, CAAS, Key Laboratory of Plant Nutrition Cycling, MOA, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on 13 year's continuous K fertilizer application on meadow soil and black soil delegating 3 provinces of northeast of China, effect of K fertilizer's application on corn yield and potassium forms in the plough layer were studied. Results showed that K application could increase corn yield distinctly, the treatment of NPK1 made an increase of 10.2% and 12.6% and 17.5% compared with NP alone in Liaoning and Jilin and Heilongjiang, but yield didn't increase along with K fertilizer quantity's increasing. K application could increase content and proportion of water-soluble potassium and non-specifically adsorbed K and specifically adsorbed K, and those two indexes increased with K quantity's increasing and treatments behaved as NPK2 > NPK1 > NP. NPK2 significantly increased those two indexes compared to NP, but no difference in those two indexes between upper two layers was observed for NPK2 and the difference became less pronounced in layer 20—40 cm. K application increased content of non-exchangeable K, mineral K and total K collectively at the same time lowed proportion of mineral K. Content and proportion of different kind of K didn't vary unanimous in each regions. Total K showed fall, equal and increase separately in Heilongjiang, Jilin and Liaoning with soil depths.

Key words: long-term located; K fertilizer application; corn yield; soil potassium form

随着农作物产量和氮、磷肥用量的不断提高, 作物从土壤中移走的钾量逐渐增加。有资料表明, 山

东、河北几个点施氮磷处理的作物每年从土壤中带走钾 35.07 ~ 142.17 kg/hm²[1], 土壤钾素逐渐亏缺。

收稿日期: 2006-04-30 修改稿收到日期: 2006-06-13

基金项目: 中国—加拿大钾磷研究所(PPI-PPIC)合作项目。

作者简介: 谭德水(1978—), 男, 山东省文登市人, 博士研究生, 主要从事植物营养与土壤养分管理方面的研究。

* 通讯作者 Tel: 010-68918000, E-mail: jyjin@caas.ac.cn

面对我国耕地缺钾问题,正确评价不同土壤的供钾特性,充分发挥土壤潜在的供钾能力,合理施用钾肥等诸多问题就显得格外重要^[2]。近几年,金继运等^[3]对交换性钾按存在位置和可交换性的不同作了进一步分级,将交换性钾分为非特殊吸附钾和特殊吸附钾两种形态。土壤不同形态钾的含量及相对活性决定了土壤钾对植物的有效性^[4],这一钾素形态分级方法的提出,可以清楚了解作物对土壤各种形态钾的有效性吸收,且长期定位某一地块施钾更能对土壤钾库的影响和有效性作出科学的判断。为此,在东北三省长期施钾种植玉米的代表性土壤上,研究钾形态的变化,以期对东北土壤钾素状况作出判断。

1 材料与方法

1.1 试验设计

长期定位试验始于1993年,分别在辽宁沈阳、吉林公主岭、黑龙江双城市进行。辽宁点位于东经122°25',北纬41°11',年均降雨722 mm,≥0℃积温3900℃,年均气温8.1℃,无霜期150~170 d;粘土矿物含量为云母>石英>高岭石>蛭石,土壤为砂质粘壤,微酸性,肥力中等。吉林点地处东经124°54',

北纬43°36',年均降雨572 mm,≥0℃积温3100℃,年均气温5.6℃,无霜期140~150 d,粘土矿物含量为蛭石>云母>高岭石>蒙脱石,质地为粘壤土,偏碱性,有机质、速效磷和速效钾较高,肥力中等偏上。黑龙江点位于东经126°18',北纬45°23',平均气温3.5℃,年均降雨480 mm,≥0℃积温2700℃,无霜期100~120 d,粘土矿物含量为蒙脱石>云母>绿泥石>石英,土壤质地为砂质壤土,偏碱性,全氮、有机质和速效钾较高,肥力中等偏上。三点供钾能力均较低;试验前0—20 cm土层基础肥力状况见表1。

试验在全面施氮磷作底肥(N 300 kg/hm², P₂O₅ 150 kg/hm²)基础上进行,设3个处理:1)NP,不施钾对照;2)NPK1,施K₂O 112.5 kg/hm²;3)NPK2,施K₂O 225 kg/hm²。4次重复,随机排列,小区面积50 m²。肥料为尿素(基施和追施),磷酸二铵(全部基施),氯化钾(加拿大进口钾肥,含K₂O 60%,全部基施),各点年施肥量及施肥方式相同。种植作物为玉米,一年一熟,均用当地主推高产品种。管理措施同当地大田生产,2005年玉米收获时取0—20 cm和20—40 cm土层土样,风干后过1 mm筛,用于土壤各分级形态钾的测定,风干土过0.25 mm筛用于土壤全钾测定。

表1 各定位点土壤耕层(0—20cm)基础肥力
Table 1 Basic fertility of soil in each anchors in 1993

地点 Region	土壤 Soil	pH	阳离子交换量 CEC (cmol/kg)	全氮 Total N (g/kg)	有机质 OM (g/kg)	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)	速效磷 Avail. P (mg/kg)	速效钾 Avail. K (mg/kg)
辽宁 Liaoning	MS	6.2	14.6	0.87	16.7	8.10	56.4	85.3
吉林 Jilin	BS	8.5	21.6	1.26	22.2	9.33	101.2	158.6
黑龙江 Heilongjiang	BS	8.5	26.4	1.92	30.0	8.51	37.0	164.2

注(Note): MS—草甸土 Meadow soil; BS—黑土 Black soil

1.2 测定项目及方法

水溶性钾按水土比10:1用蒸馏水提取;非特殊吸附钾用0.5 mol/L中性醋酸镁溶液提取,非特殊吸附性钾=醋酸镁浸提钾-水溶性钾;特殊吸附钾用1 mol/L中性醋酸铵溶液提取,特殊吸附钾=醋酸铵浸提钾-醋酸镁浸提钾;非交换性钾用1 mol/L硝酸溶液加热提取,非交换性钾=硝酸消煮钾-醋酸铵浸提钾;矿物钾=全钾-硝酸消煮钾;全钾:氢氧化钠熔融。提取出来的钾稀释后用原子吸收分光光度计测定。

植株钾含量测定: H₂SO₄ + H₂O₂ 联合消煮,原子

吸收光度计测定。

土壤基础肥力: 铵态氮用系统研究法测定^[5];速效磷用0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提,钼锑抗比色;速效钾用1 mol/L 醋酸铵浸提,原子吸收分光光度计测定。

数据用DPS 3.01v专业版软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 各定位点施钾玉米增产效应及土壤钾素盈亏状况

在氮磷肥基础上施用钾肥对玉米子粒的增产效

果明显(表2)。辽宁、吉林、黑龙江三点的 NPK1 处理较对照(NP)处理分别增产 10.3%、13.6%、17.5%，但钾肥施用量增大产量并没有表现同步提高；NPK2 处理较对照分别增产 9.9%、12.5%、21.7%，个别地区 NPK2 处理产量低于 NPK1 处理。

NP 处理土壤钾素年均亏缺最大，年均施 K_2O 112.5 kg/hm^2 处理每年不仅要带走所有施入土壤中的肥料钾还要从土壤钾素库中带走一部分钾，使得土壤钾素逐年减少，出现亏缺；而年均施 K_2O 225.0 kg/hm^2 的处理中表现盈余。

表 2 施用钾肥对各定位点玉米产量及土壤钾素平衡状况的影响

Table 2 Effect of K fertilizer application on corn yield and status of soil potassium balance in different anchors

地区 Region	处理 Treatment	子粒产量 Grain yield (kg/hm^2)	增产 Yield increase		年施钾量 K input	年均吸钾量 K uptake [K_2O $kg/(hm^2 \cdot a)$]	土壤钾素盈亏量 Profit and loss
			(kg/hm^2)	(%)			
辽宁 Liaoning	NP	8341.9	—	—	0.0	135.5	-135.5
	NPK1	9204.9	863.0	10.3	112.5	173.3	-60.8
	NPK2	9170.8	828.9	9.9	225.0	196.3	28.7
吉林 Jilin	NP	6589.7	—	—	0.0	89.7	-89.7
	NPK1	7486.8	897.1	13.6	112.5	141.1	-28.6
	NPK2	7416.1	826.4	12.5	225.0	180.9	44.1
黑龙江 Heilongjiang	NP	7506.9	—	—	0.0	71.7	-71.7
	NPK1	8820.8	1313.9	17.5	112.5	117.2	-4.7
	NPK2	9134.7	1627.8	21.7	225.0	160.8	64.2

注(Notes): 表中数据为 13 年平均值 Data in the table are average of 13 years.

2.2 土壤全钾含量状况

施钾对不同定位点土壤的全钾含量影响不同(图1)。施钾较对照可提高耕层土壤全钾含量，施钾量增大全钾含量进一步提高。各地在不同土层间

表现不同，随土层变深，辽宁点各相应处理全钾含量升高，吉林在两土层间基本持平，黑龙江则表现下降。

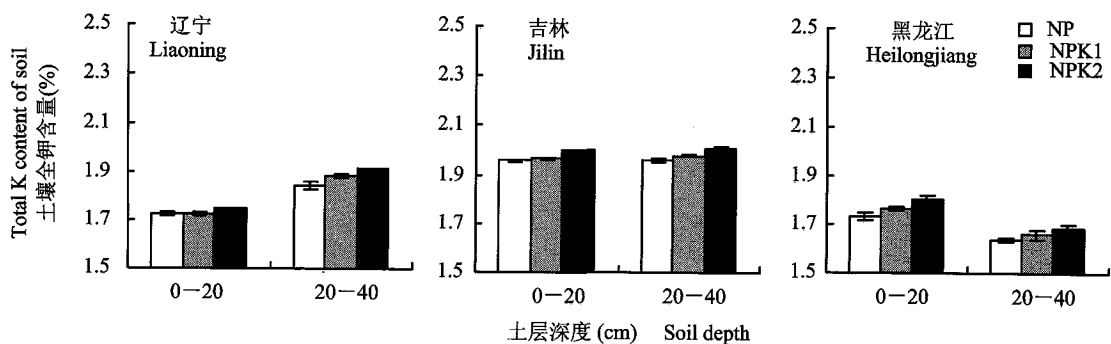


图 1 耕层土各处理全钾含量

Fig.1 Content of total K in each treatment between plough layers

2.3 施钾对各定位点耕层不同形态钾含量和比例状况的影响

2.3.1 水溶性钾含量和比例状况 水溶性钾是土壤溶液中的钾或离子态钾，它以离子形态存在于土壤溶液中，可以被植物直接吸收利用。表 3 看出，各处理 0—20、20—40 cm 土层水溶性钾在全钾中的比

例均很低。施钾能增加耕层土壤水溶性钾含量，各处理之间含量表现为：NPK2 > NPK1 > NP；NPK2 处理与 NP 处理差异显著，三点表现一致。与 0—20 cm 相比，随土层变深(20—40 cm)，辽宁点 NP 处理含量增加，施钾处理含量下降；吉林全部处理表现升高但不明显，而黑龙江各相应处理表现下降。在全

表 3 施钾对各点耕层土水溶性钾含量和比例的影响

Table 3 Effect of K fertilizer application on content and proportion of water-soluble K in different anchors

土层深度 Depth of layer (cm)	处理 Treatment	水溶性钾含量(mg/kg) Water-soluble K			占全钾的比例(%) Proportion in total K			
		辽宁 Liaoning	吉林 Jilin	黑龙江 Heilongjiang	辽宁 Liaoning	吉林 Jilin	黑龙江 Heilongjiang	平均 Average
0—20	NP	13.5 c	15.9 b	6.8 b	0.078	0.081	0.039	0.066
	NPK1	21.2 b	17.4 b	8.4 ab	0.123	0.089	0.048	0.087
	NPK2	38.8 a	22.0 a	9.4 a	0.223	0.110	0.052	0.128
20—40	NP	15.7 b	18.1 b	5.2 b	0.085	0.092	0.032	0.070
	NPK1	17.7 b	21.0 ab	5.6 b	0.094	0.106	0.034	0.078
	NPK2	22.0 a	23.2 a	6.1 a	0.115	0.115	0.036	0.089

注(Notes): 同一地区不同字母表示差异达 5% 显著水平,下同。Different letters in the same column mean significant at 5% level, and the same symbol was used for other table.

钾中的比例与含量表现相同,从三个地点平均比例来看,施钾能增加水溶性钾在全钾中的比例,随施钾量增大比例升高。

2.3.2 非特殊吸附钾含量和比例状况 土壤非特殊吸附钾是指土壤胶体表面吸附的能被钙、镁等离子所交换的钾。非特殊吸附钾在全钾中的比例在 0.1%—0.7% 之间,比水溶性钾比例稍高。施钾较对照均可增加各点非特殊吸附钾含量,与对照相比

差异显著;但 20—40 cm 土层,NPK1 与对照差异不显著。0—40 cm 土层内,随土层变深,各相应处理非特殊吸附钾含量降低,三点表现基本一致。

施钾能明显提高非特殊吸附钾在全钾中的比例,随施钾量增加比例升高,在 0—20 cm 土层效果明显。除辽宁点对照处理外,其它两点相应处理随土层变深比例降低,施钾处理下降更明显(表 4)。

2.3.3 特殊吸附钾含量和比例状况 土壤特殊吸

表 4 施钾对各点耕层土非特殊吸附钾和特殊吸附钾含量和比例的影响

Table 4 Effect of K fertilize application on content and proportion of non-specifically adsorbed K and specifically adsorbed K in different anchors

土层深度 Depth of layer (cm)	处理 Treatment	吸附态钾含量(mg/kg) Adsorbed K			占全钾的比例(%) Proportion in total K			
		辽宁 Liaoning	吉林 Jilin	黑龙江 Heilongjiang	辽宁 Liaoning	吉林 Jilin	黑龙江 Heilongjiang	平均 Average
非特殊吸附钾 Non-specifically adsorbed K								
0—20	NP	18.0 c	45.3 c	54.5 c	0.104	0.231	0.315	0.217
	NPK1	46.3 b	51.3 b	63.5 b	0.268	0.261	0.360	0.296
	NPK2	110.0 a	77.3 a	73.2 a	0.631	0.387	0.405	0.474
20—40	NP	21.3 b	43.4 b	42.4 b	0.115	0.221	0.259	0.198
	NPK1	24.6 b	51.4 ab	44.2 b	0.131	0.260	0.267	0.219
	NPK2	42.8 a	57.5 a	46.2 a	0.224	0.286	0.275	0.262
特殊吸附钾 Specifically adsorbed K								
0—20	NP	45.7 c	90.2 b	98.1 c	0.265	0.460	0.567	0.431
	NPK1	53.0 b	93.0 b	106.5 b	0.307	0.463	0.604	0.458
	NPK2	58.6 a	101.1 a	114.0 a	0.336	0.506	0.631	0.491
20—40	NP	48.4 b	92.8 b	96.3 b	0.262	0.473	0.588	0.441
	NPK1	50.2 ab	96.7 a	97.0 ab	0.267	0.488	0.586	0.447
	NPK2	52.6 a	99.1 a	104.5 a	0.275	0.493	0.621	0.463

附钾是指 2:1 型粘土矿物楔形位特殊吸附,不能被钙、镁等离子所交换,但却能被铵离子交换或通过水分子之间形成的氢键进行的电子传递过程而释放的钾。表 4 表明,特殊吸附钾在全钾中的比例较非特殊吸附钾稍高,但也在 0.7% 以下。在耕层(0—20 cm)中,施钾较对照处理可提高其含量,但幅度不大;与对照比较,NPK2 处理含量在两个土层下均差异显著。随土层变深,辽宁和黑龙江两点总体呈下降趋势,吉林点在两土层间差异不明显。

施钾较对照增加其在全钾中的比例,但在两土层之间相差不明显。辽宁和黑龙江两点相应处理随土层变深比例下降,吉林表现上升。从三点平均水平看出,随土层变深,NP 处理比例上升,NPK1 和 NPK2 处理比例下降,这和水溶性钾的比例状况相似。

2.3.4 非交换性钾含量和比例状况 非交换性钾主要指易风化含钾矿物(黑云母)晶格内含有的钾和土壤中固钾矿物(如蛭石等 2:1 型层状硅酸盐矿物)所固定的钾。非交换性钾是植物利用土壤钾库的潜

力资源,它在全钾中的比例能达到 5% 左右。表 5 看出,施钾处理的非交换性钾含量高于对照,且随施钾量增加差异达显著水平;但吉林点 20—40 cm 土层 NPK1 处理非交换性钾含量低于对照。

表 5 还看出,随土层变深,辽宁和黑龙江各相应处理非交换钾含量下降,吉林略有上升。各点的比例状况与含量特点相似,不同的是各点在 20—40 cm 土层下 NPK1 处理非交换性钾比例在三个处理中最低。从三点平均比例看,随土层变深比例有下降趋势。

2.3.5 矿物钾含量和比例状况 土壤矿物钾(或结构钾)指土壤中原生矿物和次生矿物晶格中或深受晶格束缚的钾,如长石、白云母以及最难风化的钾微斜长石等硅酸盐矿物结构中的钾。表 6 看出,矿物钾在全钾中的比例最高可达到将近 95%。从总体含量水平看,各点施钾处理土壤中矿物钾含量高于不施钾处理。从占全钾的平均比例上看,施钾总体上降低了矿物钾在全钾中的比例。

表 5 施钾对各点耕层土非交换性钾含量和比例的影响

Table 5 Effect of K fertilizer application on content and proportion of non-exchangeable K in different anchors

土层深度 Depth of layer (cm)	处理 Treatment	非交换性钾含量(mg/kg) Non-exchangeable K			占全钾的比例(%) Proportion in total K			
		辽宁 Liaoning	吉林 Jilin	黑龙江 Heilongjiang	辽宁 Liaoning	吉林 Jilin	黑龙江 Heilongjiang	平均 Average
0—20	NP	903.3 c	1065.6 a	954.5 c	5.24	5.44	5.52	5.40
	NPK1	971.8 b	1032.3 a	989.7 b	5.63	5.25	5.61	5.50
	NPK2	1041.1 a	1085.5 a	1001.7 a	5.97	5.43	5.55	5.65
20—40	NP	862.6 b	1086.4 a	893.6 b	4.67	5.54	5.46	5.22
	NPK1	873.4 b	1061.8 a	869.3 b	4.64	5.36	5.25	5.08
	NPK2	920.1 a	1145.4 a	934.7 a	4.81	5.70	5.56	5.36

表 6 施钾对各点耕层土矿物钾含量和比例的影响

Table 6 Effect of K fertilizer application on content and proportion of mineral K in different anchors

土层深度 Depth of layer (cm)	处理 Treatment	矿物钾含量(%) Mineral K			占全钾的比例(%) Proportion in total K			
		辽宁 Liaoning	吉林 Jilin	黑龙江 Heilongjiang	辽宁 Liaoning	吉林 Jilin	黑龙江 Heilongjiang	平均 Average
0—20	NP	1.63 a	1.84 b	1.62 b	94.31	93.79	93.56	93.89
	NPK1	1.62 a	1.85 ab	1.65 b	93.66	93.92	93.38	93.65
	NPK2	1.62 a	1.87 a	1.69 a	92.84	93.56	93.36	93.25
20—40	NP	1.75 b	1.84 b	1.53 b	94.87	93.67	93.66	94.07
	NPK1	1.78 ab	1.86 a	1.55 b	94.87	93.78	93.87	94.17
	NPK2	1.81 a	1.88 a	1.57 a	94.58	93.41	93.51	93.83

3 讨论

本研究结果表明,施钾可以明显提高东北三个试验点玉米产量,但施钾量增大产量没有表现明显增加。这跟前人研究有相似之处^[6]。增加钾肥投入量使作物从土壤及肥料中带走的钾素也增多,从东北三点土壤钾素平衡看,NP 和 NPK1 处理土壤钾素均出现不同程度的表现亏缺,NPK2 处理表现上有盈余。

关于土壤钾素形态和转化规律,钾的有效性及其评定方法等方面研究均取得较大进展^[4,7-8]。土壤中的钾有多种形态,不同形态对作物的有效性不同。在土壤体系内,各形态钾之间相互转化,存在着一个动态平衡的过程^[9]。本研究看出,经过 13 年施钾处理,耕层土中水溶性钾、非特殊吸附钾、特殊吸附钾含量较对照(NP)明显增加,且随施钾量增加其含量进一步提高,说明施用钾肥对土壤中速效钾量的提高最直接和明显。值得指出的是,此三种形态钾在对照(NP)中随土层变深基本没有下降反而略有升高,这是由于 NP 处理中这几种形态钾含量很低,作物对上层土壤的吸收甚于下层的缘故。

在评价土壤钾对作物的长期有效性时,不仅要考虑速效钾的水平,更要注意非交换性钾的贮量及其释放速率^[3]。谢建昌^[5]认为,研究土壤钾素的充分与否是由土壤速效钾含量和非交换性钾含量及其释放速率共同决定的。本研究结果看出,施钾较 NP 可提高辽宁、黑龙江两点的非交换性钾含量和比例,随土层变深含量下降,但吉林点规律不明显。从吉林黑土看,施钾量不足也会导致个别土层非交换性钾含量较对照低,可能是作物对土壤钾奢侈吸收的结果。而多施的钾肥仍以速效钾和缓效钾存在于土壤中,维持并提高了土壤的供钾能力^[10]。

本试验土壤不同处理各形态钾在 0—20 cm 土层的变化幅度高于 20—40 cm 土层,说明植物对钾素的吸收及对钾库的影响还是集中在表层土壤,施钾对不同形态钾含量和比例的影响也是上层土壤大于下层。

长期施钾处理的全钾含量高于对照,但随土层变深,从南(辽宁)到北(黑龙江)表现不同:全钾含量分别表现为升高、持平、降低。可能是温度的变化以及从南到北降雨逐渐减少而导致土壤钾素向深层次淋失,常年积累程度也随之变化的缘故^[11-13];前人研究认为,土壤钾素的降低与消耗主要是作物的

吸收和淋失^[6],但在各土层的淋失程度及累积量方面还需进一步的试验研究。

参考文献:

- [1] 谢建昌,周健民, Hardter R. 钾与中国农业[M]. 南京:河海大学出版社,2000,153-154.
Xie J C, Zhou J M, Hardter R. Potassium and chinese agriculture [M]. Nanjing: Hehai University Press,2000,153-154.
- [2] 谢建昌,周健民. 我国土壤钾素研究和钾肥使用的进展[J]. 土壤,1999,31(5): 244-254.
Xie J C, Zhou J M. Research of soil potassium and development of potassium use in china[J]. Soils, 1999, 31(5): 244-254.
- [3] 金继运. 土壤钾素研究进展[J]. 土壤学报,1993,30(1): 94-101.
Jin J Y. The advance of soil potassium[J]. Acta Pedol. Sin., 1993, 30(1): 94-101.
- [4] 黄绍文,金继运. 土壤钾形态及其植物有效性研究进展[J]. 土壤肥料,1995, (5): 23-29.
Huang S W, Jin J Y. Research of potassium forms and plant validity in soils[J]. Soils Fert., 1995, (5): 23-29.
- [5] 金继运,自由路. 精准农业与土壤养分管理[M]. 北京:中国大地出版社,2001. 152-159.
Jin J Y, Bai Y L. Precision agriculture and management of soil nutrients[M]. Beijing: China Land Press,2001. 152-159.
- [6] 范闻捷,介晓磊,李有田,等. 潮土区小麦—玉米轮作周期内土壤钾素的动态研究 II. 施钾对作物产量及土壤钾素动态的影响[J]. 华中农业大学学报,1999,18(5): 427-430.
Fan W J, Jie X L, Li Y T et al. Studies on dynamics of potassium in soil in wheat-maize rotated chao soil region II. Effects of potash application on crop yield and dynamics of potassium in soil [J]. J. Huazhong Agric. Univ., 1999, 18(5): 427-430.
- [7] 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.
Xie J C. The status quo and prospect of potassium research in soil[J]. Progr. Soil Sci., 1981, 9(1): 1-16.
- [8] Spaiks D L. Potassium dynamics in soil[J]. Adv. Soil Sci., 1987(6): 1-63.
- [9] Berrech P M, Thomas G W. Potassium status of temperate region soils [A]. Monson R D (Ed.). Potassium in agriculture[M], Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America, 1985. 131-162.
- [10] 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, Wan Y F et al. Effect of long term potassium application on soil potassium content and forms[J]. Acta Pedol. Sin., 2000, 37(2): 233-241.
- [11] 范闻捷,介晓磊,李有田,等. 潮土区小麦—玉米轮作周期内土壤钾素的动态研究 I. 不施钾条件下土壤钾素动态与垂直变化[J]. 华中农业大学学报,1998,17(5): 452-458.
Fan W J, Jie X L, Li Y T et al. Studies on dynamics of potassium in soil in wheat-maize rotated chao soil region I. The dynamic and vertical change of potassium in soil profile without potash application condition[J]. J. Huazhong Agric. Univ., 1998,17(5): 452-458.
- [12] Olk D C, Cassman K G, Carlson R M. Kinetics of potassium fixation in vermiclitic soils under different moisture regimes[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1995, 59: 423-429.
- [13] Bums A F, Barber S A. The effect of temperature and moisture on exchangeable potassium[J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1961, 25: 349-352.