

磷肥用量对河套灌区玉米产量·土壤磷含量的影响

张君¹, 赵沛义¹, 妥德宝¹, 段玉¹, 李焕春¹, 靳存旺², 李彬瑞², 任永峰¹ (1. 内蒙古农牧业科学院资源环境与检测技术研究所, 农业部农牧交错带生态环境重点野外科学观测试验站, 内蒙古旱作农业重点实验室, 内蒙古呼和浩特 010031; 2. 内蒙古巴彦淖尔市五原县农业技术推广中心, 内蒙古巴彦淖尔 015113)

摘要 [目的]为了探讨不同磷肥用量对河套灌区玉米产量、土壤有效磷含量的影响。[方法]采用田间试验和室内分析化验相结合的方法,在内蒙古五原县连续2年进行不同磷肥用量试验。[结果]施磷可明显提高玉米产量。随着磷肥用量的增加,磷肥利用率、农学效率、经济效益均呈逐渐下降趋势,土壤中3种磷素形态表现为 Olsen-P > CaCl₂-P > DTP。随着磷肥施肥量的增加,土壤 Olsen-P、CaCl₂-P、DTP 呈二次型曲线增加趋势。[结论]河套灌区种植玉米经济施磷量为 150 kg/hm²,生产 100 kg 籽实吸磷量平均在 0.77 kg 左右,随着施磷量的增加,土壤磷残留逐渐增加。

关键词 玉米;磷肥;产量;土壤磷

中图分类号 S513 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)27-10997-04

Effects of Different Phosphorus Application Amounts on Yield of Maize and Soil Phosphorus Content in Hetao Irrigation District of Inner Mongolia

ZHANG Jun et al (Inner Mongolia Key laboratory of Dry Farming, Key Observation Station of Ecologic Environment of Ministry of Agriculture, Institute of Resources and Environment and Testing Technology, IMAAAHS, Huhhot, Inner Mongolia 010031)

Abstract [Objective] The research aimed to study the effects of different phosphorus application amounts on the yield of maize and soil phosphorus content in Hetao irrigation district of Inner Mongolia. [Method] By using field experiments and indoor chemical analysis and biological statistics, two year's experiments of different phosphorus application amounts were conducted in Wuyuan County. [Result] Phosphorus application significantly increased maize yield. Phosphorus use efficiency, agronomic efficiency and economic benefits showed a gradual decrease with the increase of phosphorus fertilizer. Three kinds of phosphorus forms in soil showed Olsen-P > CaCl₂-P > DTP, which showed quadratic curve upward trend with the increase of phosphorus fertilizer. [Conclusion] The economic P₂O₅ application amount was 150 kg/hm² in Hetao irrigation district, producing 100 kg grains absorbed about 0.77 kg phosphorus. Residual phosphorus in soil increased with increase of phosphorus fertilizer.

Key words Maize; Phosphorus fertilizer; Yield; Soil phosphorus

内蒙古河套黄灌区近年来玉米播种面积约 11 万 hm²,占该地区农作物总播种面积的 20.5%,产量约为 104 万 t^[1]。河套灌区土壤类型以灌淤土为主。据内蒙古自治区土壤肥料工作站试验研究^[2],河套灌区耕地土壤全磷 0.15 ~ 1.97 g/kg,平均 0.73 g/kg,有效磷 1.6 ~ 71.9 mg/kg,平均 12.9 mg/kg,67.5%耕地有效磷集中在 9.3 ~ 36.2 mg/kg。通过对种植玉米的 27 000 户农民调查,在河套灌区玉米磷肥(P₂O₅)的平均施用量为 124.5 kg/hm²,44.4%的农户施磷量(P₂O₅)为 75 ~ 150 kg/hm²,20%农户施磷量(P₂O₅)小于 75 kg/hm²,20%农户施磷量(P₂O₅)为 150 ~ 300 kg/hm²。由于农民盲目施肥现象普遍,施肥过量 and 施肥不足现象并存^[3-5]。磷是玉米所需三大营养元素之一。缺磷严重影响玉米的产量和品质。研究表明,施用磷肥可提高玉米产量,提高玉米光合生产率^[6-8],促进玉米植株吸收氮磷钾养分,改善玉米籽实品质^[9-11]。但是,过量施用磷肥后,磷肥的增产效果和利用率降低^[12]。因此,研究河套灌区玉米种植的适宜施磷量,对指导当地农民科学施肥,实现玉米高产、高效栽培以及农业可持续发展具有重要的意义。笔者主要研究

了河套灌区玉米施磷的适宜用量、土壤有效磷含量变化,以期为河套灌区玉米合理施肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验点基本情况 试验在巴彦淖尔市五原县农业技术推广中心水地进行,地理位置 E 108°17'17.7",N 41°5'38.4"。试验区位于河套平原中部,属于半干湿中温带季风气候,年平均气温 7.2 °C,有效积温 2 890 °C,多年平均降水量 213 mm,蒸发量 2 365.3 mm,无霜期 100 ~ 153 d,年平均日照时数 3 202.5 h 左右,寒暑变化剧烈,冬季漫长且寒冷,昼夜温差极大。土壤为灌淤黏土,成土母质为黄河冲积沉积物。试验前 0 ~ 100 cm 剖面监测土壤耕作层容重为 1.49 g/cm³,其他层次基本为 1.41 g/cm³;根层 0 ~ 20 cm 有机质含量为 16.17 g/kg,全氮含量为 1.08 g/kg,全磷含量为 0.803 g/kg, Olsen-P 含量为 12.85 mg/kg, pH 为 8.5。

1.2 试验设计 试验分别于 2011、2012 年 2 年进行,设 4 个处理。根据 2011 年试验结果(不同氮肥用量试验最佳施氮量为 240 kg/hm²),于 2012 年进行施磷量调整,具体施肥方案见表 1。小区面积 30 m²,3 次重复,随机区组排列。试验所用肥料为尿素(N 46%)、重过磷酸钙(P₂O₅ 46%)、磷酸二铵(N 18%、P₂O₅ 46%)、氯化钾(K₂O 60%),不施有机肥。试验时全部磷钾肥和 40%氮肥在覆膜前施,60%氮肥在大喇叭口期追施。试验用玉米品种为濠丹 168,先覆膜后人工点播,膜上小行距 40 cm,膜间大行距 60 cm,株距 33 cm。2011 年 5 月 6 日播种,9 月 20 日收获。2012 年 5 月 9 日播

基金项目 内蒙古农牧业科学院青年创新基金“河套灌区玉米氮磷肥投入阈值研究”(2011QNJN04);国家公益性行业科研专项“东北半湿润平原区面源污染监测与氮磷投入化肥阈值研究”(20100314)。

作者简介 张君(1982-),男,内蒙古呼和浩特人,助理研究员,硕士,从事植物营养和作物栽培生理研究, E-mail: 64359906@qq.com。

收稿日期 2013-07-14

种, 9月23日收获。

表1 玉米磷肥施用方案

处理	2011			2012		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
P0	180	0	75	240	0	75
P1	180	150	75	240	150	75
P2	180	300	75	240	300	75
P3	180	600	75	240	600	75

1.3 样品采集、测试与分析 玉米收获后用土钻在每个小区分10个样点分别采集0~20 cm土样,制备混合样,带回实验室测定 Olsen-P、CaCl₂-P、溶解性总磷。收获后每个小区单

$$\text{肥料增产率}(\%) = \frac{\text{施肥区经济产量}(\text{kg}/\text{hm}^2) - \text{对照区经济产量}(\text{kg}/\text{hm}^2)}{\text{对照区经济产量}(\text{kg}/\text{hm}^2)} \times 100$$

$$\text{农学效率}(\text{kg}/\text{kg}) = \frac{\text{全肥区经济产量}(\text{kg}/\text{hm}^2) - \text{缺素区经济产量}(\text{kg}/\text{hm}^2)}{\text{施用某养分}(\text{kg}/\text{hm}^2)}$$

$$\text{养分当季利用率}(\%) = \frac{\text{全肥区养分吸收量}(\text{kg}/\text{hm}^2) - \text{缺素区养分吸收量}(\text{kg}/\text{hm}^2)}{\text{施用某养分}(\text{kg}/\text{hm}^2)} \times 100$$

$$\text{养分累积利用率}(\%) = \frac{\text{施肥区累积吸收养分}(\text{kg}/\text{hm}^2) - \text{对照累积吸收养分}(\text{kg}/\text{hm}^2)}{\text{施用养分总量}(\text{kg}/\text{hm}^2)} \times 100$$

2 结果与分析

2.1 磷肥用量对玉米产量、吸磷量的影响 施用磷肥有明显的增产效果。由表2可知,2011年P2处理籽实产量最高,其值为14 281 kg/hm²,与P0、P4处理相比差异在0.05水平显著,施磷处理比不施磷处理增产0.10%~8.88%;2012年P1处理籽实产量最高,其值为15 535 kg/hm²,在0.05水平显著高于其他处理,施磷肥比不施磷肥增产-3.81%~8.13%,出现P4处理籽实产量低于P0处理的异常现象。这

可能与连续2年过量施磷导致籽实产量下降有关。邢月华^[5]在辽宁辽南玉米产区的3点试验结果表明,施磷的增产效果显著。由此可见,合理施用磷肥是确保玉米增产的重要因素。从秸秆产量看,2011年P1处理与P0处理产量差异在0.05水平显著,2012年P1处理与其余处理产量差异在0.05水平显著,两年均表现为P1处理产量最高,分别为12 660、17 212 kg/hm²,而该处理磷用量恰恰是设计的最优用量,初步认为合理施用磷肥可提高秸秆产量。

独测产,分籽粒和秸秆采集植物样品,分别测定籽粒和秸秆的全磷含量和含水量。
土壤 Olsen -P 采用 pH 为 8.5,浓度为 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提钼锑抗比色法测定;土壤 CaCl₂-P 采用水土比为 5:1,浓度为 0.01 mol/L 的 CaCl₂ 溶液浸提钼锑抗比色法测定^[13];可溶性总磷(DTP)采用过硫酸钾氧化-孔雀绿-磷钼杂多酸分光光度法测定^[14];植株地上部营养体及籽粒经烘干粉碎后用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,采用钒钼黄比色法测定磷含量^[15]。其他基本理化性质均采用常规方法测定。

各指标测定采用的计算方法为:

表2 玉米产量及吸磷量

年份	处理	籽实		秸秆		植株总磷
		产量//kg/hm ²	磷含量//%	产量//kg/hm ²	磷含量//%	携出量//kg/hm ²
2011	P0	13 116.35 b	0.440	10 580 b	0.253	84.35
	P1	13 487.00 ab	0.525	12 660 a	0.232	100.12
	P2	14 281.10 a	0.575	12 400 ab	0.209	107.77
	P4	13 129.90 b	0.659	11 000 ab	0.199	108.53
2012	P0	14 367.54 b	0.478	15 003 b	0.247	105.74
	P1	15 535.84 a	0.483	17 212 a	0.283	123.79
	P2	14 477.89 b	0.509	14 723 b	0.285	115.45
	P4	13 820.30 b	0.489	14 270 b	0.238	101.56

注:同列不同小写字母表示差异在0.05水平显著。

从籽粒和秸秆的磷素含量来看,籽实磷素含量为0.44%~0.66%,秸秆磷素含量为0.20%~0.29%,2012年籽实、秸秆磷含量略高于2011年,但差异不显著。从植株总磷携出量来看,2011年施用磷肥增加了植株磷的携出量,P4处理总磷携出量最高,达到108.53 kg/hm²。2012年由于连续2年过量施肥,超过优化用量后(P1处理)总磷携出量逐渐降低,不同处理总磷携出量大小顺序为P1处理>P2处理>P0处理>P4处理。由此可见,过量施用磷肥后,由于籽实、秸秆产量减少,降低了总磷的携出量,造成磷肥的浪费。由图1、2可知,随着施磷量的增加,籽实产量、植株总磷年携出量均呈先升高后下降的趋势,用二次函数拟合较好,相关系数

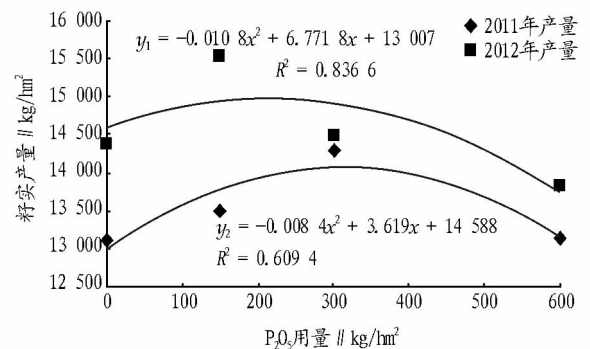


图1 磷肥用量与玉米籽实相关关系

在 0.6 以上,利用拟合方程计算后,2011 年最高产量与 95% 产量施磷量分别为 316 和 161 kg/hm²,2012 年最高产量施磷量为 210 kg/hm²,不施用磷肥可达到 95% 的产量,2012 年的产量和磷素携出量均高于 2011 年,可能与 2012 年生育期降水较多有关。

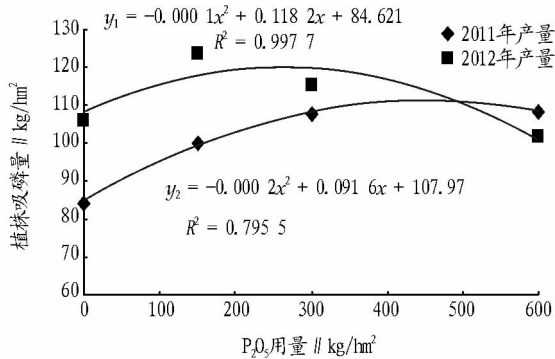


图2 磷肥用量与玉米植株吸磷量相关关系

2.2 磷肥施用效果 由表 3 可知,随着磷肥用量的增加,磷肥利用率呈逐渐下降趋势。这与邢月华等^[6]在辽宁辽南玉

米产区的研究结果一致。由于连续 2 年过量施肥,2012 年 P4 处理的产量小于 P0 处理,导致磷肥利用率为负值,P1 处理 2 年的磷肥累积利用率最高为 11.3%,P4 处理最低,P2 处理居中。从农学效率来看,随着磷肥用量的增加,表现为下降趋势,P1 处理 2 年的平均农学效率仍表现为最高,每千克磷肥增产 5.1 kg 籽实,而 P4 处理由于 2012 年产量较低,农学效率出现负值。按照 2011 年玉米籽实平均单价 2 元/kg、P₂O₅ 单价 4 元/kg 计算,施磷经济效益随着磷肥用量的增加,同样表现为下降趋势,最高每投入 1 kg P₂O₅ 增加收入 11.6 元,P1、P2、P4 处理 2 年平均分别为 6.2、0.2、-4.8 元/kg,过量施肥后增产效益在 0.05 水平显著下降,并出现负值。从表 2 还可以看出,P1、P2、P4 处理生产 100 kg 玉米籽实的磷素吸收量分别为 0.77、0.78、0.78 kg,由此看出生产 100 kg 玉米籽实吸磷量约 0.78 kg。由此可知,磷肥施肥量太高,不仅会导致磷肥利用率和农学效率的下降,而且不会提高玉米籽实的磷素吸收量,表明 P1 处理 150 kg/hm² 的施肥量是较合理的施肥量,过量施肥后施肥效果下降。

表3 磷肥施肥效果

处理	P 肥利用率//%			农学效率//kg/kg			施磷经济效益//元/kg			生产 100 kg 籽实磷素吸收量//kg		
	2011	2012	合计	2011	2012	合计	2011	2012	合计	2011	2012	合计
P1	10.5	12.0	11.3	2.5	7.8	5.1	1.0	11.6	6.2	0.74	0.80	0.77
P2	7.8	3.2	5.5	3.9	0.4	2.1	3.8	-3.2	0.2	0.76	0.80	0.78
P4	4.0	-0.7	1.7	0	-0.9	-0.4	-4.0	-5.8	-4.8	0.83	0.74	0.78

2.3 施磷肥对土壤矿质磷含量的影响 由表 4 可知,不同磷肥用量下土壤 Olsen-P 含量的变化范围为 8.74 ~ 32.66 mg/kg,土壤 CaCl₂-P 含量变化范围为 2.53 ~ 11.53 mg/kg,土壤 DTP 含量的变化范围为 1.73 ~ 8.73 mg/kg。由于 P0 处理

不施磷肥,土壤磷含量较基础土样均表现为逐渐下降的趋势;其他处理由于逐年磷肥的投入,土壤中的磷含量表现为逐渐增加的趋势。

表4 土壤矿质磷含量

处理	Olsen-P			DTP			CaCl ₂ -P		
	2010	2011	2012	2010	2011	2012	2010	2011	2012
P0	20.00	17.83	8.74	2.20	1.85	1.73	3.00	2.85	2.53
P1	20.00	20.67	20.01	2.20	2.46	4.43	3.00	3.21	6.44
P2	20.00	22.27	26.20	2.20	2.56	7.63	3.00	3.75	10.06
P4	20.00	23.85	32.66	2.20	2.73	8.73	3.00	3.89	11.53

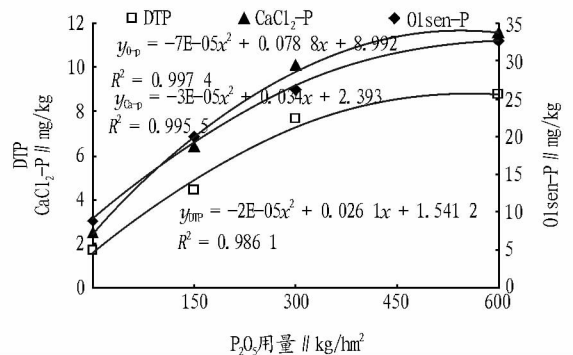
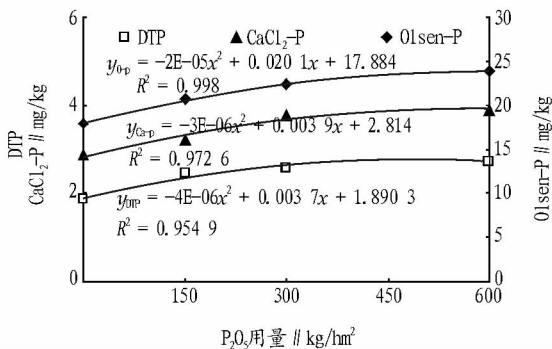


图3 磷肥用量与土壤磷含量相关关系

由图 3 可知,随着施磷量的增加,土壤 Olsen-P、CaCl₂-P、DTP 均表现为增加趋势,用二次型曲线拟合较好,拟合系数

达到 0.95 以上。3 种磷素形态表现为 Olsen-P > CaCl₂-P > DTP,且 Olsen-P 含量所占比例有逐渐升高的趋势。这与刘

建玲等^[16]的研究结果相同。由于第 1 年变量施肥,2011 年各处理间差异较小。由于连续 2 年施肥,2012 年各处理间 3 种形态磷含量增幅明显增加,初步认为施磷量增加,土壤相对残留的磷增多。

3 结论

(1) 合理施磷肥促进玉米增产,而过度施用磷肥后籽实和秸秆产量均有下降趋势。施肥量和籽实、秸秆产量可用二次函数拟合,拟合系数在 0.62~0.99 之间。

(2) 随着磷肥用量的增加,磷肥利用率、农学效率均呈逐渐下降趋势,P1 处理为最高,2 年累积利用率为 11.3%,农学效率为 5.1 kg/kg。生产 1 t 籽实吸磷量平均在 7.7 kg 左右。

(3) 土壤中 3 种磷素形态表现为 Olsen-P > CaCl₂-P > DTP,随着磷肥施肥量的增加,土壤 Olsen-P、CaCl₂-P、DTP 整体上呈现二次型曲线增加趋势。初步认为,施磷量增加土壤相对残留的磷增多。

参考文献

- [1] 内蒙古自治区统计局. 内蒙古统计年鉴[M]. 呼和浩特:内蒙古人民出版社,2011.
- [2] 郑海春. 内蒙古测土配方施肥技术研究与应用技术总结[R]. 呼和浩特:内蒙古自治区土壤肥料工作站,2011.
- [3] 刘志雄,冯勇,胡达古拉,等. 土壤养分供应水平及不同施肥量对玉米产量的影响[J]. 内蒙古农业科技,2009(2):31-34.
- [4] 李文彪,刘荣乐,郑海春,等. 内蒙古河套灌区春玉米推荐施肥指标体系研究[J]. 中国农业科学,2012,45(1):99-107.

(上接第 10996 页)

表 5 豫东南农田土壤养分的变异系数

指标	取样	平均值	最大值	最小值	标准值	变异系数
	地点	mg/kg	mg/kg	mg/kg		
速效氮	郸城	97.68	126.00	69.59	12.94	13.25
	西华	56.93	100.04	33.38	11.75	20.63
有效磷	郸城	9.53	44.40	4.30	3.39	35.59
	西华	18.69	139.72	4.50	8.11	43.40
有效钾	郸城	122.78	248.06	85.92	20.36	16.58
	西华	91.72	237.75	36.15	24.28	26.47

忧。潮土区土壤速效氮含量状况普遍偏低,多数土壤氮素缺乏,砂姜黑土区土壤速效氮处于中等水平,部分土壤处于缺乏水平。土壤有效磷含量有两大特征,即磷极度缺乏(淮阳)和中等偏下水平,只有砂姜黑土区土壤有效磷处于中等偏上水平。土壤有效钾含量总体 2 种特征,即中等偏下和富钾,潮土区的淮阳和虞城土壤富钾,其他土类土壤有效钾处于中等偏下水平。对同一区域取样集中的土壤养分进行变异分析,其养分变异状况较小,所以土地流转者和大型农场可以对土壤进行统一化施肥管理。

以上结果对区域农田施肥具有一定的指导作用。潮土区土壤应重视磷肥和钾肥的合理搭配施用,而每年土壤中都过量氮肥盈余,并且已对环境造成威胁。依据土壤类型,应选择缓释或控释肥料品种,或适量的普通氮肥品种少量多

- [5] 李文彪. 内蒙古河套灌区小麦和玉米推荐施肥研究[D]. 北京:中国农业科学院,2011.
- [6] 邢月华,汪仁,包红静,等. 不同磷肥用量对玉米产量·效益及养分吸收的影响[J]. 安徽农业科学,2011,39(32):19834-19835.
- [7] 张君,张润生,段玉,等. 油用向日葵磷素积累分配规律研究[J]. 华北农学报,2011,32(1):58-62.
- [8] 边秀芝,盖嘉慧,郭金瑞,等. 玉米施磷肥的生物效应[J]. 玉米科学,2008,16(5):120-122.
- [9] 张玉斌,曹庆军,张铭,等. 施磷水平对春玉米叶绿素荧光特性及品质的影响[J]. 玉米科学,2009,17(4):79-81.
- [10] 李建奇. 氮、磷营养对黄土高原旱地玉米产量、品质的影响机理研究[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(6):1042-1047.
- [11] 何萍,金继运,李文娟,等. 施磷对高油玉米和普通玉米吸磷特性及品质的影响[J]. 中国农业科学,2005,38(3):538-543.
- [12] 彭正萍,张家铜,袁硕,等. 不同供磷水平对玉米干物质和磷动态积累及分配的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(4):793-798.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,1999.
- [14] 中国环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002:243-250.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [16] 刘建玲,廖文华,王新军,等. 大量施用磷肥和有机肥对白菜产量和土壤磷积累的影响[J]. 中国农业科学,2006,39(10):2147-2153.
- [17] 徐来旺. 玉米施用不同长效肥效果初报[J]. 内蒙古农业科技,2012(3):83-84.
- [18] 王岩萍. 玉米施肥方法研究[J]. 宁夏农林科技,2011,52(11):21-24.
- [19] 杨军芳,周晓芬,孙丽敏,等. 太行山前平原小麦/玉米轮作土壤养分状况与农田氮、磷、钾平衡分析[J]. 华北农学报,2011(6):181-188.
- [20] 胡翔峰,何元胜,岳宁,等. 不同溶磷菌生物有机肥对玉米苗生长和土壤磷养分的影响[J]. 湖南农业科学,2012(11):74-77.

次地深施于土壤^[8]。砂姜黑土区土壤养分状况较好,但是砂姜黑土是一特殊类型的土壤,要结合实际情况,有条件的农户一定要重视有机肥料的施用,以便保护好此类土壤。持续的土壤 P 和 K 收支赤字会危及土壤的供 P、K 力,而略有盈余的 P、K 肥施用则有助于扩大贫 P、K 土壤的有效 P、K 库,提高土壤的供 P、K 力;对于丰 P、K 土壤,提倡 P、K 肥用量大抵与作物移出 P、K 量相当,以保持土壤有效 P、K 库稳定在一定水平上。通过以上措施,保证农田土壤的基础生产力,是作物高产、土壤生态系统可持续的根本条件,而以提高土壤基础生产力为核心的土壤调控则是稳定实现大面积作物高产、高效的关键^[8]。

参考文献

- [1] 张福锁,崔振岭,王激清,等. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略[J]. 植物学通报,2007,24(6):687-694.
- [2] 刘鸿翔,王德禄,王守宇,等. 黑土长期施肥及养分循环再利用的作物产量及土壤肥力质量变化Ⅲ. 土壤养分收支[J]. 应用生态学报,2002,13(11):1410-1412.
- [3] 陈毛华,肖莉,黄伟,等. 阜阳市近郊耕地养分状况分析[J]. 吉林农业科学,2010,35(4):34-35,45.
- [4] 李新平,李素俭,王社平,等. 西藏“一江两河”地区耕种土壤肥力状况研究[J]. 西北农业大学学报,1997,25(2):51-55.
- [5] 周宏美,宋晓,张彦玲,等. 豫东潮土区耕地土壤养分动态监测与培肥途径[J]. 河南农业科学,2006(3):68-71.
- [6] 王荫槐. 土壤肥料学[M]. 北京:农业出版社,1992.
- [7] 金为民. 土壤肥料[M]. 北京:中国农业出版社,2001.
- [8] 张福锁,王激清,张卫峰,等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报,2008,45(5):915-924.