

种植大豆对土壤磷、钾平衡的影响

郭 昕¹, 宋秋来¹, 曾祥亮², 龚振平¹, 马春梅¹

(1. 东北农业大学 农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省农垦经济研究所, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要:以5个春大豆品种为材料,采用框栽方法对大豆秸秆还田与不还田时土壤磷、钾的盈亏量进行估算,研究了种植大豆对土壤磷、钾平衡的影响。结果表明:大豆成熟期有57.2%~70.1%的磷素、60.7%~74.7%的钾素转移到籽粒中,磷、钾的收获率较高。在大豆施磷酸氢二铵75~150 kg·hm⁻²和硫酸钾40~120 kg·hm⁻²水平下,土壤磷均有盈余,而土壤钾在施钾量低时亏损,高时盈余。大豆秸秆还田时,磷、钾的盈亏量分别为7.1~22.1 kg·hm⁻²、-7.6~25.6 kg·hm⁻²;秸秆不还田时分别为6.0~21.0 kg·hm⁻²、-14.3~18.9 kg·hm⁻²。大豆秸秆还田时,维持土壤磷、钾平衡的临界磷、钾肥用量为P₂O₅ 18.4 kg·hm⁻²、K₂O 29.2 kg·hm⁻²;秸秆不还田时,磷、钾肥的临界用量为P₂O₅ 20.9 kg·hm⁻²、K₂O 37.3 kg·hm⁻²。可见,优化肥料施用量和秸秆还田是保障土壤磷、钾素平衡的重要措施。

关键词:大豆;土壤磷;土壤钾;盈亏;秸秆还田

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2012)06-0907-04

Effects of Planting Soybean on the Balances of Soil Phosphorus and Potassium

GUO Xin¹, SONG Qiu-lai¹, ZENG Xiang-liang², GONG Zhen-ping¹, MA Chun-mei¹

(1. College of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang; 2. Heilongjiang Province Economical Research Institute of State Farm, Harbin 150090, Heilongjiang, China)

Abstract: Five soybean cultivars were used to estimate the effects of planting soybean on profits and losses of soil phosphorus and potassium with or without straw returning by pot culture. Results showed 57.2%~70.1% of total phosphorus and 60.7%~74.7% of total potassium absorbed by plants were transported to seeds at mature stage. Under the fertilizer application level of diammonium phosphate 75-150 kg·ha⁻¹ and potassium sulfate 40-120 kg·ha⁻¹, the phosphorus of soil was profit at all levels of P-fertilizer, and the potassium of soil was loss at low level of K-fertilizer and was profit at high level. The average profits and losses of soil phosphorus and potassium were 7.1-22.1 kg·ha⁻¹ and -7.6-25.6 kg·ha⁻¹ with straw returning, and were 6.0-21.0 kg·ha⁻¹ and -14.3-18.9 kg·ha⁻¹ without straw returning, respectively. To balance the profits and losses of soil phosphorus and potassium, the critical amounts of phosphate and potash fertilizers were as follows: P₂O₅ and K₂O were 18.4 kg·ha⁻¹ and 29.2 kg·ha⁻¹ for straw returning, and 20.9 kg·ha⁻¹ and 37.3 kg·ha⁻¹ for no straw returning treatments, respectively. Optimizing the quantity of fertilizer and returning the soybean straw would reach the basic balances and reduce the losses of soil phosphorus and potassium in soybean field.

Key words: Soybean; Soil phosphorus; Soil potassium; Profit and loss; Straw returning

氮、磷、钾是植物生长发育所必需的主要营养元素。作物生长需要从土壤中吸收大量的营养元素,这造成了土壤养分的亏缺,据全国土壤普查资料估算,我国有2/3的土壤缺磷。近年来作物产量普遍提高,但连年的种植以及生产上施肥的不平衡造成土壤钾素耗竭严重^[1]。合理施肥以及秸秆还田不仅可以为作物提供养分,满足作物生长发育的需要,同时还能补给土壤养分的缺损,维持农田土壤的养分平衡。

目前,有关土壤磷、钾的平衡,以及大豆秸秆还田后对土壤磷、钾补给量估算的研究较少。刘建玲和曲均峰等^[2-3]研究表明,多年作物的消耗会使土

壤有效磷含量下降,磷素出现亏损。长期施肥会使农田土壤磷的盈余量逐渐增大^[4],但在土壤磷有盈余的同时,钾仍处于亏损状态^[5]。土壤钾素的不均衡供给会影响土壤钾的收支平衡,不仅对作物高产、稳产产生影响,还会造成肥料的浪费^[6]。作物秸秆含有多种营养元素,尤其钾的含量很高,长期秸秆还田可平衡土壤养分,对土壤磷素和钾素供应水平的提高有促进作用^[7-9]。

本试验研究种植大豆对土壤磷、钾平衡的影响,估算大豆秸秆还田和不还田条件下土壤磷、钾的盈亏量,为优化肥料施用量,维持土壤磷、钾平衡提供理论参考。

收稿日期:2012-07-17

基金项目:国家科技支撑计划(2007BAD89B05,2012BAD14B06)。

第一作者简介:郭昕(1987-),男,在读硕士,研究方向为大豆生理及保护性耕作。E-mail:guoxin.0110@163.com。

通讯作者:龚振平(1963-),男,教授,博士生导师,主要从事作物栽培学与耕作学研究。E-mail:gzyx2004@163.com。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2007年在东北农业大学香坊试验站进行,选用5个春大豆品种:小金黄(XJH),丰收10(FS10),龙选1号(LX1),绥农14(SN14),秣食豆(MSD)。供试土壤为黑土,有机质 $31.1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮 $2.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全磷 $1.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,缓效钾 $1.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 $163\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $59.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $493\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。试验采用框栽方法,选用硬化塑料制成的无底圆框,直径38 cm,深度33 cm,装土量35 kg,圆框间距1 m,埋土深度0.3 m,露出地表3 cm。施肥量与当地大豆生产平均水平基本相同,折合为每框施硫酸铵(N:21%)1.70 g,重过磷酸钙(P_2O_5 :46%)1.70 g;硫酸钾(K_2O :50%)1.02 g,在播种前一天将肥料施于种下5~7 cm处。5月10日扎浅穴播种,每框播3穴,每穴3粒种子,播后覆土3~4 cm,齐苗后每框保苗3株。

1.2 测定项目与方法

在大豆叶片出现枯黄时,用1.5 m高的透明纱网将圆框围起来,收集残叶;在大豆成熟期,将地上部分自子叶痕处取下,并将根系及根瘤挖出后用水冲净,杀青后 65°C 烘干,称量地上部和根系干重,粉碎后待用。

植株中磷素含量采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮,钼锑抗比色法测定;植株中钾素含量采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮,火焰光度法测定^[10]。

1.3 数据分析

采用SPSS 16.0和Excel 2003进行数据分析。

各指标计算公式如下:

磷(钾)素吸收量($\text{g}\cdot\text{框}^{-1}$) = 干物质量($\text{g}\cdot\text{框}^{-1}$) × 磷(钾)素含量(%);

黑龙江省大豆产量条件下植株各部位磷(钾)吸收量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) = 每框植株各部位磷(钾)吸收量($\text{g}\cdot\text{框}^{-1}$) × 黑龙江省大豆平均单位产量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)/每框产量($\text{g}\cdot\text{框}^{-1}$);

土壤磷(钾)素盈亏量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) = 施入土壤的肥料磷(钾)量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) - 收获物中的磷(钾)量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)。

2 结果与分析

2.1 大豆成熟期磷、钾素的分配

从表1和表2可以看出,大豆植株吸收的磷素和钾素,在成熟期主要分配到籽粒中。籽粒中磷、钾素含量分别占植株总吸收量的62.9%和69.0%。而叶和根中的磷素仅占植株吸收磷素的28.5%(表1),钾素仅占植株吸收钾素的12.0%(表2),可见,返还到农田的磷、钾量很少。在秸秆还田条件下,大豆植株中吸收的磷素和钾素分别有62.9%左右和69.0%左右脱离农田;如果秸秆不还田,茎秆和荚皮中的磷素和钾素也将被收获走,磷素和钾素的收获率(收获的磷素或钾素占植株磷或钾总吸收量的百分比)将分别达到71.5%和87.9%。

表1 大豆成熟期植株中的磷素分配

Table 1 Phosphorus distribution in soybean plant at mature stage

品种 Cultivar	叶 Leaf		茎 Stem		根 Root		荚皮 Pod-shell		籽粒 Seed	
	含量 Content /mg·pot ⁻¹	百分比 Percent/%								
秣食豆 MSD	265.8	25.2	99.8	9.5	53.8	5.1	25.9	2.5	608.2	57.7
绥农14 SN14	273.7	24.0	60.0	5.3	57.8	5.1	31.0	2.7	719.3	63.0
小金黄 XJH	250.0	24.2	47.7	4.6	32.8	3.2	12.9	1.2	688.5	66.7
丰收10 FS10	196.5	19.8	39.4	4.0	17.6	1.8	43.5	4.4	697.7	70.1
龙选1号 LX1	253.6	29.2	55.7	6.4	42.3	4.9	20.3	2.3	497.1	57.2
平均 Mean	247.9±13.5	24.5±1.5	60.5±10.4	6.0±1.0	40.9±7.3	4.0±0.7	26.7±5.2	2.6±0.5	642.2±40.8	62.9±2.5
变异系数 CV/%	12.2	13.7	38.5	36.4	39.9	36.7	43.2	44.0	14.2	8.9

2.2 种植大豆的土壤磷、钾盈亏估算

2.2.1 土壤磷素盈亏的估算 大豆秸秆还田时,除收获的籽粒外,叶片、叶柄、茎、根、荚皮全部还田。从表3可知,施入土壤中 $15.1\sim 30.1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的肥料磷,秸秆还田时,收获物(籽粒)从土壤中带走的磷量为 $7.2\sim 8.6\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,平均为 8.0 ± 0.3

$\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;当大豆秸秆不还田时,茎秆和荚皮会随籽粒一起收获走,此时收获物(茎秆、荚皮、籽粒)从土壤中带走的磷量为 $8.2\sim 9.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,平均为 $9.1\pm 0.3\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。大豆秸秆不还田较还田从土壤中多收获走磷素 $1.1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (表3)。

大豆田一般施用磷酸氢二铵 $75\sim 150$

$\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[11-12], P_2O_5 含量按 46% 计算, 无论秸秆还田 7.1 ~ 22.1 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 不还田时盈余 6.0 ~ 与否, 各年份土壤磷素均有盈余。秸秆还田时盈余 21.0 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

表 2 大豆成熟期植株中的钾素分配

Table 2 Potassium distribution in soybean plant at mature stage

品种 Cultivar	叶 Leaf		茎 Stem		根 Root		荚皮 Pod-shell		籽粒 Seed	
	含量 Content	百分比								
	/mg·pot ⁻¹	Percent/%								
秣食豆 MSD	274.7	11.0	120.4	4.8	41.5	1.7	545.0	21.8	1513.4	60.7
绥农 14 SN14	281.9	9.7	60.5	2.1	58.8	2.0	379.7	13.1	2127.9	73.2
小金黄 XJH	362.7	12.4	99.1	3.4	39.7	1.4	482.0	16.5	1935.0	66.3
丰收 10 FS10	301.7	10.5	53.6	1.9	18.2	0.6	357.1	12.4	2153.2	74.7
龙选 1 号 LX1	226.4	8.1	140.8	5.0	72.9	2.6	388.9	13.9	1973.1	70.4
平均 Mean	289.5±22.1	10.3±0.7	94.9±16.8	3.4±0.7	46.2±9.3	1.7±0.3	430.5±35.7	15.5±1.7	1940.5±114.9	69.0±2.5
变异系数 CV/%	17.1	15.4	39.7	42.3	44.9	44.6	18.5	24.6	13.2	8.2

表 3 大豆田土壤磷素盈亏

Table 3 Profit and loss of soil phosphorus in soybean field ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

年份 Year	收获的土壤磷 Harvest-P		盈亏量 Profit and loss	
	秸秆还田	不还田	秸秆还田	不还田
	Straw returning	No returning	Straw returning	No returning
2006	8.6	9.8	6.5-21.5	5.3-20.3
2007	7.2	8.2	7.9-22.9	6.9-21.9
2008	8.1	9.2	7.0-22.0	5.9-20.9
2009	7.6	8.7	7.5-22.5	6.4-21.4
2010	8.5	9.7	6.6-21.6	5.4-20.4
平均 Mean	8.0±0.3	9.1±0.3	7.1-22.1	6.0-21.0

2.2.2 土壤钾素盈亏的估算 从表 4 中可以看出, 施入土壤中 16.6 ~ 49.8 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的肥料钾, 秸秆还田时, 收获物(籽粒)从土壤中带走的钾量为 21.8 ~ 25.9 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 平均为 24.2 ± 0.5 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; 当大豆秸秆不还田时, 收获物(茎秆、荚皮、籽粒)从土壤中带走的钾量为 27.8 ~ 33.1 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 平均为 30.9 ± 0.6 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。大豆秸秆不还田较还田从土壤中多收获走钾素 6.7 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

大豆田一般施硫酸钾 40 ~ 120 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[11-12], K_2O 含量按 50% 计算, 秸秆还田时钾盈亏量为 -7.6 ~ 25.6 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 施硫酸钾 40 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时土壤亏损 -7.6 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 高施钾量(硫酸钾 120 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)时盈余 25.6 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 不还田时钾盈亏量为 -14.3 ~ 18.9 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 低施钾量时土壤亏损 -14.3 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 高施钾量时盈余 18.9 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

表 4 大豆田土壤钾素盈亏

Table 4 Profit and loss of soil potassium in soybean field ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

年份 Year	收获量 Harvest-K		盈亏量 Profit and loss	
	秸秆还田	不还田	秸秆还田	不还田
	Straw returning	No returning	Straw returning	No returning
2006	25.9	33.1	-9.3-23.9	-16.5-16.7
2007	21.8	27.8	-5.2-28.0	-11.2-22.0
2008	24.4	31.2	-7.8-25.4	-14.6-18.6
2009	23.1	29.5	-6.5-26.7	-12.9-20.3
2010	25.8	33.0	-9.2-24.0	-16.4-16.8
平均 Mean	24.2±0.8	30.9±1.0	-7.6-25.6	-14.3-18.9

3 讨 论

大豆对土壤磷、钾素平衡的影响,不仅取决于施肥量的多少,还取决于大豆收获和还田物质的多少。大豆成熟期有 57.2% ~ 70.1% 的磷素、60.7% ~ 74.7% 的钾素转移到籽粒中,磷、钾的收获率较高,从土壤中带走部分磷和钾将对土壤磷、钾平衡产生影响。本试验结果表明,当施肥量在当地大豆生产施肥水平范围内(磷酸氢二铵 75 ~ 150 kg·hm⁻²)时,土壤磷均有盈余,而土壤钾在当地施钾量(硫酸钾 40 ~ 120 kg·hm⁻²)低水平时有亏损,高施钾量时有盈余。张电学等^[8]研究指出,玉米秸秆还田对土壤磷素和钾素供应具有良好的促进作用,可有效提高土壤有效磷和速效钾含量,增强土壤供养能力。本试验中,大豆秸秆还田同样起到了对土壤磷、钾的补给作用,较秸秆不还田土壤可多获得部分磷和钾,这将减少种植大豆对土壤磷、钾的消耗。

在维持土壤磷、钾平衡的前提下,通过计算磷、钾肥的临界用量(作物从土壤中带走的磷、钾量)可以优化肥料的施用量,避免肥料浪费。刘建玲等^[2]研究得出,种植冬小麦-夏玉米的年份,维持土壤磷素平衡的磷肥临界用量为 P₂O₅ 94.8 kg·hm⁻²,春玉米种植年份,磷肥的临界用量为 51.5 kg·hm⁻²。王宜伦等^[13]研究指出,钾肥用量应达到 K₂O 150 kg·hm⁻² 以上才能维持土壤钾素肥力,而佟玉欣等^[6]研究指出,钾肥用量 K₂O 100 kg·hm⁻² 就可使土壤钾素趋于动态平衡,李玉影^[14]研究也指出,施 K₂O 112.5 kg·hm⁻² 时钾的投入和消耗基本平衡。本试验发现,种植大豆的土壤,在大豆秸秆还田时,维持土壤磷、钾素平衡的临界磷、钾肥用量分别为 P₂O₅ 18.4 kg·hm⁻² 和 K₂O 29.2 kg·hm⁻²; 在大豆秸秆不还田时,磷、钾肥的临界用量分别为 P₂O₅ 20.9 kg·hm⁻² 和 K₂O 37.3 kg·hm⁻²。可见,优化肥料施用量和秸秆还田是保障土壤磷、钾素基本平衡的重要措施。

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,2000:142-155. (Xie J C, Zhou J M, Hardter R. Potassium in Chinese agriculture[M]. Nanjing: Hohai University Press, 2000:142-155.)

[2] 刘建玲,张福锁. 小麦-玉米轮作长期肥料定位试验中土壤磷库的变化 IV. 磷肥产量效应及土壤总磷库、无机磷库的变化[J]. 应用生态学报,2000,11(3):360-364. (Liu J L, Zhang F S. Dynamics of soil P pool in a long-term fertilizing experiment of

wheat-maize rotation I. Crop yield effect of fertilizer P and dynamics of soil total P and inorganic P[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2000,11(3): 360-364.)

[3] 曲均峰,戴建军,徐明岗,等. 长期施肥对土壤磷素影响研究进展[J]. 热带农业科学,2009,29(3):75-78. (Qu J F, Dai J J, Xu M G, et al. Advances on effects of long-term fertilization on soil phosphorus[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture,2009,29(3):75-78.)

[4] Bolland M D A, Weatherley A J, Gilkes R J. The long-term residual value of rock phosphate and superphosphate fertilizers for various species under field conditions[J]. Fertilizer Research,1989,20(2):89-100.

[5] 刘会玲,陈亚恒,段毅力,等. 土壤钾素研究进展[J]. 河北农业大学学报,2002,25(增刊):66-68. (Liu H L, Chen Y H, Duan Y L, et al. The advance of soil potassium[J]. Journal of Agricultural University of Hebei,2002,25(Supplement):66-68.)

[6] 佟玉欣,李玉影,刘双全,等. 钾肥不同施用量对玉米产量和效益及钾素平衡的影响[J]. 黑龙江农业科学,2010(11):45-48. (Tong Y X, Li Y Y, Liu S Q, et al. Effect of potassium fertilizer on yield benefit of maize and potassium balance of soil-crop system[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences,2010(11):45-48.)

[7] Stephen B, corazon V. Organic matter and rice[M]. Manila: International Rice Research Institute,1984:117-136.

[8] 张电学,韩志卿,刘微,等. 玉米秸秆直接还田配施促腐剂效应研究 II. 对土壤磷素和钾素时空动态变化的影响[J]. 河北科技师范学院学报,2004,18(1):1-5. (Zhang D X, Han Z Q, Liu W, et al. Effects of maize straw's returning application with transformation promoter II. Effects on the space-time dynamic variations of soil P and K nutrient[J]. Journal of Hebei Normal University of Science and Technology,2004,18(1):1-5.)

[9] 刘瑞,戴相林,郑险峰,等. 半旱地不同栽培模式及施氮下农田土壤养分平衡状况研究[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(4):934-941. (Liu R, Dai X L, Zheng X F, et al. Net nutrient balance in soil under different cultivation pattern and nitrogen application rate in semiarid region[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2011,17(4):934-941.)

[10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:270-271. (Bao S D. Agricultural analysis of soil[M]. Beijing: China Agriculture Press,2000:270-271.)

[11] 胡国华. 无公害大豆安全生产手册[M]. 北京:中国农业出版社,2008:229. (Hu G H. No-pollution soybean production safety handbook[M]. Beijing: China Agriculture Press,2008:229.)

[12] 李文滨,宁海龙,邹德堂,等. 大豆优质高产关键技术[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,2005:76. (Li W B, Ning H L, Zou D T, et al. The critical technique for high quality and yield of soybean[M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 2005:76.)

[13] 王宜伦,苗玉红,谭金芳,等. 不同施钾量对砂质潮土冬小麦产量、钾效率及土壤钾素平衡的影响[J]. 土壤通报,2010,41(1):160-163. (Wang Y L, Miao Y H, Tan J F, et al. Effects of different potassium fertilizer application rates on yield, K-efficiency of winter wheat and soil available K balance in sandy chao soil[J]. Chinese Journal of Soil Science,2010,41(1):160-163.)

[14] 李玉影. 连续施钾对黑土钾素动态变化的影响[J]. 土壤肥料,2002(3):18-20. (Li Y Y. Influence of successive application of potash on the dynamic change of potassium in black soil[J]. Soil and Fertilizer,2002(3):18-20.)